

République du Niger

MEMS/RS



UNIVERSITE ABDOU MOUMOUNI DE NIAMEY

Faculté des Lettres et Sciences Humaines

Département de Géographie

THESE DE DOCTORAT

présentée pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université ABDOU MOUMOUNI de Niamey

Spécialité : Géographie physique

réalisée par :

M. Mahamadou BAHARI IBRAHIM

***Dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori
Mountséka***

Centre-sud, Niger

sous la direction de

Pr. Ibrahim BOUZOU MOUSSA

soutenue publiquement le 18 Juin 2013.

Composition du jury :

| | |
|---|-------------------|
| Mr. Oumarou MALAM ISSA, Professeur, Université de Reims, IRD | Président |
| Mr. Ibrahim BOUZOU MOUSSA, Professeur, Université Abdou Moumouni | Directeur |
| Mr. Hama YACOUBA, Maître de Conférences, Fondation 2iE, Ouagadougou | Rapporteur |
| Mr. Da DAPOLA, Maître de Conférences, HDR, Université de Ouagadougou | Rapporteur |
| Mr. Harouna MOUNKAILA, Maître de Conférences, Université Abdou Moumouni | Examineur |

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Sigles et abréviations | 8 |
| Liste des figures | 10 |
| Liste des tableaux | 12 |
| Liste des photos | 13 |
| Liste des cartes | 14 |
| Dédicaces | 15 |
| Remerciements | 16 |
| Résumé | 17 |
| Abstract | 18 |
| Introduction générale | 19 |
| Chapitre 1 : cadre théorique et méthodologique | 22 |
| 1-1 Contexte et justification de l'étude | 22 |
| 1-1-1 L'énoncé du problème | 22 |
| 1-1-2 Pourquoi le bassin versant du kori Mountséka ? | 24 |
| 1-2 Les hypothèses de recherche..... | 25 |
| 1-3 Les objectifs | 25 |
| 1-3-1 L'objectif général | 25 |
| 1-3-2 Les objectifs spécifiques..... | 25 |
| 1-4 Etat de l'art sur l'étude d'érosion..... | 26 |
| 1-4-1 L'érosion hydrique : un problème de recherche..... | 26 |
| 1-4-2 Les études hydro-érosives : généralités et aperçu historique | 26 |
| 1-4-3 Les recherches sur l'érosion au Sahel : cas du Sahel nigérien | 28 |
| 1-4-4 Le suivi des cours d'eau des vallées sèches | 29 |
| 1-5 Les études sur les facteurs d'érosion | 33 |
| 1-5-1 Les facteurs statiques..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 1-5-2 Les facteurs dynamiques | 33 |
| 1-6 Les indices associés | 36 |
| 1-6-1 Les indices climatiques..... | 37 |
| 1-6-2 L'indice de végétation | 39 |
| 1-6-3 L'indice des sols | 40 |
| 1-7 Les SIG et les modèles d'érosion..... | 41 |
| 1-8 Définitions des concepts | 42 |
| 1-9 Méthodes et outils de recherche..... | 44 |
| 1-9-1 La méthode | 44 |
| 1-9-1-1 Les différentes échelles d'investigation et d'analyse..... | 44 |
| 1-9-1-1-1 L'échelle du bassin versant..... | 45 |
| 1-9-1-1-2 L'échelle du sous bassin | 45 |
| 1-9-1-1-3 L'échelle du bas fond : l'écoulement du kori Mountséka..... | 45 |
| 1-9-1-2 La caractérisation du climat | 46 |
| 1-9-1-3 Cartographie et caractérisation..... | 48 |
| 1-9-1-3-1 L'occupation des sols..... | 48 |
| 1-9-1-3-2 Les formations superficielles | 51 |
| 1-9-1-4 L'évaluation de l'érosion | 52 |
| 1-9-1-4 -1 Les parcelles ou cases d'érosion | 52 |
| 1-9-1-4 -2 Les modèles de spatialisation d'érosion | 53 |
| 1-9-1-5 Le modèle appliqué dans cette étude..... | 57 |
| 1-9-1-6 Les entretiens..... | 57 |
| 1-9-2 Le matériel..... | 58 |
| 1-9-2-1 Les données d'entrée | 58 |
| 1-9-2-1-1 Quels supports ?..... | 58 |
| 1-9-2-1-2 Les données climatiques | 59 |
| 1-9-2-2 Le dispositif expérimental et mesure | 60 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 1-9-2-2-1 | Mesure du ruissellement | 60 |
| 1-9-2-2-2 | Le suivi pluviométrique | 61 |
| 1-9-2-3 | Le suivi des ravines | 62 |
| 1-9-2-4 | Les mesures d'infiltration du sol | 63 |
| 1-9-2-5 | La bathymétrie et le suivi de mares..... | 64 |
| 1-9-2-6 | Les levées topographiques | 64 |
| 1-9-2-7 | La turbidité des eaux | 67 |
| 1-9-3 | Les techniques d'analyse et traitement au laboratoire..... | 67 |
| 1-9-3-1 | Les logiciels de spatialisation..... | 67 |
| 1-9-3-2 | L'analyse granulométrique du sol..... | 68 |
| 1-9-3-3 | Les traitements des MES et le calcul de l'érosion potentielle..... | 68 |
| 1-9-3-4 | La spatialisation de l'érosion..... | 70 |
| 1-9-4 | Les difficultés rencontrées..... | 71 |
| | Conclusion partielle..... | 72 |
| Chapitre 2 : les conditions de la dynamique actuelle du bassin versant Mountséka | | 73 |
| 2-1 | Le contexte morfo structural | 73 |
| 2-1-1 | Aperçu général de la géologie du bassin sédimentaire des Iullemenden | 73 |
| 2-1-2 | Les spécificités de la zone d'étude | 76 |
| 2-2 | Les caractéristiques Morfo-pédologiques | 76 |
| 2-3 | Le réseau hydrographique..... | 80 |
| 2-3-1 | Les caractéristiques des koris de la zone d'étude | 81 |
| 2-3-2 | Le kori Tozo | 82 |
| 2-3-3 | Le Kori Koujak..... | 83 |
| 2-3-4 | Le Kori Aléla..... | 84 |
| 2-4 | Le climat régional | 85 |
| 2-4-1 | Les masses d'air..... | 85 |
| 2-4-2 | Les saisons et les éléments du climat | 86 |

| | |
|--|-----------|
| 2-4-3 Le régime pluviométrique | 89 |
| 2-5 La végétation..... | 90 |
| 2-6 Peuplement et organisation spatiale de la zone d'étude..... | 91 |
| 2-6-1 Peuplement et densité | 91 |
| 2-6-2 Les activités socioéconomiques..... | 94 |
| 2-6-2-1 Les pratiques agricoles et pastorales | 94 |
| 2-6-2-2 Les nouvelles activités | 95 |
| Conclusion partielle..... | 96 |
| Chapitre 3 : les facteurs de la dynamique hydrogéomorphologique actuelle..... | 97 |
| 3-1 Le système bassin versant..... | 97 |
| 3-2 Le dynamisme des bassins versants : de la discontinuité à la notion de crise érosive... 98 | |
| 3-3 Les facteurs de la dynamique hydro-érosive actuelle | 100 |
| 3-3-1 L'évolution de l'occupation du sol..... | 100 |
| 3-3-1-1 La situation de 1973 à 1986 | 101 |
| 3-3-1-2 La situation de 1986 à 1996 | 106 |
| 3-3-1-3 La situation de 1996 à 2005 | 109 |
| 3-3-1-4 La situation actuelle : de 2005 à 2010..... | 113 |
| 3-3-2 Analyse du climat régional | 116 |
| 3-3-2-1 L'évolution interannuelle des précipitations | 116 |
| 3-3-2-2 La répartition mensuelle des précipitations..... | 121 |
| 3-3-2-3 Les fréquences..... | 122 |
| 3-3-2-4 Les intensités | 123 |
| 3-3-2-5 Analyse des maximums pluvieux..... | 124 |
| 3-3-3 Les formations superficielles et les sols | 127 |
| 3-3-3-1 Les caractéristiques générales | 130 |
| 3-3-3-2 La texture..... | 130 |
| 3-3-3-3 La matière organique..... | 132 |

| | |
|---|------------|
| 3-3-3-4 Le facteur K à l'échelle du bassin versant..... | 133 |
| 3-3-4 Formes de terrains et les facettes d'érosion..... | 134 |
| Conclusion partielle..... | 137 |
| Chapitre 4 : Le fonctionnement hydrogéomorphologique du kori Mountséka | 138 |
| 4-1 Les caractéristiques morphologiques du kori Mountséka..... | 138 |
| 4-2 Aperçu sur l'endoréisme | 140 |
| 4-2-1 Avant 1990 | 141 |
| 4-2-2 De 1990 à nos jours | 142 |
| 4-3 Contexte actuel : les leçons tirées de l'observation | 142 |
| 4-4 Le fonctionnement du kori Mountséka à travers la typologie des mares | 145 |
| 4-5 Le rôle des cônes alluviaux dans la création et la disparition de mares | 148 |
| 4-6 La dynamique des cônes alluviaux et du fond du kori..... | 149 |
| 4-6-1 L'évolution des cônes alluviaux | 149 |
| 4-6-2 La bathymétrie de quelque mares | 152 |
| 4-6-3 Exhaussement du fond du kori | 155 |
| 4-7 Les scénarii possibles : la migration des mares ou la continuité des écoulements du kori Mountséka..... | 158 |
| Conclusion partielle..... | 159 |
| Chapitre 5 : Ruissellement, érosion et lutte antiérosive dans le bassin versant de Mountséka..... | 160 |
| 5-1 Présentation des parcelles expérimentales | 160 |
| 5-2 Le ruissellement et l'érosion sur parcelle | 161 |
| 5-2-1 Pluie et intensité limite au ruissellement | 162 |
| 5-2-2 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle cultivée | 163 |
| 5-2-3 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle mise en jachère | 165 |
| 5-2-4 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle nue : la croûte d'érosion | 167 |
| 5-2-5 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle standard : parcelle Wischmeier | 168 |
| 5-3 L'érosion linéaire | 171 |

| | |
|--|------------|
| 5-4 La turbidité..... | 174 |
| 5-5 La spatialisation de l'érosion : application de la RUSLE | 176 |
| 5-5-1 Principe..... | 176 |
| 5-5-2 La description des paramètres nécessaires à l'application de la RUSLE | 176 |
| 5-5 -2-1 La végétation et usage des sols | 176 |
| 5-5-2-2 La topographie..... | 179 |
| 5-5-2-3 L'érosivité des pluies | 181 |
| 5-5-2-4 L'érodibilité des sols | 184 |
| 5-5-2-5 Les pratiques de soutien | 185 |
| 5-5-3 Le calcul du risque d'érosion et analyse des résultats à l'échelle du bassin versant du kori Mountséka..... | 185 |
| 5-5-4 Hiérarchisation des facteurs de l'érosion..... | 189 |
| 5-5-5 La simulation des facteurs à l'échelle du bassin versant | 190 |
| 5-6 Propositions et perspectives d'aménagement du bassin versant de Mountséka | 192 |
| 5-6-1 Aperçu historique et acteurs de la lutte antiérosive au Niger | 193 |
| 5-6-2 Aperçu sur les réalisations antiérosives dans la zone d'étude | 195 |
| 5-6-3 Propositions d'aménagement antiérosif du bassin versant de Mountséka | 196 |
| 5-6-3-1 Les ouvrages mécaniques..... | 197 |
| 5-6-3-2 Les mesures biologiques | 199 |
| 5-6-3-3 Le traitement des bas fonds..... | 200 |
| Conclusion partielle..... | 201 |
| Conclusion générale et perspectives de recherche | 203 |
| Références bibliographiques | 206 |
| Annexe 1 : articles et communications | 223 |
| Annexe 2 : guide d'entretien | 227 |

Sigles et abréviations

AGRHYMET : Agro hydro Météorologie

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson ouest Africaine

ARS: Agricultural Research Service

CILSS : Comité Inter états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

Ct: Continental terminal

CTFT: Centre Technique Forestier Tropical

DDH : Direction Départementale de l'Hydraulique

DMN: Direction de la Météorologie Nationale

ETP : Evapotranspiration potentielle

ENS : Ecole Normale Supérieur

FIT: Front Inter Tropical

FLSH : Faculté des Lettres et Sciences Humaines

GCES : Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eaux

GIREN : Gestion Intégrée des REssources Naturelles

HDR : Habilité à Diriger les Recherches

IFA : Indice de Fournier-Arnoldus

INS : Institut National de la Statistique

IPS: Indice des pluies Standardisé au Sahel

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

KRAM: Coefficient de Ruissellement Annuel Moyen

MC : Maître de conférences

MCD : Modèle Conceptuel de Donnée

MES : Matière en Suspension

MLD : Modèle Logique de Donnée

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MPD : Modèle Physique de Donnée

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NOS : Nomenclature d'Occupation des Sols

NRCS : Natural Ressources Conservation Service

OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie

ONG : Organisation Non Gouvernementale

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-mer

RAIL: Réseau d'Appui aux Initiative Locales

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

RN1: Route Nationale n°1

RNA: Régénération Naturelle Assistée

RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation

SIG: Système d'Information Géographique

SLEMSA: Soil loss Equation Model for South Africa

SWAT: Soil and Water Assessment Tool

USLE: Universal Soil Loss Equation

Liste des figures

| | |
|--|------------|
| <i>Figure 1: schémas conceptuelle d'échelle d'analyse hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka</i> | <i>46</i> |
| <i>Figure 2: combinaison de bandes spectrales des images satellites traitées</i> | <i>50</i> |
| <i>Figure 3: structure du modèle SLEMSA (d'après Elwell, 1981 cité par Richard, 2003).....</i> | <i>56</i> |
| <i>Figure 4: schémas de la parcelle d'érosion installée dans le sous bassin versant de Mountséka (vue en plan).....</i> | <i>61</i> |
| <i>Figure 5 : démarche utilisée pour l'évaluation de la RUSLE dans les SIG.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Figure 6: coupe morpho-pédologique d'une toposéquence du bassin versant Mountséka (d'après Bouzou et al, 2009). A : secteur médian ; B : secteur aval</i> | <i>80</i> |
| <i>Figure 7: Position du FIT selon les saisons en Afrique de l'Ouest (à droite la saison humide, à gauche la saison sèche) d'après Morel, (1980)</i> | <i>86</i> |
| <i>Figure 8: diagramme ombro-thermique de la station de Birni N' konni de 1961 à 1990 (Source : données DMN).....</i> | <i>88</i> |
| <i>Figure 9: diagramme ombro-thermique de la station de D. Doutchi de 1961 à 1980 (Source : données DMN).....</i> | <i>88</i> |
| <i>Figure 10: Indice des Pluies au Sahel (Doutchi et Birni N'konni) de 1961 à 2011</i> | <i>89</i> |
| <i>Figure 11: évolution des précipitations à la station synoptique de Birni N'konni de 1961 à 2011.....</i> | <i>117</i> |
| <i>Figure 12 : évolution des précipitations à la station de Doutchi de 1961 à 2010.....</i> | <i>118</i> |
| <i>Figure 13: répartition mensuelle moyenne des précipitations sur le bassin versant de 2007 à 2012.....</i> | <i>121</i> |
| <i>Figure 14: hyétogramme de la pluie du 10 Août 2010</i> | <i>123</i> |
| <i>Figure 15: corrélation linéaire intensité maxi et maximum pluvieux au cours de l'année 2010.</i> | <i>124</i> |
| <i>Figure 16: corrélation linéaire Cumul annuel et maximum pluvieux à la station de Birni N'konni.....</i> | <i>126</i> |
| <i>Figure 17: textures par type de sol du bassin versant Mountséka.....</i> | <i>131</i> |
| <i>Figure 18: taux de matière organique des sols du bassin versant de Mountséka</i> | <i>132</i> |
| <i>Figure 19: proportion granulométrique des alluvions du kori Mountséka sur un tronçon de la partie centrale</i> | <i>138</i> |
| <i>Figure 20: profil en long du Kori Mountséka</i> | <i>139</i> |
| <i>Figure 21: MNT du cône du Kori Tozo en Mars 2011.....</i> | <i>150</i> |

| | |
|--|------------|
| <i>Figure 22: MNT du cône du Kori Tozo en Mars 2012.....</i> | <i>150</i> |
| <i>Figure 23: MNT du cône koujak en Mars 2011</i> | <i>150</i> |
| <i>Figure 24 : MNT du cône koujak Mars 2012.....</i> | <i>150</i> |
| <i>Figure 25: MNT du cône Dounfourma en Mars 2011</i> | <i>150</i> |
| <i>F Figure 26: MNT du cône Dounfourma en Mars 2012.....</i> | <i>150</i> |
| <i>Figure 27: modèle de fonctionnement hydrogéomorphologique actuel des vallées sèches à travers l'exemple du kori Mountséka</i> | <i>157</i> |
| <i>Figure 28 : pluie d'imbibition et intensité limite au ruissellement sur la parcelle nue</i> | <i>163</i> |
| <i>Figure 29 : coefficient de ruissellement et érosion sur la parcelle cultivée en 2011</i> | <i>164</i> |
| <i>Figure 30: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle cultivée en 2011 ...</i> | <i>165</i> |
| <i>Figure 31: coefficient de ruissellement et érosion sur la jachère en 2010.....</i> | <i>166</i> |
| <i>Figure 32: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle jachère en 2010</i> | <i>166</i> |
| <i>Figure 33: coefficient de ruissellement et érosion sur croûte d'érosion en 2011</i> | <i>167</i> |
| <i>Figure 34: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle nue en 2011.....</i> | <i>168</i> |
| <i>Figure 35: coefficient de ruissellement et érosion sur parcelle standard en 2010.....</i> | <i>169</i> |
| <i>Figure 36: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle standard en 2010..</i> | <i>169</i> |
| <i>Figure 37: concentration moyenne des MES de 2010-2012</i> | <i>174</i> |
| <i>Figure 38 : répartition des taux d'érosion nette sur le bassin versant du kori Mountséka ...</i> | <i>188</i> |
| <i>Figure 39: répartition du taux de sédimentation sur le bassin versant du kori Mountséka ..</i> | <i>188</i> |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----|
| Tableau 1: caractéristiques des supports cartographiques | 59 |
| Tableau 2: caractéristiques morpho-métriques des sous bassins échantillons | 82 |
| Tableau 3: évolution de l'occupation des sols de 1973 à 1986..... | 102 |
| Tableau 4: évolution de l'occupation des sols de 1986 à 1996..... | 106 |
| Tableau 5: évolution de l'occupation des sols de 1996 à 2005..... | 110 |
| Tableau 6: évolution de l'occupation des sols de 2005 à 2010..... | 113 |
| Tableau 7: temps de retour de quelques maximums pluvieux au niveau de la station de Birni N'konni et Doutchi de 1961-2011 | 126 |
| Tableau 8: résultats de l'indice K calculé sur le bassin versant du kori Mountséka..... | 134 |
| Tableau 9: tableau de répartition des pentes sur le bassin versant du kori Mountséka..... | 136 |
| Tableau 10: répartition des superficies de mares permanentes et semi permanentes du tronçon Dounfourma à Koujak. (DF= Dounfourma ; M2= Mountséka ; KK= Kanguiwa-Koujak ; F3= Faska)..... | 146 |
| Tableau 11: caractéristiques des cônes suivis | 149 |
| Tableau 12: évolution des charges sédimentaire entre 2011 et 2012..... | 151 |
| Tableau 13: caractéristiques pédologiques des parcelles expérimentales | 161 |
| Tableau 14: intensité et pluie limite au ruissellement sur les parcelles à Mountséka..... | 163 |
| Tableau 15: synthèse des résultats du ruissellement et des pertes en terres de 2010 à 2012 | 170 |
| Tableau 16: évolution verticale des ravines de 2009 à 2011..... | 172 |
| Tableau 17: synthèse d'érosion linéaire des ravines | 173 |
| Tableau 18: charge en suspension des koris dans le Zarmaganda (Source: Faran, 2000) .. | 175 |
| Tableau 19: répartition des valeurs moyennes de l'indice C sur le bassin versant..... | 178 |
| Tableau 20: indice d'érosivité des pluies sur le bassin versant du kori Mountséka | 182 |
| Tableau 21: classification des pertes en terres du bassin versant Mountséka | 189 |
| Tableau 22: les nouvelles valeurs simulées par facteurs d'érosion | 191 |

Liste des photos

| | |
|---|------------|
| <i>Photo 1: parcelle de mesure de ruissellement et d'érosion : croûte d'érosion (à gauche) et jachère (à droite).....</i> | <i>61</i> |
| <i>Photo 2: pluviomètre à lecture directe.....</i> | <i>62</i> |
| <i>Photo 3: pluviographe à auget basculant (0,5mm).....</i> | <i>62</i> |
| <i>Photo 4: test d'infiltration au cylindre sur une croûte gravillonnaire</i> | <i>64</i> |
| <i>Photo 5: nivellement direct à l'aide du niveau altimétrique sur un cône alluvial.....</i> | <i>65</i> |
| <i>Photo 6: échantillons en cours de traitement à l'étuve</i> | <i>70</i> |
| <i>Photo 7: sapement de berge sur le kori Tozo dans la zone aval.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Photo 8: berge concave du kori Koujak dans la zone aval.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Photo 9: l'aval du kori Koujak et son large cône alluvial dans le kori Mountséka (Source: image GoogleEarth).....</i> | <i>84</i> |
| <i>Photo 10: type de végétation dans le fourré ripicole du kori Aléla</i> | <i>84</i> |
| <i>Photo 11: chargement du bois d'énergie dans le marché rural de Mountséka.....</i> | <i>96</i> |
| <i>Photo 12: une vue de l'orage suivi d'une ligne de grain du 14 juin 2010</i> | <i>122</i> |
| <i>Photo 13: relique de rônier dans le Bas fond</i> | <i>141</i> |
| <i>Photo 14: tronc d'Accacia albida dans le bas fond Mountséka.....</i> | <i>141</i> |
| <i>Photo 15: les hautes eaux du kori Mountséka en 2011</i> | <i>144</i> |
| <i>Photo 16: type du fourré ripicole le long d'un petit kori sur le bassin versant de Mountséka.</i> | <i>152</i> |
| <i>Photo 17 : lobe du cône alluvial bien dégagé dans le kori principal en juin</i> | <i>153</i> |
| <i>Photo 18: bancs alluviaux dans le fond du kori principal en juin</i> | <i>153</i> |
| <i>Photo 19: trace de la crue en 2010: 1,80m de profondeur dans un secteur rétrécie du kori principal, près du village de Mountséka</i> | <i>153</i> |
| <i>Photo 20 : une vue de la ravine R3 sur le sous bassin versant de Koujak.....</i> | <i>173</i> |
| <i>Photo 21: vue aérienne des tranchées collinaires dans le cadre du projet intégré de Keïta (F. Paladini 1989 in Malagnoux, 2004)</i> | <i>194</i> |
| <i>Photo 22 association de diguette de pierres et demi-lunes sur une jupe sableuse depuis 2004</i> | <i>195</i> |
| <i>Photo 23: un exemple de demi-lune (d'après Adamou, 2010).....</i> | <i>198</i> |

Liste des cartes

| | |
|--|------------|
| <i>Carte 1: dispositif de mesures in situ dans la partie centrale du bassin versant Mountséka ..</i> | <i>66</i> |
| <i>Carte 2: localisation de la zone d'étude et le réseau des cours d'eau fossile au Niger central</i> | <i>75</i> |
| <i>Carte 3:unités morpho-pédologiques du bassin versant de Mountséka (extrait d'Adamou, 2008).....</i> | <i>77</i> |
| <i>Carte 4 : carte géomorphologique et géodynamique du bassin versant de Mountséka (d'après Abaché, 2007).....</i> | <i>79</i> |
| <i>Carte 5: origines et peuplement du bassin versant de Mountséka (Source : DDH, 1994 et RGP/H, 2001).....</i> | <i>93</i> |
| <i>Carte 6: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 1973</i> | <i>104</i> |
| <i>Carte 7: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 1986.....</i> | <i>105</i> |
| <i>Carte 8: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 1996.....</i> | <i>108</i> |
| <i>Carte 9: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 2005.....</i> | <i>112</i> |
| <i>Carte 10: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 2010.....</i> | <i>115</i> |
| <i>Carte 11: pluviométrie annuelle et réseau d'isohyètes dans la zone d'étude: A= avant 1990 ; B= tendance actuelle (1990 à 2012).....</i> | <i>120</i> |
| <i>Carte 12: les formations superficielles du bassin versant du kori Mountséka</i> | <i>129</i> |
| <i>Carte 13: modèle numérique de terrain du bassin versant du kori Mountséka.....</i> | <i>135</i> |
| <i>Carte 14: situation actuelle de la progression du kori Mountséka.....</i> | <i>143</i> |
| <i>Carte 15: situation des mares de Doufourma à Koujak en Juin 2011</i> | <i>147</i> |
| <i>Carte 16: bathymétrie de deux mares sur un tronçon du Kori Mountséka : profondeurs en Juin(A) et en Octobre (B) 2011</i> | <i>154</i> |
| <i>Carte 17: ensablement des mares et exhaussement de leurs fonds.....</i> | <i>155</i> |
| <i>Carte 18: répartition du facteur de protection et de gestion du sol.....</i> | <i>179</i> |
| <i>Carte 19: spatialisation du facteur topographique LS.....</i> | <i>181</i> |
| <i>Carte 20: spatialisation de l'indice d'érosivité de Fournier-Arnoldus (IFA)</i> | <i>183</i> |
| <i>Carte 21: formations superficielles et spatialisation de l'indice d'érosivité des sols</i> | <i>184</i> |
| <i>Carte 22: spatialisation du risque des pertes en terre (t/ha/an) sur le bassin versant du kori Mountséka</i> | <i>186</i> |
| <i>Carte 23: pertes en terre nette(t/ha/an) sur le bassin versant du kori Mountséka</i> | <i>187</i> |
| <i>Carte 24: spatialisation du risque d'érosion après la simulation des facteurs</i> | <i>192</i> |

Dédicaces

Je dédie ce travail à:

✓ *Monsieur FARAN MAIGA Oumarou, Maître- Assistant au département de Géographie de la FLSH /UAM; Co-promoteur, sans la contribution multiforme duquel cette thèse n'aurait jamais abouti.*

✓ *Ma première fille, Aminatou Mahamadou, dans l'espoir qu'elle fasse mieux.*

Remerciements

Il est de tradition de remercier celles ou ceux grâce auxquels cette thèse a été réalisée. Ce remerciement est une étape difficile car c'est le lieu de commettre plusieurs injustices. Durant quatre années (2010-2013) de cette thèse, que les personnes omises dans cette page, fassent la gentillesse de me pardonner.

Au terme de ce travail, j'exprime toute ma gratitude aux promoteurs de ce travail : Mr. **Ibrahim Bouzou Moussa**, Professeur et Mr. **Oumarou Faran Maïga**, Maître assistant tous au département de Géographie, d'avoir assuré l'encadrement scientifique de cette thèse. Leur grande contribution était aussi dans le soutien financier qu'ils ont apporté tout au long de ce travail. Je réitère une fois de plus ma reconnaissance à ces promoteurs, avec qui je partage un intérêt scientifique important.

J'exprime ma vive reconnaissance à Dr **Harouna Mahamadou**, Géodésiste, Dr **Adamou Mahaman Moustapha**, Hydrologue, Dr **Dan Lamso Nomao**, Pédologue, tous de la faculté d'Agronomie, de m'avoir encouragé et aidé dans l'acquisition des données de ce travail. J'exprime aussi ma reconnaissance à Mr. **Maman Sabro**, censeur du CES de Konni et sa famille, pour l'accueil chaleureux pendant les visites à Konni. A **Ado Dan Karami** ingénieur au laboratoire SIG du Centre régional AGRHYMET, pour m'avoir fourni des images satellitaires récentes et aussi apporté son expertise ; à Abdoulaye Koné de l'IRD, je dis merci. Je ne termine pas cette page sans remercier les chauffeurs de la FLSH parmi lesquels Abdoulaye Tahirou Diallo, Amadou Diangou, qui ont consacré une bonne partie de leur temps sur le terrain dès que le besoin se faisait sentir.

Je tiens à remercier aussi Bachir Abba, Mamadou Ibrahim, Moussa Malam Abdou et Maman Issoufou, pour les nombreux échanges techniques et scientifiques.

Je voudrais particulièrement faire part de ma gratitude à mes parents, ma femme, qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans l'espoir que ce travail soit une réussite. C'est aussi l'occasion de remercier tous mes camarades, à qui j'ai toujours manqué. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance.

Mes remerciements vont à l'endroit des habitants de tous les villages de la zone d'étude en particulier ceux de la zone centrale du bassin versant pour leurs contributions. C'est le lieu de remercier vivement Mr. **Oumarou Nagari**, Directeur de l'école Mountséka, qui pendant deux ans m'a toujours prêté sa moto pour mes déplacements dans certaines localités éloignées du site. *A ma famille, mes frères et cousins, en un mot, merci à tous.*

Résumé

Le bassin versant du kori Mountséka est une vallée sèche anciennement occupée par des agropasteurs, au sud du Niger. Ce bassin versant est actuellement le théâtre d'une crise hydro érosive et/ou environnementale qui se manifeste par une érosion généralisée sur les versants et une reprise d'écoulement du kori depuis 1994.

Sous l'effet d'une importante diminution des formations végétales régulières, de la fragilité des sols et de la forte variabilité des précipitations, le bassin versant connaît des coefficients de ruissellements assez forts. Les mesures de ruissellement effectuées de 2010 à 2012 à travers les parcelles expérimentales sur les principaux états de surface en témoignent. Les forts taux de ruissellement des versants dénudés ont occasionné d'une part une augmentation du nombre et du volume des mares en particulier dans l'axe de drainage du bassin versant. Cette situation a entraîné une interconnexion des différentes mares pour donner l'écoulement tronçonné et progressif du kori Mountséka pendant la saison des pluies.

D'autre part, la crise érosive généralisée du bassin versant a été mise en évidence grâce à des mesures du terrain mais aussi à travers l'utilisation de RUSLE. Ce modèle de prévision de perte en terres a permis de constater que 88,5 % de la superficie du bassin versant est soumis à un risque d'érosion grave.

Ainsi, la dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka et de son bassin versant est la résultante d'un héritage physique. Cette dynamique est aussi le résultat de la combinaison des changements plus ou moins longs observés dans les usages des sols et de la récente amélioration des précipitations dans la région.

Mots clés : *vallée sèche ; Hydrogéomorphologie ; RUSLE ; crise hydro érosive ; kori Mountséka*

Abstract

The Mountséka kori's catchment is formerly dry valley occupied by farmers, to the south of Niger. This catchment is currently the theater of a hydro erosive crisis and environmental that appears erosion generalized on the pouring and a resumption of out-flow of the kori since 1994.

Under the effect of an important reduction of the regular plant formations, of the fragility of soils and the strong variability of precipitations, the catchment knows some strong enough run-off ratio. Run-off Measures done from 2010 to 2012 through the applied parcels on the main states of surface testify some. The strong rates of run-off of the bare soils caused an increase of the number and volumes of pools on the one hand in particular in the axis of drainage of the catchment. This situation entailed a different pool interconnection to give the section and progressive out-flow of the Mountséka kori during the rainy season.

On the other hand, the erosive crisis generalized of the catchment has been put in evidence thanks to measures of the land but also through the use of RUSLE. This model of soil loss forecasting permitted to note that 88, 5% of the catchment is submitted to a serious erosion risk.

Thus, the hydrogeomorphological dynamic of the Mountséka kori and its catchment is certainly the consequence of a physical inheritance. Especially this hydro erosive dynamic is a combination between the longer mutation observed in lands uses and the recent improvement of precipitations in the region.

Key words: Dry valley; Hydrogeomorphology; RUSLE; erosive hydro crisis; kori Mountséka

Introduction générale

Le bassin versant du kori Mountséka fait parti du grand complexe géomorphologique Ader-Doutchi-Maggia. Ce vaste ensemble de haut plateau, parcouru par des cours d'eau temporaires, est situé au centre du Niger. Dans cet ensemble, le bassin versant du kori Mountséka couvre une superficie de 5058,21 km². Il est situé entre 4° 05' 19'' et 5° 15' 02'' de longitudes Est et 13° 19' 06'' et 14° 22' 05'' de latitudes Nord (carte 2). Son kori, est un des grands affluents de la rive gauche du Dallol Maouri.

Le Dallol signifie « *vallée* » dans la langue Peulh. Donaint (1975) cité par Waziri (1988), définit le Dallol comme une vallée fossile de l'Aïr ou de l'Adrar des Iforas. Il constitue un sillon de vie et une zone d'installation humaine, favorisée par la fertilité du sol.

La vallée du Dallol Maouri, d'une longueur de 400 km environ, est un affluent fossile du fleuve Niger. L'humidité permanente et la diversité des conditions de maintien de la biodiversité sont la raison que cette vallée est un des sites protégés par la convention Ramsar depuis 2004.

Le bassin versant du kori Mountséka dans son ensemble, subit le climat tropical sec de type sud sahélien, marqué par de forts contrastes saisonniers.

Sur le plan géologique, ce bassin se situe entièrement sur le bassin sédimentaire des Iullemenden. L'héritage géologique de cette région, traduit la présence d'un relief relativement peu accidenté. L'essentiel du modelé est dominé par des dunes du Quaternaire, d'un plateau et des buttes résiduelles entrecoupés par des vallées sableuses. Sur ces unités morphologiques, l'essentiel de la couverture pédologique est constituée par des sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivés.

De même, les caractéristiques climatiques et la nature pédologique ont donné à cette région un type particulier de végétation attribué au domaine de steppe. Cette formation végétale ouverte est marquée par une couverture arbustive relativement peu dense à dégradée, dominée par des combrétacées auxquels s'ajoutent des arbres. Cette végétation est de plus en plus exploitée par les paysans au profit ou en complément d'autres activités, tels que les besoins domestiques à travers le bois d'œuvre ou d'énergie.

Il faut noter que cette région est exclusivement à vocation agro-pastorale. Toutefois, d'autres activités sont pratiquées telles que le commerce et la chasse. Cependant depuis près d'une décennie, s'observe une nouvelle activité : la culture de décrue et/ou de contre saison. Cette dernière activité qui vient s'ajouter dans la région et plus particulièrement dans la partie centrale, fait suite à la dynamique que connaît la vallée du kori Mountséka depuis les années 1990.

Le kori désigne l'oued ou fond des vallées des marges arides. Cette vallée jadis occupée par des cultures pluviales à cause de l'humidité et de la fertilité des sols, présente un comportement hydrogéomorphologique tout particulier caractérisé par la fonctionnalité sectorielle de son kori.

Ainsi, la reprise d'écoulement du kori Mountséka est le signe de la profonde évolution des caractéristiques socio-écologiques du bassin versant soldées par un changement radical de l'occupation des sols. Cette situation, couplée à la récente amélioration des précipitations observées dans la région, est à l'origine d'une part et d'autre part des taux de ruissellement importants alimentant les mares. Ces mares de plus en plus nombreuses dans l'axe de drainage des vallées sèches est la résultante du seuil de dégradation ou du déséquilibre hydrogéomorphologique sur les versants.

L'augmentation des mares soulignée par Descroix et al, (2012) dans certains secteurs endoréiques du Sahel, est attribuée à la hausse du ruissellement observée depuis quelques décennies. Aussi, ces mares ont un volume et une pérennité de plus en plus importante.

A cela, s'observent des pertes en terres alarmantes à travers le décapage et le ravinement. En effet, l'érosion hydrique des sols est un risque naturel réel. C'est un processus complexe issu de la combinaison de plusieurs facteurs dont l'évolution est sans nul doute responsable de l'état actuel du bassin versant au point où l'on peut parler de crise érosive généralisée sur le bassin versant du kori Mountséka.

L'interaction de ces deux processus évoqués ci-haut, commande le nouveau comportement et/ou fonctionnement de cette vallée sèche située sur la rive gauche du fleuve Niger.

Ce travail comprend cinq (5) chapitres.

Les deux premiers chapitres traitent des caractéristiques générales de la zone d'étude et du cadre conceptuel et méthodologique de travail. Ces deux premiers chapitres ont servi de base d'analyse à ce travail.

Le troisième chapitre, est consacré à l'analyse des facteurs de la dynamique hydrogéomorphologique à l'échelle du bassin versant de Mountséka. Cette analyse a permis

de présenter et d'expliquer le fonctionnement hydrogéomorphologique actuel du kori, dans **le quatrième chapitre**.

Les mesures du ruissellement et d'érosion sur parcelles expérimentales, effectuées sur le bassin versant ont été présentées dans **le cinquième chapitre**. Celui-ci présente de même les résultats de l'évolution des ravines, de l'évaluation de l'érosion linéaire ainsi que l'analyse de la turbidité des eaux du kori Mountséka.

Ce dernier chapitre rapporte aussi la spatialisation de l'érosion à travers la RUSLE. Suite à la mise en pratique de ce modèle de prévision de perte en terre, les terrains les plus exposés au risque d'érosion ont été localisés et des mesures d'aménagement adéquat sont ainsi proposées.

Chapitre 1 : cadre théorique et méthodologique

Ce chapitre présente le cadre conceptuel ainsi que l'approche méthodologique développée afin de vérifier les hypothèses et d'atteindre les objectifs de ce travail.

1-1 Contexte et justification de l'étude

1-1-1 L'énoncé du problème

Au Sahel, la communauté scientifique est unanime sur l'état de dégradation des écosystèmes. Les raisons sont attribuées en grande partie d'une part au mode d'exploitation et de gestion des terres d'une part et d'autre part à l'importance des caractéristiques climatiques d'autre part.

Le Niger, pays sahélien par excellence fait face à cet épineux problème depuis les grandes sécheresses climatiques des années '70-80. Cette période marque le début d'une perturbation des écosystèmes variable selon les régions.

Le kori Mountséka, vallée fossile située au Sud du pays devient « *fonctionnel* » sur un tronçon depuis 1994 (Bahari, 2008 ; Bouzou et al, 2009). Rappelons que le bas-fonds de ce bassin versant a longtemps servi aux cultures pluviales.

Cette reprise d'écoulement se place aussi au centre de notre recherche par le fait que les écoulements sont progressifs. Elle se caractérise par un large et long plan d'eau de près de 70 km pendant la saison des pluies. Par contre, en saison sèche le fond du kori abrite de multiples mares entrecoupées par des verrous sableux. Ces derniers sont des cônes de déjection des différents koris tributaires qui s'y jettent. Par ailleurs, on assiste aussi au retrait des mares consécutivement au ravinement de leurs fonds dans la partie amont.

En dépit de cet écoulement progressif, le bassin versant du kori, vaste, d'une superficie de 5058,21 km² connaît une érosion généralisée. L'érosion ainsi constatée se matérialise essentiellement par le décapage et le ravinement. L'ampleur du phénomène se manifeste par de nombreuses ravines sur les versants déposant ainsi d'importantes quantités de sédiments dans le kori principal.

Bouzou et al., (2009) rapportent que l'intérêt du développement de ce phénomène réside non seulement dans le rôle de la forte anthropisation observée dans ces milieux depuis les années 1950 et des extrêmes pluvieux que l'on enregistre en saison déficitaire comme en saison excédentaire, mais aussi dans le fait que ces extrêmes, sont nettement plus marqués ces dernières années. Mahaman, (2008) souligne aussi que le terroir de Mountséka connaît depuis quelques années une érosion intense suite à un développement de surfaces nues consécutif à une dégradation du couvert végétal.

L'érosion constitue un risque écologique et les problèmes qu'elle pose figurent aujourd'hui parmi les grands défis du millénaire. En effet, les conséquences dues à l'érosion ne se résument pas seulement au décapage du profil pédologique, ou au transport de sédiment, elle entraîne aussi une perte en eau considérable dans les pays sahéliens (Roose, 2004). Ces pays ont la particularité d'avoir une poussée démographique spectaculaire et que l'eau est un facteur limitant au développement.

Par ailleurs, les mares deviennent permanentes ces dernières années. Devant cette situation, et face à l'insécurité alimentaire récurrente, la population riveraine s'adapte en développant bon an mal an des cultures de contre saison (culture de décrue, cultures maraîchères, arboriculture) ainsi que la pêche. Ces nouvelles activités qui viennent s'ajouter aux principales (agriculture pluviale, élevage et commerce), offrent des revenus importants aux populations.

Toutefois, la mise en valeur est rendue difficile par le caractère turbide des eaux (Bahari, 2009). Aussi, l'eau est devenue depuis 1994 accessible et disponible pour de nombreux villages riverains du kori Mountséka. Ainsi, les enjeux et les défis pour une bonne gestion concertée se posent avec acuité.

Les années 1990, traduisent-elles les effets des changements climatiques et donc une rupture dans la région? Cette rupture semble instaurer une crise érosive sur le bassin versant de Mountséka. Quelles sont les principaux facteurs de cette crise ?

Notre étude, s'inscrit dans la compréhension de la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka suite à la dégradation ou la disparition de la végétation en particulier les fourrés ripicoles de son bassin versant. La dégradation de ces formations végétales suffisent-elles à expliquer la dynamique des cônes de déjection et des mares ? Ainsi, à travers les mares de bas fond, comment peut-on appréhender la dynamique d'écoulement actuel du kori ?

Face à la disponibilité en eau de surface et de sa turbidité, il y a lieu d'agir le plus vite. Quelles sont les mesures à prendre sur ce bassin versant?

1-1-2 Pourquoi le bassin versant du kori Mountséka ?

L'étude hydrogéomorphologique peut se faire partout au Niger, du fait des mutations socio-environnementales ayant marquées la région sahélienne, bien que à des degrés différents, suivant les sous régions. Ainsi, cette étude sur le kori Mountséka a été motivée pour plusieurs raisons :

- ❖ Le bassin versant du kori Mountséka, est situé au sud du pays. Cette zone regorge d'un potentiel agricole important. Ce bassin versant est distant de Doutchi de 93 km en allant vers Birni N'konni sur la RN1. En effet, ce vaste secteur dispose de très peu d'études réalisées sur ce vaste secteur.
- ❖ La reprise d'écoulement du kori Mountséka depuis 1994, a suscité plusieurs interrogations. D'une part, les paysans se demandent d'où viennent ces eaux ? D'autre part, les chercheurs s'interrogent sur les récentes mutations socio-écologiques. Pour ces raisons, il y a lieu de pousser des réflexions plus approfondies dans ce contexte de forte variabilité climatique sur cet écosystème anciennement peuplé et vulnérable.
- ❖ Aussi, dans le souci de mettre en place une base de données numériques et au-delà, l'érosion observée sur le bassin fera l'objet d'une modélisation en appliquant la RUSLE intégrée dans les SIG. Cette technique semble innovante dans notre pays afin d'aider le politique dans la prise des décisions d'aménagement et de gestion des ressources naturelles en milieu rural.
- ❖ Le cas du kori n'étant pas le seul à l'échelle nationale, d'autres cas se présentent de plus en plus (kori Ouallam, vallée Doguérawa), même s'il paraît le plus remarquable. Cette étude s'inscrit dans le Programme de recherche Dynamique et Gestion des Bas-fonds Sahéliens (PDGBS) dont l'un des objectifs est d'investiguer la dynamique des écosystèmes des bas-fonds sahéliens en vue d'un éventuel aménagement.

Le sujet de cette thèse a pris sa source à partir de ces raisons. Cette étude traite ainsi de la question de la reprise d'écoulement du kori qui se traduit à travers la création de mares de plus en plus étendues et permanentes. Ces mares sont menacées d'ensablement et d'une forte turbidité des eaux du fait entre autres de l'érosion décapante et du ravinement.

1-2 Les hypothèses de recherche

La principale hypothèse de recherche est que la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka, est le fait des principaux facteurs fédérateurs de l'érosion. Plusieurs hypothèses secondaires sont aussi à vérifier. Il s'agit de :

- ❖ la dynamique hydro-érosive est liée à l'évolution de l'occupation du sol ;
- ❖ le comportement hydro-érosif de l'ensemble du bassin versant s'explique par la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion ;
- ❖ l'amélioration des précipitations et l'augmentation des événements pluvieux extrêmes, accentuent la morphogénèse et la dynamique actuelle du kori Mountséka ;
- ❖ la dynamique des cônes de déjection et des mares est fonction du type de fourré ripicole.

1-3 Les objectifs

1-3-1 L'objectif général

- ❖ Il vise à comprendre la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka et ses conséquences.

1-3-2 Les objectifs spécifiques

Plusieurs objectifs spécifiques sont assignés à ce travail. Il s'agit ainsi de faire une :

- ❖ caractérisation du climat régional ;
- ❖ caractérisation et cartographie de la dynamique d'occupation des sols, des formations superficielles (types, perméabilité, matière organique) mais aussi la classification des pentes;
- ❖ évaluation du ruissellement et de l'érosion sur parcelles ainsi que la cartographie des risques d'érosion (la spatialisation du risque d'érosion par la mise en pratique de la RUSLE sur le bassin versant) ;
- ❖ analyse du fonctionnement hydrogéomorphologique des mares (rôle des cônes de déjection en relation avec les fourrés ripicoles) et leur turbidité.

1-4 Etat de l'art sur l'étude d'érosion

1-4-1 L'érosion hydrique : un problème de recherche

L'érosion hydrique des sols, est un phénomène de dégradation de l'environnement bien connu de tous à la surface de la terre. Bien que largement étudiée, elle reste toujours une question pertinente de recherche. Sans prétendre nullement évoquer toutes les thématiques hydro-érosives abordées par les chercheurs, cette revue présente un historique des études hydro-érosives. Elle s'appuie également sur les premières expérimentations hydro-érosives, avec un accent particulier sur le Sahel nigérien.

Cette revue fait appel aussi à quelques études des cours d'eau, à travers leurs caractéristiques avec un accent particulier sur les mares (à travers des suivis réalisés). Celles-ci ne sont cependant pas exclues de ce champ d'investigation du fait que les apports en sédiments arrachés sur les versants sont déposés dans le lit des vallées.

Les nombreux travaux de description des processus (en passant par la quantification du ruissellement et de l'érosion) effectués à différentes échelles d'observation et d'expérimentation, sont à l'origine d'une série de modèles de prévision d'érosion applicables de nos jours via les nouvelles techniques des SIG.

1-4-2 Les études hydro-érosives : généralités et aperçu historique

L'érosion *stricto sensu* est l'action de dégradation qui s'exerce à la surface des continents. Les agents de l'érosion ont leur siège dans l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère : entendre par là les précipitations, le vent, la température et les êtres vivants. Il faut ajouter la gravité qui peut provoquer directement sur les pentes le déplacement de matière et joue par ailleurs un rôle indirect dans l'écoulement de l'eau. A travers ces agents l'érosion décape le capital sol, affectant ainsi les activités socioéconomiques à la surface de la terre. De ce fait, l'étude de l'érosion intéresse aussi bien les géographes, que les agronomes, les hydrologues, les géologues et les socio économistes. L'érosion est à cet effet un domaine de recherche pluridisciplinaire, bien que les notions qui lui sont attribuées soient toutes relatives (Roose 2004).

L'érosion hydrique (induite par l'eau), est aussi un phénomène complexe comme l'ont souligné Roose et al (1998), qui se manifeste par le détachement ou l'arrachement, le transfert

et la sédimentation des particules du sol. Par ces actes, l'érosion hydrique provoque des dégâts sur les terres agricoles mais à aussi des répercussions au-delà du sol lui-même, puisqu'elle entraîne une dégradation de la qualité des eaux de surface (Le Bissonais et al, 2002) et leur ensablement.

Un tel phénomène aux impacts pervers, s'observe partout à la surface de la terre depuis la mise en place des continents¹, même si ce n'est qu'à des degrés différents. Ces variations tiennent à la grande diversité des conditions bioclimatiques qui distinguent *l'érosion naturelle* et à l'intervention humaine responsable de la dynamique hydro-érosive actuelle. Partant de ce dernier volet, Roose (1994), conclue que l'érosion est le signe d'un déséquilibre entre les potentialités du milieu et le mode de gestion par la société actuelle.

Les graves problèmes que pose l'érosion du sol datent ainsi, depuis des siècles mais les premières recherches sur l'origine et la détermination des facteurs à partir des parcelles expérimentales ont commencé en 1890 en Allemagne, en 1935 aux USA et en 1954 en Afrique tropicale (Roose, 1977 ; ORSTOM, 1998). Ce n'est qu'après celles-ci que les mesures d'érosion apparaissent en Amérique latine, en Asie et tout récemment dans le reste de l'Europe (Roose, 1994).

Les études hydro-érosives en Afrique tropicale et particulièrement en Afrique francophone remontent à la période coloniale. Dans une synthèse de recherches sur l'érosion hydrique en Afrique, Roose et De Noni (2004) nous rapportent que depuis les premiers explorateurs jusqu'à la période 1940-60, ce fut une phase exploratoire caractérisée par plusieurs constats qui se limitent à caractériser l'état des risques auxquels sont exposés les terres agricoles en Afrique tropicale.

Il faut attendre 1954, sous l'initiative de Fournier et Fauck pour que le premier réseau de parcelles de mesure du ruissellement et de l'érosion dans une dizaine de pays de l'Afrique occidentale et à Madagascar soit installé (Roose, 2004).

Plusieurs travaux de géographes physiciens et pédologues se poursuivent, dont Rougerie et Roose (à partir de 1960) en Côte d'Ivoire, ainsi que ceux des techniciens du CTFT (1979) et bien d'autres au Niger et au Burkina Faso. Ces investigations ont pour objectif l'étude des processus et la quantification de l'érosion sous divers systèmes de cultures.

¹ A cela Roose écrit en ces termes : *l'érosion est un problème vieux comme le monde*

Dès lors, de nombreux travaux ont été effectués sur le Maghreb, en Afrique centrale, abordant tous les problèmes de dégradation des terres dû à l'érosion hydrique. Grâce à ces équipes de recherches dispersées sur presque tout le continent, Roose et De Noni (2004) soulignent que l'Afrique dispose de plus de 1000 données annuelles de mesures d'érosion.

1-4-3 Les recherches sur l'érosion au Sahel : cas du Sahel nigérien

Le Sahel, est un ensemble géographique regroupant les pays du CILSS compris entre 10° N-10° W et 25° N-25° E dont le Niger. C'est une ceinture semi-aride à désertique caractérisée par une forte variabilité climatique, des ressources en eau faibles, une végétation naturelle dégradée, des sols appauvris et des productions agricoles en net progrès ces dernières années (Mamadou, 2000) ; mais insuffisantes pour couvrir les besoins alimentaires de la population de plus en plus pauvres. Il faut ajouter à ces caractéristiques que l'écoulement des eaux est temporaire.

Si les limites du Sahel ne tiennent qu'à celle du CILSS en Afrique, Ibouraima, (1984) reproche qu'il s'agit du « *Sahel géopolitique* ». En dehors des similitudes socio-écologiques qui les caractérisent, les pays du CILSS ont une cause commune issue de la colonisation.

Ainsi, il est question du « *Sahel ouest-africain* ».

Cette région en crise, a fait une irruption brutale dans le champ d'intérêt de la recherche scientifique à la suite des sécheresses climatiques sévères (N'diaye, 1995) qu'elle a connue depuis une trentaine voire une quarantaine d'années (les années '70-80).

Cette période coïncide également avec une croissance démographique sans précédent, soldée par des conséquences tels que, les problèmes socioéconomiques et environnementaux, suscité par-là : la dégradation des écosystèmes. Cette situation qui s'en est suivie a déclenché de nombreux travaux de recherches pluridisciplinaires dont l'importance et la diversité ont permis de mieux comprendre et d'agir positivement sur les situations contraignantes produites par le contexte climatique défavorable à la fin des années 1960.

En ce qui concerne spécifiquement le ruissellement et l'érosion, la prise en compte de ce danger figure pendant de longues années comme l'une des priorités parmi les stratégies d'atténuations prônées par les chercheurs et des décideurs pour apporter une solution à la dégradation des milieux.

C'est dans cette optique que les décideurs nigériens, soucieux de l'ampleur de l'érosion hydrique et de ses effets sur l'économie agricole, ont chargé l'ORSTOM (actuellement IRD) d'effectuer trois campagnes consécutives de mesure du ruissellement et d'érosion sur le bassin représentatif de Kounkouzout (région de Tahoua) dès 1964 (Vuillaume, 1968). Ce fut semble-t-il le premier pas dans la recherche hydro-érosive au Niger.

Dès lors, des travaux se sont poursuivis dans d'autres contrées parmi ces travaux figurent ceux de Delwaulle (1973). En effet, pendant près de 5 ans (1966-1971), il a effectué des mesures d'érosion sur des parcelles comparables aux champs du paysan dans un village situé dans le centre du pays. Il a eu à évaluer les pertes en terre suivant un dispositif constitué d'un pluviographe, d'un pluviomètre et des cuves de réception des sédiments érodés.

Ensuite, les chercheurs du CTFT (1979) ont pour leur part comparé les risques d'érosion sous divers couvert végétal. D'autres travaux d'étude et de recherches universitaires (Ibouraima, 1983 ; Bouzou, 1988 ; Faran, 2000 ; Ousseini, 2002 etc.), ont fleuri devant l'ampleur du phénomène qui se généralise sur la majeure partie du territoire. Il faut reprocher à ces travaux la rigueur dans le dispositif expérimental prôné par Roose (1977). Les pertes en terre évaluées de par ce dispositif, expriment l'érosion potentielle.

Le but de tous ces travaux, est de reconstituer la base de données des facteurs et processus de dégradation des écosystèmes sahéliens. Cette reconstitution, est source d'enseignements utiles (Ousseini, 2002) pour la conception des schémas d'aménagement.

1-4-4 Le suivi des cours d'eau des vallées sèches

Nous l'avons souligné ci-haut que l'érosion des sols est à l'origine de la perte du potentiel productif des terres agricoles et de l'ensablement des eaux de surface. Or, l'étude des eaux de surface relève du domaine de l'hydrologie qui constitue une discipline à part entière.

Les eaux de surface au Sahel, étaient aussi l'une des principales préoccupations des hydrologues de l'ORSTOM qui ont équipé quelques bassins des oueds (*kori* dans notre appellation) sur la courte saison des pluies. Dans un premier temps, les recherches au Niger ont concerné les mesures de débits (Chaperon, 1971). Le seul objectif au centre de ces études, est de produire les données nécessaires aux aménagements hydro-agricoles et routiers des régions. Les quelques mesures effectuées ont permis de caractériser les écoulements de ces koris. Mais, la longue période sans écoulement de ces régions qui s'étend sur près de 8 à 9

mois fait que les notions de base en hydrologie tels que les débits moyens annuels sont insignifiants.

Les régions sèches sont peu considérées en hydrologie. En effet, selon Loup (1974) et Frécaut et Pagny (1983), l'irrégularité et la faiblesse des précipitations annuelles, très localisées ne permettent pas un écoulement permanent ou même saisonnier. Les cours d'eau de ces régions qu'ils qualifient d'oueds, sont caractérisés dans les conditions actuelles par un endoréisme généralisé et une désorganisation totale de leurs réseaux hydrographiques dès que la superficie dépasse 10 à 15 km² (Rodier, 1964 ; 1981 cité par Frécaut et Pagny, 1983).

Plusieurs travaux plus ou moins récents ont été réalisés dans le cadre des programmes de recherches (IRD/AMMA, HAPEX-Sahel, ...). Ces études ont concerné pour l'essentiel l'Ouest nigérien, faisant de cette portion du territoire un véritable foyer de recherche de la sous-région ouest africaine. Grâce à des études expérimentales, Desconnets (1994) ; Desconnets et al (1991 ; 1993 ; 1996 ; 1997) ; Peugeot (1995), Peugeot et al, (1996) se sont intéressés au suivi de mares et aux processus d'écoulement des eaux de surface sur les différentes unités paysagères des bassins versants endoréiques sahéliens. Ils ont démontré le fonctionnement de ces systèmes et leurs contributions dans le bilan hydrologique de la région. En effet, ces travaux constituent des sources incontestables à la compréhension des systèmes hydrologiques des vallées sèches de l'Est du fleuve Niger. Les conclusions issues de ces études dégagent aussi une dégradation du réseau hydrographique. De même, Loup (1974) a démontré que la dégradation hydrographique s'accompagne d'une dégradation hydrologique.

L'essentiel du réseau hydrographique le plus actif est composé de vallées sèches, de mares et koris de tailles variables, marqués par l'endoréisme. Ils sont de ce fait le seul mode de drainage et de stockage des eaux de surface.

Si l'on revient sur le cas spécifique du Niger, il faut reconnaître à Desconnets (1994) d'être le premier à décrire le fonctionnement hydrologique des régions endoréiques sahéliennes. A partir du suivi et de la caractérisation de mares, il est arrivé à faire une typologie des secteurs endoréiques, dans laquelle figure l'endoréisme des *vallées sèches verrouillées*. Ce type est un signe de dégradation hydrologique qui peut s'expliquer par une série des mutations socio-écologiques héritées d'un passé plus ou moins long.

Les bassins versants des ravines qui alimentent ces vallées connaissent un comportement hydrologique marqué par une forte sensibilité des écoulements face au changement

environnemental et à la péjoration climatique (Mamadou, 2006). Il souligne aussi que l'augmentation des ruissellements et les très forts débits solides observés sur ces bassins versants, modifient constamment les formes hydrogéomorphologiques, les cônes alluviaux, les fonds et les berges de ravines. Cet état de fait, est à l'origine du développement des mares dans les fonds de vallée.

Pour leur part, Bouzou et al (2011), ont démontré à partir d'un petit bassin versant sahélien que la forte pression sur les ressources naturelles se manifeste par un changement radical du comportement hydrogéomorphologique des bassins versants.

Par ailleurs, le suivi de la dynamique des vallées se focalise aussi sur la dynamique de la végétation. Plusieurs auteurs (Amogou, 2009 ; Mahé et al, 2010) s'accordent que la dynamique d'écoulement des vallées est basée sur le suivi de la végétation naturelle. Notons aussi que la végétation est un véritable facteur de ruissellement et d'érosion des sols. Cependant, on constate une insuffisance de référence sur le suivi d'un type particulier de végétation tel que les fourrés ripicoles. Ce type de végétation communément appelé aussi ripisylve ou « bois des rives » (Delage, 2002) joue plusieurs rôles dans la stabilité des berges et la dynamique des cours d'eaux.

En effet, Degoutte (2007), souligne ainsi plusieurs fonctions des fourrés ripicoles parmi lesquelles, on peut retenir la tenue des berges et l'écoulement des eaux pendant les crues. Ces deux fonctions, sont beaucoup plus importantes lorsque les fourrés ripicoles sont denses et réguliers pour assurer la rugosité du lit.

Aussi, en raison de sa position en bordure des cours d'eau, les fourrés ripicoles assurent le piégeage des sédiments provenant des champs ainsi que ceux transportés par le cours d'eau. Ils jouent à cet effet, un rôle majeur dans le processus d'érosion-sédimentation des cours d'eau (Delage, 2002). Outre ce pouvoir antiérosif des berges, la végétation riveraine peut avoir un effet brise-vent pour contrer l'érosion éolienne.

Ainsi, dans le Nord Cameroun (Seignobos, 1989), certaines sociétés traditionnelles ont spontanément préservé les fourrés ripicoles des abords des cours car ils limitaient l'érosion. En France, le développement de la ripisylve est récent. Ces dernières années, enregistrent un regain dans l'abandon de l'exploitation de la végétation ripisylve car elle constitue bien souvent un bénéfice pour le fonctionnement naturel du cours d'eau des vallées (Boyer et al,

1998). Bien que ces vallées ne soient pas à l'image de celles des régions sèches, cela a entraîné un développement de la végétation.

Cependant, la dégradation des fourrés ripicoles sur un bassin versant de l'ouest nigérien a conduit Mamadou, (2012) à démontrer l'instabilité des berges. A cet effet, il recommande la nécessité de reboiser les berges afin de réduire la production des sédiments et aussi traiter le bassin versant pour limiter l'augmentation du ruissellement sur les versants.

L'augmentation des écoulements qui se traduit par la multiplication des mares est un phénomène mis en évidence par Massuel (2005) à partir des images satellites. Cette situation qui se généralise peu à peu dans les écosystèmes des vallées sèches, peut bénéficier d'un regain ou d'une minime pulsation climatique pour passer de l'endoréisme à l'aréisme ou vice versa (Loup, 1974).

En effet, des scénarios climatiques sur l'Afrique et particulièrement au Sahel nigérien font ressortir une tendance à l'amélioration et ou la baisse des précipitations (Abdou, 2008 ; Amoukou, 2009) à laquelle s'associe la persistance des fortes pluies (Sarr, 2008).

Cette hausse des précipitations ne reste pas sans conséquences sur la dynamique d'écoulement des rivières des vallées sèches.

Ces études menées en Afrique, au Sahel et particulièrement au Niger en quelques décennies seulement sont à la base de plusieurs dizaines de références, qui privilégient la connaissance des mécanismes généraux du ruissellement et d'érosion. Elles ont tout de même dégagé le rôle de l'homme en tant qu'acteur et victime des situations observées. Au regard de ces études, il apparaît clair que l'on sait maintenant suffisamment de choses pour envisager même des scénarios pour les fonctionnements futurs et les perturbations possibles des écosystèmes sahéliens.

Cette étude sur le bassin versant du kori Mountséka, est une contribution allant dans la même logique. Il est vrai que les résultats ne sont pas nouveaux même à l'échelle nationale, mais la particularité réside dans le caractère récent de la problématique du fonctionnement hydrogéomorphologique des bassins versant endoréiques évoquée ci-haut. L'érosion hydrique qui se place au centre de ce sujet, résulte des facteurs statiques et dynamiques. Cette étude s'appuie certes sur les mesures des processus pouvant caractériser et classer respectivement les principaux facteurs mis en jeu, mais aussi innover en intégrant la spatialisation des facteurs et l'utilisation des modèles.

1-5 Les études sur les facteurs d'érosion

Il s'agit bien de l'érosion hydrique. Les facteurs sont les principaux paramètres explicatifs de la susceptibilité des terrains à l'érosion. Ils ont fait l'objet d'un consensus entre plusieurs chercheurs. Ces facteurs regroupés en deux catégories, sont le climat, le sol, la topographie, l'occupation du sol et l'homme.

1-5-1 Les facteurs statiques

Dans ce groupe nous pouvons citer exclusivement la topographie. Elle constitue le paramètre qui assure la vulnérabilité des terrains à la morphogénèse.

La topographie est un facteur qui intervient dans le processus d'érosion par la pente et sa longueur. Plusieurs auteurs s'accordent que l'érosion augmente avec la pente (Hudson et Jackson, (1959) ; Henensal, (1986) cités par Batti et Depraetere, (2007). Le taux d'érosion des sols, est proportionnel à la pente. Mais pour sa part Roose (1998) rapporte que l'influence de la pente reste complexe. Dans plusieurs cas, Roose (1973 ; 1977) a observé une réduction du volume ruisselé lorsque la pente augmente.

Ces quelques divergences dépendent fortement de l'importance accordée aux autres facteurs tels que l'intensité de la pluie et ou les caractéristiques du sol mis en jeu pour mieux comprendre l'effet de la pente.

Le rôle de la longueur de la pente est controversé. Certes, plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule. Cette accumulation s'accompagne d'une énergie capable d'arracher et transporter les matériaux. Néanmoins, Roose, (1977) conteste la croissance de l'érosion par unité de surface avec la longueur de la pente. C'est ainsi que, cet auteur souligne qu'en Afrique tropicale, le rôle de la longueur ne serait « *ni très prononcée, ni constante* ».

Les modèles d'érosion combinent ces deux paramètres pour évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse du ruissellement.

1-5-2 Les facteurs dynamiques

Le climat, les sols, la végétation et les pratiques humaines constituent ce deuxième groupe de facteurs. Ils sont dans l'ensemble variables dans une dimension spatio-temporelle.

Le climat contribue dans le processus du ruissellement et d'érosion à travers l'intensité et le volume des précipitations. Ces paramètres sont les sources d'énergie nécessaires pour les processus et font du climat, la première cause de l'érosion (Roose, 1977). L'intensité est la hauteur tombée rapportée à la durée de l'évènement pluvieux. Elle reste toujours variable au cours d'un même évènement pluvieux. L'intensité des pluies est le principal facteur d'érosion. Son influence sur les pertes en terre a été démontrée par Roose (1977), ce qui confère aux pluies tropicales une agressivité considérable. Quant à la hauteur tombée, sa part dans l'évaluation du volume ruisselé et du coefficient de ruissellement est indispensable. Ces derniers, ont sans doute un effet direct sur l'érosion. Sur la base des caractéristiques des pluies (hauteur et intensité), des indices d'agressivité des pluies ont été définis par des auteurs en tenant compte des conditions bioclimatiques dans la détermination des variables. L'application ou l'adaptation de ces indices dans l'Adar telle que réalisée par Bouzou (1988), a exigé une modification de la hauteur limite au ruissellement à 5mm. Ainsi, il souligne aussi la variabilité de l'indice d'agressivité des pluies dans le temps et l'espace.

D'autres éléments climatiques peuvent jouer un rôle secondaire sur la gravité du phénomène d'érosion. L'évaporation entre les périodes pluvieuses peut jouer sur le degré de dessiccation des fragments de surface et modifier la stabilité structurale et le profil hydrique des couches superficielles et modifier ainsi l'infiltrabilité des sols.

Le sol en tant que formation superficielle est un facteur d'érosion. Le sol fournit les sédiments arrachés et déposés. Le déplacement des particules du sol est facilité par ses caractéristiques qui associent la matière organique, la texture et les minéraux constitutifs. Ces caractéristiques assurent la stabilité structurale, paramètre incontesté de la résistance du sol à la destruction.

Ces deux facteurs intimement liés à la nature et la morphologie du terrain, expliquent le degré de perte en terre. Leur influence est vérifiée sur les parcelles (Diallo, 2000) tout comme à l'échelle du bassin versant.

Le sol est une entité dynamique (Guillobez, 1990). Ses caractéristiques telles que la matière organique et la stabilité structurale, évoluent avec le mode d'exploitation (Quantin et Combeau, 1962 ; Roose, 1973, 1980, 1989) cités par Roose, (1998), ce qui influence sa sensibilité au ruissellement et à l'érosion au fil des années. La sensibilité des sols (leur érodibilité) à l'érosion varie dans des proportions considérables et l'usage que l'homme en fait a une incidence capitale sur leur comportement (Neboit, 1991). En effet, un sol travaillé continuellement avec des techniques culturales non conservatoires, perd sa résistance. Sur ce type de sol, la teneur en matière organique s'abaisse, la stabilité structurale se dégrade peu à

peu et l'expose à une forte sensibilité à la battance. Ce compactage superficiel du sol réduit l'infiltration au profit du ruissellement.

En outre, Renard et al. (1997) concluent que l'érodibilité des sols varie selon les zones géographiques compte tenu des variations de l'érosivité des précipitations. Cette variation démontrée par Roose, (1983) est aussi fonction de l'âge du défrichement et des techniques culturales.

L'évolution de ces quelques caractéristiques dans une dimension spatio-temporelle, confère au facteur sol une certaine dynamique.

La végétation pour sa part, dans sa fonction d'interception de l'énergie pluviale et de régulation du ruissellement, est un facteur de contrôle du risque érosif. Cette tâche imputable à la végétation, dépend du type et de la densité du couvert végétal. En effet, Batti et Depraetere (2007) ont démontré sur la base des observations de Golubev (1983) et de Morgan (1979) que le degré de protection de la couverture végétale est un bon indicateur pour estimer et évaluer l'érosion du sol. Une règle standard de ce facteur a été mise au point pour approcher et confirmer son importance. Ainsi :

- ❖ l'érosion sur des terres cultivées est 10 fois supérieure à celle qui se produit sur les pâturages ;
- ❖ l'érosion sur des terres cultivées est 100 fois supérieure à celle existant en forêt ;
- ❖ une diminution de 30% de la forêt multiplie l'érosion par 5.

Ce rôle protecteur de la végétation se limite à l'effet de la variabilité des pluies et des besoins en terre de plus en plus grandissant de l'homme qui sont les facteurs clés de l'évolution de nos écosystèmes.

Enfin, l'homme intervient en tant que facteur d'érosion à travers les pratiques ou mesures de soutien visant à modifier le processus du ruissellement de surface et réduire ainsi l'érosion des sols. Ces mesures sont diversifiées et tiennent compte de la nature des terrains. Mais avant d'être un soigneur des dégâts causés par l'érosion, l'homme était aussi un principal acteur de dégradation des sols. Les défrichements qu'il opère sur les formations végétales, la mise en culture sans précautions préalables quant aux techniques utilisées, le surpâturage, et la non-restitution au sol de ses éléments nutritifs enlevés par les cultures sont autant de paramètres qui facilitent le ruissellement et par conséquent l'érosion des sols.

Ainsi, l'homme qu'il soit actif ou passif dans la dynamique érosive, constitue une surcharge sur les écosystèmes du fait de l'accroissement de plus en plus inquiétant de la population et de ses besoins.

Ces facteurs précités et classés en deux catégories sont universellement admis dans l'étude d'érosion. Dans certains cas, ces facteurs sont classés en facteurs naturels (Néboit, 1991) (climat, topographie, sol et végétation) et facteurs humains (la double fonction de l'homme). Leurs variabilités limitent pratiquement les mesures en tous points et à chaque instant, d'où la nécessité de recourir aux indices.

1-6 Les indices associés

Les recherches classiques à l'échelle régionale s'appuient sur l'appréciation des indices pour évaluer et/ou caractériser en si peu de temps et de moyens un problème posé. Ces indices obtenus sur un milieu de référence, sont mis au point par la suite d'une série d'observations et de mesures. Ils sont de plus en plus utilisés dans des études globales malgré leurs limites relatives à la transposition et aux extrapolations auxquelles ils font face d'un milieu à un autre. Les anomalies qui naissent suite à l'influence des conditions locales font l'objet d'une sorte de mise à jour régulière de l'indice mais aussi sa pertinence et sa vulgarisation.

Actuellement, l'érosion hydrique figure parmi ces champs d'études où l'évaluation s'appuie sur la multiplication des indices attribués à chaque domaine impliqués.

Un indice (*index*) tel que défini par Gumuchian et Marois (2000), est une mesure quantitative plus ou moins synthétique résultant de la combinaison de deux ou plusieurs variables ou indicateurs. Un indice serait alors *un signe apparent qui renvoie son objet par une relation directe. Il est du reste, très probable. Sa première fonction est de matérialiser une variable synthétique sous des valeurs quantifiées après une série de mesures, d'observations afin de traduire finalement la relation. Il est souvent sans unité.*

Les indices sont aussi utilisés dans les prévisions et le suivi des phénomènes à la surface de la terre. L'utilisation des indices est une nouvelle manière qui prend de plus en plus d'ampleur dans le diagnostic des écosystèmes. Ceci a aussi facilité et accéléré des études régionales et mieux, la spatialisation des phénomènes.

Les divers modèles d'érosions hydriques sont essentiellement formulés par ces indicateurs. Il importe cependant de rappeler qu'il existe une diversité d'indices qui caractérisent telle ou telle variable de l'écosystème dans l'étude de l'érosion hydrique.

1-6-1 Les indices climatiques

Le climat à travers la pluie, semble la variable la plus caractérisée par des indices. Les raisons en sont bien connues : la pluie est le paramètre prépondérant dans le dynamisme des écosystèmes surtout sahéliens. Très tôt, De Martone (1926-1942) a calculé dès les années 1940 l'indice d'aridité du climat avec un accent tout particulier sur les écoulements. Cet indice associe la pluie (P) comme premier paramètre d'écoulement et la température (T) comme principal facteur d'évaporation sous la formule $I = P / (T+10)$.

La simplicité dans le calcul et l'acquisition de données nécessaires à cette formule ont rendu aussi possible la cartographie de cet indice à l'échelle mondiale. Les résultats illustrent parfaitement l'explication recherchée. Cependant, comme l'auteur l'a souligné, des anomalies peuvent être observées pour des raisons de l'influence du couvert végétal et du relief de la localité concernée. Ainsi, l'indice de De Martone, caractérise globalement l'aridité d'une région suivant des valeurs croissantes. En effet, plus la valeur est faible, plus la région est aride.

L'indice d'aridité bioclimatique est un autre indice proposé par la FAO (1979) pour différencier les régions sèches. Il est donné selon le rapport des apports pluviométriques (P) et de l'évapotranspiration (ETP). Cet indice dont la vocation est la caractérisation de la sécheresse d'une région, a permis de classer et définir les différentes zones écologiques.

Par ailleurs, pendant les années 1980 a vu le jour un autre indice climatique dont la fonction principale est de caractériser la pluviométrie annuelle. L'indice de Lamb (1982) ou indice de pluie annuelle ou encore indice de pluie standard, est une variable centrée et réduite traduisant l'excédent ou le déficit pluviométrique annuelle au niveau d'une station. Cet indice est obtenu sous l'expression suivante :

$$(X_i - X)/S$$

Avec X_i : pluviométrie de l'année i ; X : pluviométrie moyenne interannuelle sur la période de référence S : écart type de la pluviométrie interannuelle sur la période de référence.

Cependant, Abdou et al, (2008) ont proposé une formule plus harmonieuse caractérisant ainsi la pluviométrie à l'échelle régionale. Plusieurs autres indices sont aussi associés avec toujours une fonction climatologique.

La modélisation de l'érosion hydrique vient avec l'indice d'agressivité des précipitations ou encore indice d'érosivité des pluies de Wischmeier (*rainfall erosion index*) (1958). Cet indice occupe la part du climat dans l'étude des processus d'érosion. Il tient compte de l'effet conjugué de la hauteur et de l'intensité de la pluie. Cette relation est diversement appréciée et appliquée par des chercheurs à travers le monde.

Aux Etats Unis où cet indice était pour la première fois mis au point, l'érosivité de la pluie est égale au produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale en 30 mn dans les conditions normales.

Les travaux entrepris par Hudson (1965) cité par Roose (1994) au Zimbabwe, mettent en relation l'érosivité des pluies avec seulement une intensité de 25mm/h, seuil à partir duquel s'observe le ruissellement. Pour sa part, Lal (1976) cité par Roose (1994) au Nigéria, a modifié l'indice de Hudson en prenant en compte une intensité maximale en 7 ou en 15 mn.

Ces différents indices sont tous issus d'une seule relation de départ : intensité- hauteur de pluie. Leur contribution a été significative dans l'évaluation de l'érosion hydrique des sols dans les milieux où ils ont été conçus.

La recherche de ces indicateurs dans certaines contrées, se limite au dispositif à mettre en place pour disposer de ces informations.

Sur un autre plan, Fournier (1967) a proposé aussi un indice d'agressivité des pluies en Afrique au sud du Sahara en tenant compte de la grande répartition irrégulière des précipitations. Ainsi, l'indice de Fournier est égale à la pluviométrie du mois le plus arrosé (p) au carré rapportée à la pluie annuelle (P) : p^2 / P . Cet indice a également fait l'objet d'une modification par Arnoldus en 1980.

Sur dix années de mesures, Roose (1977) a fait le constat selon lequel en Afrique de l'Ouest, l'érosivité des pluies est corrélée à la pluviosité annuelle. C'est sur cette base, qu'il a transformé l'indice d'érosivité de Wischmeier sous la simple expression :

$$\mathbf{Ram = Ham \times a}$$

Où **a** est une variable régionale. Selon qu'on se trouve en plaine où $a = 0,5$, en montagne ou près de l'océan la variable **a** est de 0,3 et 0,6.

Cette mise à jour de l'indice de Wischmeier en région ouest africaine vient aussi faciliter la recherche et la compréhension de l'érosivité des pluies.

Ces indices ont servi aux utilisateurs et aux concepteurs, la comparaison du potentiel érosif des pluies sous divers climats et la construction des cartes d'*isoerodents* (Néboit, 1991).

Ainsi, la caractérisation de l'érosivité globale dans nos milieux cache certaines réalités sur l'agressivité plus déterminante des pluies orageuses des débuts de saison ou d'autres évènements pluvieux exceptionnels qui sont plus ou moins fréquents.

1-6-2 L'indice de végétation

La végétation est certainement le facteur le plus important de contrôle d'érosion des sols. Son rôle est d'autant plus efficace quand le taux de couverture est assez abondant pour absorber l'énergie des gouttes de pluie et ralentir le ruissellement (Roose, 1994). Pour ce faire, comment évaluer ces caractéristiques si importantes ? En suggérant également cette insuffisance, Roose (1973) a procédé aux mesures de la proportion des surfaces couvertes par divers types de plants à l'échelle de la parcelle d'expérimentation.

Cependant, à l'échelle régionale, cette fonction du couvert végétal dans le couple ruissellement-érosion (et bien d'autres dans le suivi environnemental), a conduit des chercheurs à proposer des indices de végétation.

En effet, de très nombreux indices sont utilisés pour caractériser l'état de la végétation depuis les années 1980. Le calcul de ces indices se base sur la mesure de la réflectance captée par des satellites. Le plus couramment utilisé reste le NDVI (normalize difference vegetation index). C'est un indice mis au point par Rouse en 1974 et Tucker en 1979. Il s'obtient à partir des signatures spectrales enregistrées dans le rouge et le proche infrarouge des images satellites. Son expression est donnée selon ce rapport :

$NDVI = (PIR) - (R) / (PIR) + (R)$ où R et PIR représentent respectivement le rouge et le proche infrarouge.

Le NDVI est un outil de suivi de la couverture du sol. Il assure une bonne indication de la biomasse.

1-6-3 L'indice des sols

L'érodibilité d'un sol est définie comme étant sa résistance à deux sources d'énergie : la battance de la goutte de pluie et le ruissellement (Roose, 1994). Cette caractéristique est mesurable à partir du regroupement d'autres variables inhérentes au sol.

La résistance du sol au processus du ruissellement et d'érosion dans les modèles d'érosion est symbolisée par l'indice K. Cet indice est fonction de la texture, de la matière organique, de la perméabilité et de la structure. Ainsi, la résistance du sol est donnée par les expressions suivantes :

$$K = [2.1 \times 10^{-4} \times M^{1.14} (12 - MO) + 3.2 \times (b - 2) + 2.5 \times (c - 3)] / 100$$

Avec $M = (\% \text{Limon} + \% \text{Sables}) (100 - \% \text{Argiles})$

MO : la matière organique, b : le code de la structure ; c : la classe de perméabilité

Outre cette formule ayant permis à Wischmeier, Johnson et Cross (Roose, 1994 ; Diallo, 2000) d'établir un nomographe d'érodibilité, certains auteurs ont préféré l'indice d'instabilité (I_s) de Hénin. C'est ainsi que Quantin et Combeau (1962), affirment que l'indice de Hénin varie avec les saisons et l'évolution du couvert végétal. Cet indice s'obtient sous la formule suivante :

$$I_s = A + L / A - 0,9 S_g$$

A : le taux d'argiles

L : le taux de limons

S_g : le taux de sables grossiers

En effet, à travers cet indice, lorsque l'instabilité structurale est positive, le sol est considéré comme fragile. Tandis qu'un sol stable a un indice négatif. Les résultats d'évaluation de ces deux indices sur le bassin versant de l'Oti au Togo, s'opposent (Kankpenandja, 2011). Cet auteur, a ainsi préféré l'indice d'érodibilité de Wischmeier.

Ces différents indices sont le plus couramment utilisés et fournissent les bases de fonctionnement des modules regroupés dans les systèmes d'informations géographiques.

1-7 Les SIG et les modèles d'érosion

Le Système d'Information Géographique reste une démarche récente qui a vu le jour au milieu des années 1960 avec un essor au début des années 1980. Cette dernière période marque une avancée significative dans le traitement de l'information à référence spatiale et facilite l'application des modèles de spatialisation en particulier les modèles d'érosion. Sans trop prétendre à détailler cette nouvelle technique, il est important de savoir qu'est-ce qu'un Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) ? En effet, il existe plusieurs définitions des SIG, celles-ci retiennent notre attention :

un ensemble de principes, de méthodes, d'instruments et de donnée à références spatiale utilisés pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et les processus distribués dans l'espace géographique. Les données sont analysées afin de produire l'information nécessaire pour aider les décideurs (Thériault, 1995).

Pour sa part, ESRI-France définit les SIG comme étant *un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent.*

Pour nous, les Systèmes d'Information Géographique sont *un outil et une méthode de conception, de collecte, de traitement, d'analyse et de gestion de données géographiques, représentées sous forme de couches thématiques qui peuvent être croisées dans un environnement informatique constitué de logiciels.*

Ces quelques définitions se justifient pour chacun, de l'usage de cet outil innovant.

Parmi les champs d'application de cette technique figurent la gestion de l'environnement, les études d'aménagement. Les problèmes d'érosion étant partie intégrante de ces domaines de recherche, sont aussi directement concernés par la puissance des SIG pour :

- ❖ créer des cartes ;
- ❖ intégrer tout type d'information ;
- ❖ mieux visualiser les différents scénarios, afin de mieux présenter les idées et proposer des solutions possibles et adéquates.

En effet, les modèles d'érosion sont désormais associées aux SIG et à la télédétection. La télédétection, en apportant une vue synoptique, actualisée et répétitive (Escadafal et Pouget, 1989) des paysages et des écosystèmes, est apparue dès ses débuts comme une solution prometteuse face à ce besoin. Il est vrai, qu'avec ces nouvelles techniques d'acquisition et de traitement des données, on découvre progressivement l'intérêt de la spatialisation des méthodes de calcul des pertes en terre, de la cartographie pour représenter les résultats sur de grandes étendues et de la création de scénarios pour les interventions humaines sur le milieu (Bonn, 1998).

Les SIG et la télédétection sont une approche onéreuse et efficace pour spatialiser les résultats des modèles d'érosion. L'apport de cette approche par la cartographie qu'elle produit, dans l'étude de l'érosion permet de localiser avec précision les secteurs nécessitant une intervention prioritaire (Fox et Morschel, 2004).

Cette technique est rigoureusement utilisée dans ce travail dans la collecte, le traitement des données analysées dans ce travail.

1-8 Définitions des concepts

Ecosystème : Il se définit comme étant l'ensemble des liens d'interdépendance des constituants d'un milieu ambiant. Unité fonctionnelle de base en écologie, l'écosystème est en somme une association dynamique de deux composantes en constante interaction : un environnement physico-chimique, géologique et climatique que constituent le biotope et l'ensemble d'êtres vivants qui caractérise la biocénose (Jérôme, 2009).

Le bassin versant : l'idée de bassin versant n'est pas nouvelle. C'est un concept développé par les géographes, il y a plusieurs siècles. Le bassin versant est une unité spatiale définie par la ligne de partage des eaux et dans laquelle toutes les eaux de surface sont drainées vers un même cours d'eau jusqu'à son embouchure dans un autre cours d'eau d'ordre supérieur ou dans une mer (Jérôme, 2009). Le bassin versant est aussi l'unité pertinente de gestion du territoire d'un point de vue hydrologique, écologique et géomorphologique (Chorley, 1969).

Un kori est un cours d'eau à écoulement spasmodique et/ou temporaire (Bouzou et al, 2009). Il appartient géographiquement aux régions sub-sahariennes plus particulièrement sahéliennes caractérisées par une saison des pluies pendant laquelle il coule. Ces cours d'eau occupent dans leur ensemble des vallées sableuses et se présentent pendant la saison sèche en une multitude de mares dont la plupart sont semi permanentes. Il est assimilé à des oueds des régions sahariennes et méditerranéennes, par le fait que leurs écoulements sont discontinus dans le temps mais aussi brutaux.

Les koris sont aussi 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 s'allonge par érosion régressive (Mamadou, 2012).

Hydrogéomorphologie : c'est une approche mais aussi un concept assez récent. L'Hydrogéomorphologie est une démarche qui vient compléter d'autres méthodes de géographie appliquée. Mise au point dans les années 1980, et validée depuis 1996, cette approche permet de diagnostiquer et de suivre la dynamique d'écoulement des cours d'eau. Elle a un fondement naturaliste, basé sur l'observation et l'interprétation du terrain pour délimiter les zones inondables (METT, 1996).

Aussi, l'Hydrogéomorphologie est un concept issu d'un ensemble de processus hydrologiques et géomorphologiques à travers la combinaison des phénomènes d'accumulation des sédiments et de leur érosion. En effet, l'Hydrogéomorphologie est une notion interactive influencée par des facteurs variés. C'est aussi une notion systémique à vocation descriptive et explicative à la fois, le tout dans une évolution historique dans laquelle nombreux sont les facteurs qui interagissent. Dans la zone d'étude, l'utilisation de cette expression est fondée explicitement sur l'interrelation du ruissellement et de l'érosion à l'origine de la multiplication des mares avec comme conséquence la reprise d'écoulement du kori.

Ce phénomène ne s'observe uniquement pas sur le bassin du kori Mountséka. C'est une situation d'ensemble qui ressort du constat de plusieurs chercheurs au Sahel et qui reste fortement liée aux transformations socio écologiques qui sont à l'origine des modifications des états de surface. Ce concept s'élargie et se réserve au nouveau comportement des vallées sèches sur la rive gauche du fleuve Niger.

Un évènement extrême ou exceptionnel : Un événement extrême, de nature climatique ou autre, est en effet un événement relativement rare en ampleur, en fréquence et/ou en durée pour un système donné, au cours d'une période déterminée. Il est relativement soudain. Le cas ici présenté est relatif aux pluies. A cet effet, un évènement pluvieux extrême (ou exceptionnel) se manifeste par une forte intensité et une quantité de pluie susceptible d'engendrer des catastrophes ou toutes autres empreintes aux activités humaines ou à l'environnement et dont la période de retour est supérieure ou égale à 2 ans.

1-9 Méthodes et outils de recherche

Les matériels et méthodes utilisés dans la collecte et le traitement des données, sont inspirés pour la plupart des différentes études hydrologiques et géomorphologiques. Cependant, quelques améliorations ont été apportées dans l'approche sur les diverses échelles d'analyse de la problématique hydrogéomorphologique.

1-9-1 La méthode

La méthode est un ensemble de démarches raisonnées que suit l'esprit pour parvenir à un objectif fixé. Elle consiste à suivre avec application, un chemin qui mène à un but en respectant des étapes intermédiaires. La compréhension de la dynamique hydrogéomorphologique du kori passe nécessairement par la dynamique de l'ensemble du bassin versant. Face à un tel désir, nous développerons cette recherche dans une approche systémique. Cette démarche, largement vulgarisée dans l'approche « macroscopique » par De Rosnay (Wieber, 1980), offre un intérêt évident. Elle fournit une vision régionale à partir des observations précises et d'étude stationnelle.

Compte tenu de ce principal objectif, les principales étapes ont concerné la collecte de données sur le terrain et dans les archives des services administratifs.

1-9-1-1 Les différentes échelles d'investigation et d'analyse

L'étude de la dynamique hydrogéomorphologique se justifie selon les échelles considérées. Le choix d'échelles d'investigation et d'analyse est imposé par les objectifs fixés dans ce

travail. Ainsi, trois échelles d'observation et d'analyse sont distinguées à cet effet, dans ce travail (figure 1).

1-9-1-1-1 L'échelle du bassin versant

Cette première échelle couvre l'ensemble du bassin versant du kori Mountséka. A ce niveau, les suivis effectués sont : l'évolution de la dynamique d'occupation du sol, le suivi et la typologie des fourrés ripicoles, la répartition des précipitations et la spatialisation du risque d'érosion.

A cette échelle, l'analyse diachronique est valorisée par l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (SIG) et la télédétection.

1-9-1-1-2 L'échelle du sous bassin

Un deuxième niveau d'analyse regroupe les observations et mesures directes effectuées à l'échelle du bassin versant représentatif expérimental (BVRE). A cette échelle, les études associent le recul des têtes et l'extension rapide des ravines, les mesures du ruissellement et d'érosion sur parcelle expérimentales.

1-9-1-1-3 L'échelle du bas fond : l'écoulement du kori Mountséka

La dernière étape d'observation se situe juste sur la dynamique des cônes alluviaux dans l'analyse de la création ou de la disparition des mares et de la progression d'écoulement dans le fond de la vallée.

Les édifices sableux que constituent les cônes sont aussi remobilisés pour être déposés plus loin. Ce phénomène qui fait la règle sur l'évolution des cônes de déjection et des verrous est suivi pour apprécier leurs dynamiques. D'autre part, elle se focalise aussi sur le suivi et la caractérisation des mares (les conditions de création, extension et disparition) le long du kori.

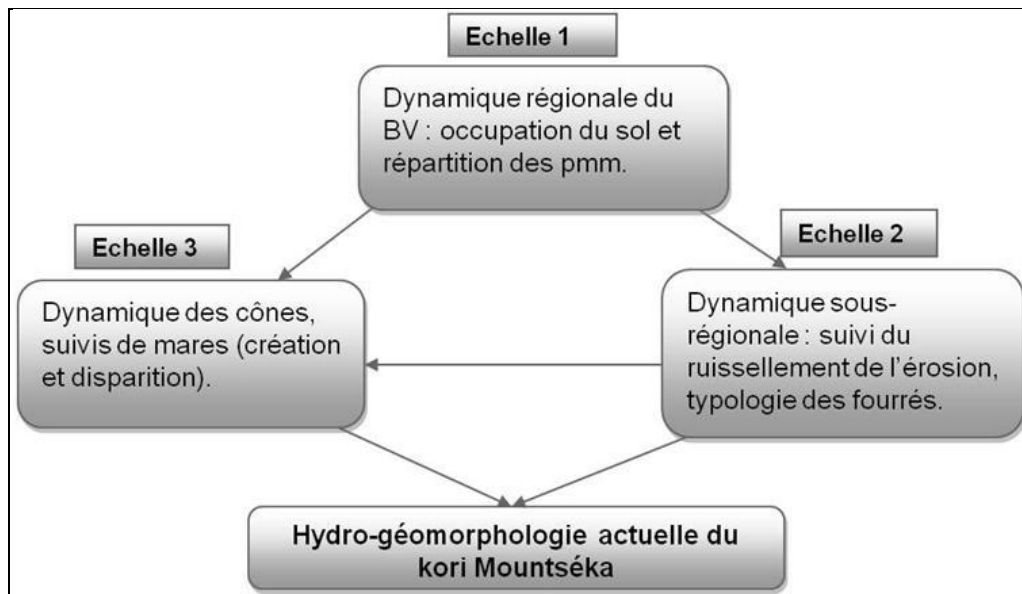


Figure 1: schémas conceptuelle d'échelle d'analyse hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka

1-9-1-2 La caractérisation du climat

La caractérisation du climat sahélien à travers la variable pluviométrique, repose sur des calculs d'indices. L'indice pluviométrique annuel de Lamb, (1982), défini comme une variable centrée et réduite est le plus utilisé (Paturel et al, 1997).

Cependant, compte tenu des incertitudes et des disparités qu'il renferme, Abdou et al, (2008) propose ici une nouvelle manière de calculer l'indice à l'échelle régionale sous l'expression suivante :

$$(I_R^i)^* = \frac{P_R^i - \bar{P}_R}{\sigma_R}$$

$(I_R^i)^*$ est l'indice pluviométrique régional d'une année i ,

P_R^i la pluie moyenne régionale de l'année i ,

\bar{P}_R la moyenne interannuelle de la pluie régionale,

σ_R l'écart-type de la pluie régionale P_R .

L'anomalie de la pluie d'une année i est l'écart entre P_R^i de l'année et la pluie moyenne interannuelle \bar{P}_R , calculée sur la période d'étude considérée.

Dans cette approche, la pluie régionale (à l'échelle de la zone d'étude) est calculée par krigeage. Le krigeage est un estimateur linéaire sans biais qui prend en compte la distribution spatiale irrégulière des stations dans son calcul de pondération.

Malgré l'insuffisance des données dans la plupart des postes pluviométriques qui couvrent la zone d'étude, cette méthode a été appliquée pour la caractérisation des précipitations à l'échelle de la zone d'observation.

En effet, la caractérisation du climat dans son ensemble est effectuée sur une série de mesures cohérentes (1961-2011) disponibles dans deux stations. La station synoptique de Birni N'konni constitue ici notre station de référence à laquelle s'ajoutent les cinq postes d'observations pluviométriques (Illéla, Dogon kiria, Matankari, Douchi et Birni N'Konni) qui entourent la zone d'étude. Sur la base des normes de l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM), deux périodes se distinguent dans l'analyse du climat :

- ✚ La période allant de 1961 à 1990 ;
- ✚ La période de 1991 à nos jours.

Au sein de cette dernière période en cours, nous retenons l'année 1994 comme l'année repère dans cette problématique hydrogéomorphologique.

Différents tests de ruptures dans la série pluviométrique ont été effectués sur les stations de Birni N'konni et de Douchi. A travers ces tests, plusieurs ruptures ont été identifiées, caractérisant ainsi l'évolution des totaux annuels à l'échelle de la région.

A l'échelle de la zone d'observation, la caractérisation a consisté dans un premier temps à la répartition de la moyenne pluviométrique par *krigeage*. Par ce procédé d'interpolation malgré la faible densité des postes d'observations disponibles, il nous a été possible d'estimer la hauteur pluviométrique moyenne à l'intérieur du bassin versant où aucune mesure n'est disponible pendant cette période.

La deuxième étape est toute similaire à la première avec les situations allant de 1991 à nos jours. Cette dernière période est certes marquée par des lacunes dans quelques postes pluviométriques, néanmoins la densité des postes d'observation a été renforcée par notre dispositif de mesure de la pluie variable de 2 à 5 ans.

Enfin, le croisement de ces deux périodes illustre les fluctuations enregistrées dans l'ensemble de la région.

1-9-1-3 Cartographie et caractérisation

Dans cette étape, il s'agit de fournir les informations nécessaires sur l'évolution du kori et de son bassin versant. La cartographie multi-dates, par l'interprétation des images satellites disponibles a permis de faire une analyse rétrospective (1973-86) afin de comprendre la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des sols (avec un accent particulier sur les fourrés ripicoles et les mares).

La caractérisation quant à elle, se base à la fois sur les mesures de perméabilité, de la matière organique et à la granulométrie des formations superficielles.

1-9-1-3-1 L'occupation des sols

A l'échelle du bassin versant, l'occupation des sols est un facteur qui influence le ruissellement et l'érosion. L'évolution de l'occupation du sol est un signe patent de l'emprise humaine sur le milieu. Sa contribution dans l'équation des pertes en terre est symbolisée par le facteur C.

L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol, s'appuie sur cinq périodes disponibles mais aussi nécessaires. La période 1973 et 1986, ont servi de présenter une situation du bassin versant pendant les grandes années des sécheresses sahéliennes. Quant aux périodes 1996, 2005 et 2010 ; ont permis à la fois une vision globale du bassin versant après la période de référence et une vision détaillée en répondant soigneusement au but recherché.

La composition colorée des images obtenues auprès du centre AGRHYMET sont en bandes 1, 2, 3 (visible) et bande 4 (proche infrarouge). Bien que cette combinaison soit imposée (car les images ont été déjà créées en quatre bandes pour d'autres fins), elle a permis une bonne identification des unités d'occupation en fausse couleur en répondant aussi à l'atteinte de ce travail. La combinaison de ces bandes en 3 ; 2 ; 1, pour les périodes 1986, 1996, et en 4 ; 2 ; 1 pour les périodes 1973, 2005 et 2010 (figure 2), distingue les unités d'occupation comme suit :

Les cultures pluviales : elles se présentent sous forme de mosaïques de figures géométriques beige à jaune claire (champs cultivés) emboîtées ou juxtaposées dans certains cas à quelques figures de couleur marron (jachères, friches).

Le rouge représente **la végétation**, selon l'unité topographique occupée, on distingue des brousses tigrées, des broussailles, les steppes arbustives et des fourrés ripicoles.

Une attention toute particulière est portée à cette dernière unité où nous distinguons des sous classes en tenant compte de la densité de la végétation. La NOS (MELCD/DE, 2006), définit les fourrés ripicoles comme étant des formations végétales qui apparaissent sur l'image sous forme effilochée en petit massif de couleur variant du rouge au magenta. Elles ont une structure généralement massive et homogène et une texture lisse.

Sur le terrain, elles constituent des formations arborées arbustives relativement formées de buissons avec présence d'*Acacia ataxacantha* et d'autres espèces épineuses avec un recouvrement fort ($R > 60\%$). On les rencontre généralement sur sol lourd (argileux ou argilo limoneux à argileux sableux) dans les zones inondables, autour des mares et le long de certains cours d'eau et ravins.

La végétation dans son rôle régulateur des écoulements et des sédiments, tient une place de choix surtout dans la dynamique des kosis. En effet, la dynamique des sédiments déposés sur les cônes alluviaux est fonction de l'importance de cette végétation qui borde ces chenaux d'écoulements. Ainsi, *des fourrés ripicoles réguliers, des fourrés ripicoles dégradés et des fourrés ripicoles très dégradés* sont déterminés dans les documents cartographiques de ce travail. L'image satellite utilisée répond clairement pour discriminer ces sous classes qui se matérialisent comme suit :

- ✚ **les fourrés ripicoles réguliers** : remarquables sur l'image par une couleur rouge, vif symbolisant la végétation, suivant une forme linéaire des chenaux d'écoulements sans aucune discontinuité. Le recouvrement est estimé à plus de 60% ($R > 60$). De par ces caractéristiques, en particulier la densité à travers la continuité de la teinte rouge, cette unité a l'avantage de stabiliser les berges des kosis et de réduire les dépôts des sédiments sur les cônes alluviaux.
- ✚ **les fourrés ripicoles dégradés** : contrairement à la toute première classe, celle-ci se distingue par la discontinuité du rouge (végétation) et quelque fois ponctuée de tâches blanchâtres. Cette dernière caractéristique matérialise l'apparition du fond du kori lorsque la végétation est mal fournie ou moins dense. Le recouvrement est compris entre 30 et 60 ($30\% < R < 60\%$).

✚ **les fourrés ripicoles très dégradés** : dans ce cas de figure, la végétation est très discontinue et souvent absente. Le recouvrement est inférieur à 20% ($R < 20\%$). Seule la tache blanchâtre du fond du kori reste dominante, témoignant ainsi les sédiments charriés. Ici, les cônes de déjection s'édifient à la confluence du collecteur principal, remarquables par la teinte blanche.

Ces sous classes ainsi définies, sont aussi prises en compte dans la détermination facteur « C » de la RUSLE ou des valeurs leur sont attribuées.

Les sols nus, de formes très variables, apparaissent généralement en vert foncé sur les sommets des plateaux ou associés aux affleurements rocheux des glacis; une couleur blanchâtre généralement dégradée sur les versants ou le plus souvent à proximité des vallées.

Le bleu, représente **les mares** identifiables sous diverses formes : ponctuée, polygonale sur les versants ou étirée le long de la vallée principale.

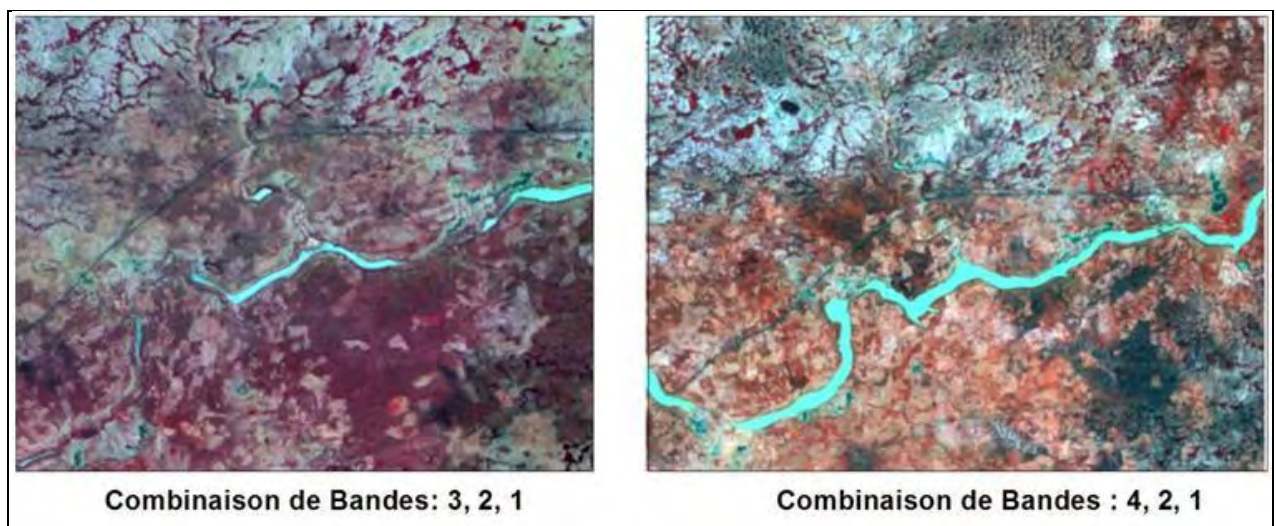


Figure 2: combinaison de bandes spectrales des images satellites traitées

Toutes ces unités d'occupation sont numérisées sur toutes les périodes de référence évoquées ci-haut et analysées sous environnement SIG.

Pour marquer la place de l'occupation du sol dans la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka, outre ce suivi multi-date, il inscrit la détermination du taux d'évolution moyen annuel pour chaque unité d'occupation. Ce taux est donné par la formule suivante (Wafu Tabopda et Huynh, 2009) :

$$Tx(u) = (((S_x - S_{x-1}) / S_{x-1}) \times 100) / a$$

Avec

$T_x(u)$: taux d'évolution moyen annuel par unité ; S_x : superficie de la situation récente ; S_{x-1} : superficie de la situation antérieure

a = intervalle d'années entre les deux périodes.

A travers ce taux, l'évolution moyenne annuelle de toutes les unités d'occupation du sol est calculée entre les différentes périodes considérées dans l'analyse à l'échelle du bassin versant.

1-9-1-3-2 Les formations superficielles

La cartographie des formations superficielles est élaborée à partir de l'image Landsat ETM+ de 2010. Les données du détecteur « *Thematic Mapper* » permettent d'aller beaucoup plus loin dans la caractérisation de l'état et de la nature des surfaces (Escadafal et Pouget, 1989). Ainsi, avec la résolution de 30x30 m, la morphologie est beaucoup mieux cernée et le repérage facilité. Le canal 1, combiné aux deux autres canaux du visible classique, permet une meilleure distinction des reflectances. Le canal 4 combiné aux canaux du visible permet une détermination du couvert végétal et discriminer sans ambiguïté les états de surfaces.

La carte représentant ces formations superficielles s'est révélée être un outil d'aide à la prospection très efficace. Elle est également utilisée pour étudier les problèmes de bilan hydrique (Escadafal et Pouget, 1989) et l'aptitude des sols à l'infiltration et au ruissellement.

Du fait de ce rôle prépondérant, la prospection et la caractérisation des formations superficielles (types et perméabilité) sur le terrain, s'est opérée dans un premier temps par le choix de quelques sous bassins versants. Ces sous-ensembles ont servi de cadre aux observations détaillées et au prélèvement (carte 5) à partir desquels toutes les formations superficielles sont *répertoriées* et *identifiées*. Nous avons tenu de respecter, que les transects recoupent toutes les unités morpho-pédologiques.

La deuxième étape qui entre dans cette caractérisation, a consisté à l'appréciation de la *structure* suivant des fosses de 20 à 30 cm de profondeur environ et au prélèvement d'échantillon de sol. A cela s'ajoute sur tous les types identifiés, un test de *perméabilité (infiltration)* à l'anneau unique et au cylindre.

La méthode de l'anneau unique, demeure la plus simple, fiable et moins coûteuse (Elrick et al. 1995 ; Anderson et Ingram, 1993; Touma et al. 2007 cités par Assie et al, 2010).

Les résultats obtenus après traitement des données illustrent les types de surfaces et leurs caractéristiques dans les 20 à 30 premiers centimètres du sol. Ces données, où s'expriment à la fois des ressources et des contraintes, apporte une nouvelle vision des problèmes de mise en valeur des versants.

1-9-1-4 L'évaluation de l'érosion

L'érosion peut être évaluée à différentes échelles spatiales. Les études hydro-érosives (au Sahel et dans le Maghreb en particulier), ont pour la plupart des cas été réalisées suivant deux méthodes d'évaluation du ruissellement et de l'érosion. Le choix ou le recours à l'une ou l'autre des méthodes est d'abord fixé par les objectifs scientifiques, l'échelle spatio-temporelle et les moyens techniques et financiers disponibles. Elles ont chacune leurs domaines d'application et leurs limites. Enfin, elles sont complémentaires et peuvent en fonction de la problématique et des objectifs de recherche être couplées pour assurer la précision des résultats.

1-9-1-4 -1 Les parcelles ou cases d'érosion

Cette première méthode, directe, fastidieuse et moins précise est essentiellement basée sur le suivi de parcelles expérimentales. Elle permet de quantifier le ruissellement en tant que principal moteur de l'érosion hydrique et aussi apprécier le comportement des sols au phénomène. Cette méthode est le plus souvent conditionnée par les conditions pluviométriques, les systèmes culturaux et la dynamique du couvert végétale. La taille des parcelles dépend fortement des moyens disponibles et l'objectif recherché. D'une façon générale, l'on reproche à cette démarche le manque de précision des résultats. Relativement à cette question d'importance capitale, les chercheurs ont pris conscience depuis longtemps (Diallo, 2000). Pour minimiser les erreurs y relatives, des études plus ou moins récentes (Hudson, 1996 et Nearing et al, 1999 cités par Diallo, 2000) suggèrent la nécessité des répétitions des parcelles d'expérimentation. Malgré ces limites, les résultats issus des parcelles d'érosion sont nécessaires à la construction et/ou la validation des modèles d'érosion. Les résultats sont aussi utiles pour la démonstration aux paysans ou pour le besoin de comparaison entre les parcelles protégées par le couvert végétal ou non (Hudson, 1996 cité par Diallo, 2000).

1-9-1-4 -2 Les modèles de spatialisation d'érosion

Elle constitue la seconde méthode. Elle consiste à évaluer les risques d'érosion sur des cartes à petite échelle tout en s'appuyant sur les corrélations entre les caractéristiques climatiques et la topographie (Fournier, 1962 et 1967 ; FAO, 1980 cités par Collinet, 1988).

Si de nombreuses études ont été menées pour mieux cerner et comprendre les mécanismes généraux de l'érosion hydrique, rares sont celles qui se sont intéressées à une estimation globale du risque de perte en terre à l'échelle du bassin versant. La spatialisation de l'érosion repose aujourd'hui sur un regroupement d'indicateurs systématiques qui constituent les modèles.

Un modèle n'est jamais parfait. C'est une démarche qui a pour but d'expliquer et d'estimer qualitativement ou quantitativement un phénomène. Haggett, 1973 cité par Gumuchian et Marois, (2000), définit un modèle comme étant une représentation schématique de la réalité élaborée en vue d'une démonstration. Il illustre la structure d'un phénomène particulier dans sa logique propre.

Pour l'érosion hydrique, des modèles sont utilisés. Ces modèles sont pour la plupart des cas quantitatifs. Les modèles d'érosion sont un moyen efficace de sensibiliser les pouvoirs publics en ce qu'il constitue un outil d'aide à la décision (Elbouqdaoui et al, 2006). L'utilisation des modèles aide à mieux prévoir les risques afin de prendre des mesures efficaces de gestion des ressources naturelles avec un minimum de temps et de moyens. Les résultats issus de ces modèles sont sous forme cartographique, illustrant ainsi les risques potentiels de pertes en terre des terrains concernés. Ces modèles utilisent presque les mêmes paramètres physiques, ils sont et constituent les seuls recours que le chercheur ou le politique utilise pour planifier les besoins de conservation des sols à une échelle régionale. Nous en présentons quelques-uns d'eux.

- ❖ L'équation universelle de pertes en terre de Wischmeier et Smith (1959) connue sous ces termes anglais : *Universal Soil Loss Equation (USLE)* ou l'une de ses versions modifiées (**RUSLE1**), établie par Renard et al (1997) a été empiriquement établie à partir de mesures ponctuelles sur parcelles expérimentales. Ce modèle est à sa deuxième version (*Revised Universal Soil Loss Equation Version 2: **RUSLE2***), sous l'impulsion du département des sciences environnementales et d'ingénierie des Biosystèmes (université de Tennessee) en coopération avec le service américain de recherche en Agriculture (ARS en anglais) et du service de conservation des

ressources naturelles (NRCS). Il est à souligner que la différence entre ces trois versions résulte dans leur structure mathématique bien que le résultat reste toujours le même en termes d'estimation d'érosion annuelle. Cette dernière version a aussi l'avantage de prendre en compte l'interdépendance entre les facteurs intégrés.

Toute la structure du modèle s'inscrit dans une démarche globale qui prend en compte tous les facteurs naturels et humains intégrés à l'échelle régionale (par exemple le bassin versant) pour l'évaluation de l'érosion. Ce modèle mis au point en 1959 aux Etats-Unis est né du traitement statistique des résultats de nombreuses années de mesures (20 ans) sur parcelles expérimentales. Depuis, ce modèle a été largement utilisé en Afrique, particulièrement en Afrique de l'ouest malgré quelques modifications tenant compte des conditions bioclimatiques de certains facteurs de l'équation. En effet, selon ce modèle la perte en sol est donnée par le produit des expressions suivantes:

$$E = 2.24[R.K.SL.C.P]$$

E : équation de perte en terre

R : indice d'agressivité des pluies à l'érosion

K : indice d'érodibilité du sol

SL : facteur topographique qui intègre la pente et la longueur de la pente

C : facteur d'occupation du sol par la couverture végétale et

P : facteur exprimant la protection du sol par les pratiques anti érosives.

Les résultats issus de cette équation sont exprimés en tonne par acre par an (t/acre/an). Ainsi, en multipliant par la constante 2,24 cela permet de passer des unités américaines en tonne par hectare par an (t/ha/an).

Le principe de ce modèle, est de comparer l'érosion d'un site quelconque à l'érosion d'une parcelle témoin de dimensions standard tout en la traitant périodiquement afin qu'il ne se forme aucune croûte superficielle ou qu'elle ne change pas de formation superficielle initiale. Il faut noter que les mesures sur la parcelle permettent essentiellement d'évaluer l'érosion décapante induite par le ruissellement en nappe. Le but essentiel de cette équation est de définir de façon moins empirique les techniques culturales et les aménagements anti érosifs à mettre en œuvre en un lieu dont on connaît : la topographie, le climat, le sol et les cultures souhaitables de développer sans risque de ruiner le patrimoine foncier. Concernant l'érosion en nappe et en rigole à l'échelle du champ (ou du versant), à l'exclusion des cas où dominant l'énergie du ruissellent et l'érosion linéaire (cas des argiles gonflantes, des reliefs de montagne, des ravins et des rivières des climats désertiques et méditerranéenne où l'action des averses exceptionnelle est déterminante). Elle n'est universelle que dans la mesure où chacun

des facteurs évoqués joue un rôle important dans le développement du phénomène d'érosion (Wischmeier, 1976 cité par Bahari, 2009).

Par ailleurs, ce modèle bien que universel, renferme des insuffisances relatives d'une part à l'interaction des facteurs dans la compréhension et l'efficacité de tel ou tel facteur dans le déclenchement du processus du ruissellement et de l'érosion. En effet, selon Auzet (1987) cité par Macary et Berville (2003), la principale critique à cette équation est qu'elle se présente sous la forme d'un produit et ne fait intervenir les facteurs que par leurs poids statistiques sans tenir compte de leurs liaisons causales, négligeant aussi les relations complexes. Les seules interactions prises, sont de manière sommaire puisque les facteurs sont supposés linéaires. Cette première limite semble être prise en compte dans la RUSLE2.

D'autre part certains auteurs ont aussi critiqué la prise en compte des valeurs seuils pour caractériser les précipitations et aussi l'utilisation des parcelles expérimentales standardisées. C'est ainsi que le meilleur critère à retenir devrait être la hauteur à partir de laquelle on observe le ruissellement. A titre illustratif, Bouzou (1988) a observé dans nos milieux des pluies de 5mm ayant généré le ruissellement sur les petites parcelles. Roose (1994, 1998) a aussi souligné une des limites de parcelles d'érosion en ces termes : « *la méthode des parcelles d'érosion fournit des valeurs relatives d'érosion et de ruissellement, des valeurs comparatives entre les différents traitements, mais ne donne pas la valeur absolue de l'érosion en un point du versant puisqu'on isole la parcelle de son environnement naturel (en particulier des apports d'eau et de sédiments venant de l'amont)* ».

- ❖ La *Soil Loss Estimation Model for Southern Africa (SLEMSA)* est aussi un modèle d'estimation de perte en terre qui s'appuie sur les mêmes approches et principes de base que le modèle précédent. Ce modèle a vu le jour à la fin des années 1970 en Afrique du Sud plus particulièrement au Lesotho à partir des travaux d'Elwell et Stoking sur des parcelles expérimentales standards et l'énergie cinétique des pluies. Ensuite, il a été initialement testé au Zimbabwe puis amélioré, il est aujourd'hui adapté dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne. Ce modèle à l'avantage d'utiliser peu de moyens et de données et est comparable à l'USLE.

Le schéma explicatif de la SLEMSA tel que donné par Elwell et Stoking en 1981 se présente comme suit :

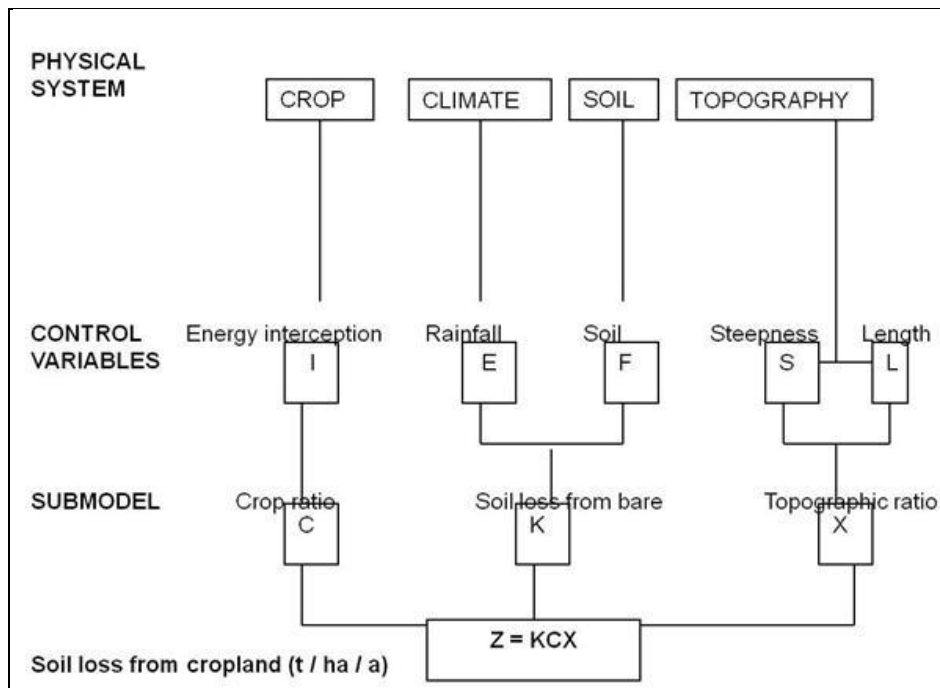


Figure 3: structure du modèle SLEMSA (d'après Elwell, 1981 cité par Richard, 2003)

I: energy interception; E: rainfall energy; F: soil erodibility; S: slope steepness; L: slope length

Z : érosion mesurée ou prévisible c'est à dire la perte en sol moyenne annuelle en t / ha.

K : perte en sol sur une parcelle standard non exploitée

X : facteur topographique

C : facteur des techniques cultural du couvert végétal.

- ❖ *Land Erodibility Assessment Methodology (LEAM)* est un modèle inspiré de l'USLE de Wischmeier et Smith, développé par Manrique en 1988. Il a été conçu pour les pays en développement ne disposant pas d'informations climatiques et pédologiques complètes et précises (Elbouqdaoui et al, 2006). Il fait appel à seulement trois facteurs pour diagnostiquer les zones vulnérables au processus de ruissellement et d'érosion des sols. Ces facteurs sont l'érosivité des pluies, l'érodibilité des sols et la pente. L'absence de l'occupation du sol, des pratiques culturales et des aménagementsfont que, ce modèle ne fournit qu'une première étape dans l'étude du risque d'érosion à l'échelle spatiale.
- ❖ *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*, est aussi un modèle de prédiction d'érosion développé par le Département d'Agriculture des États-Unis (USDA). Il a été conçu

pour être utilisé sur les bassins versants non-jaugés (par exemple le bassin versant du kori Mountséka). Ce modèle a la capacité de subdiviser le bassin versant en unités homogènes de réponse hydrologique par l'utilisation du MNT.

Le calcul de l'érosion produite sur un milieu donné, se fait sur la base de la version modifiée (MUSLE) (Arnold et al, 1998) de l'équation universelle de perte en terre de Wischmeier et Smith (1958). SWAT intègre seulement trois paramètres à savoir : le modèle numérique de terrain (MNT), les caractéristiques du sol et les types d'usage des sols afin de produire la carte de sensibilité des sols à l'érosion.

1-9-1-5 Le modèle appliqué dans cette étude

Notre analyse bibliographique sur l'utilisation des modèles, a mis en évidence les avantages et les limites de l'utilisation des modèles de prévision de perte en terre. Faute d'un « **modèle ouest-africain** » notre choix porté sur le modèle de Wischmeier et Smith (1958) pour la simple raison qu'il est le plus inspiré et le plus utilisé parmi les modèles de prévision de l'érosion. Aussi ce modèle est utile sur le bassin versant de Mountséka, dans le but de comparer les résultats avec ceux d'autres chercheurs dans des écosystèmes similaires. En effet, comme l'a souligné Roose (1994), l'USLE est calibrée pour tous les pays où le ruissellement est lié à la dégradation de la surface du sol. Toutefois notre choix porte sur la RUSLE ou la *Revised Universal Soil Loss Equation* qui permet de passer de la parcelle à de vastes régions agricoles. Cette version regroupe tout de même les principaux facteurs de l'USLE qui sont le sol, le climat, la topographie et l'occupation du sol. Son principal objectif est d'assurer le contrôle, la conservation et l'organisation du phénomène d'érosion.

Chacun de ces paramètres constitue un sous modèle de l'équation et représente une couche d'information. Ici, il s'agit de considérer tous les facteurs comme des éléments en interrelation dans un système plus large (écosystème du bassin versant) et qui peuvent par conséquent être croisés entre eux en utilisant les nouvelles techniques de traitement de données géographiques.

1-9-1-6 Les entretiens

L'entretien mené auprès des agriculteurs et éleveurs de la zone d'observation, a pour but principal de fournir des informations relatives à la dynamique d'écoulement et des mares. Il a

concerné exclusivement les classes d'âge comprises entre 30 et plus. Ce choix se justifie dans notre souci de retracer l'évolution du kori Mountséka durant les 20 dernières années. Outre cette évolution, l'entretien a permis d'apprécier qualitativement la dynamique hydro érosive du kori principal ainsi que de ses tributaires. Sans compter ces questions d'ordre environnemental, l'entretien a permis aussi de circonscrire le rôle et la perception de l'homme de ces changements au sein de la vallée du kori Mountséka. Certes la perception humaine des changements environnementaux a une place capitale dans ce travail, néanmoins le besoin d'explorer le véritable problème de la vallée Mountséka et de son kori, réserve cette composante pour une étude en perspective. Cette dernière doit d'abord disposer des résultats sur la maintenance du milieu physique.

En effet, cet entretien bien que sélectif et qualitatif, vient appuyer nos arguments et observations dans l'atteinte des objectifs de ce travail.

1-9-2 Le matériel

1-9-2-1 Les données d'entrée

Les données exploitées pour la compréhension de l'hydrogéomorphologie actuelle sont très hétérogènes et loin de fournir une information aussi satisfaisante. Elles sont très anciennes et moins abondantes, surtout dans ce contexte, la qualité de l'information n'en demeure pas rassurante. Dans le cadre de cette thèse, des dispositifs sont installés (pluviomètres, pluviographe...) en vue de fournir et améliorer la base de données pluviométrique à l'intérieur du bassin.

1-9-2-1-1 Quels supports ?

La maîtrise de l'information environnementale s'appuie aujourd'hui sur les nouvelles technologies en constant développement telles que l'information satellitaire, l'informatique et la modélisation. Les supports utilisés pour le suivi et la spatialisation du phénomène sont multi-sources et peu abondants.

Ainsi, sont disponibles, les images satellites et la carte topographique (tableau 1). La période de prise se situe pour toutes les images avant ou après la saison des pluies, ce qui permet une bonne détermination des unités d'occupation des sols. Il faut souligner que celles-ci sont

rarement mises à jour et difficilement accessibles. Pourtant, ces données spatiales sont indispensables pour surveiller la dynamique environnementale et le suivi des systèmes hydrologiques sahéliens.

Tableau 1: caractéristiques des supports cartographiques

| Données | Période | Résolutions spectrales/échelles | Utilisations |
|----------------------------|----------------|--|--|
| <i>Image SPOT XS</i> | 1996 | 20 m | Occupation du sol, Suivis de mares et cônes |
| <i>Landsat ETM+</i> | 25/09/2005 | 30 m | Occupation du sol |
| <i>Landsat MSS</i> | 29/09/1973 | 57 m | Occupation du sol |
| <i>Carte topographique</i> | 1955-56 | 1/200 000 | Morphométrie |
| <i>Landsat TM</i> | 06/01/1986 | 30 m | Occupation du sol |
| <i>Landsat ETM+</i> | 25/02/2010 | 30m | Occupation du sol et les formations superficielles |

1-9-2-1-2 Les données climatiques

La caractérisation du climat est rendue possible grâce à l'utilisation des données pluviométriques. Les précipitations constituent l'élément climatique le plus remarquable pour caractériser la dynamique d'un écosystème. En effet, la caractérisation du climat par la répartition des précipitations est mise en évidence à partir du réseau pluviométrique de la zone et améliorée par notre équipement bien que sur un temps court.

La zone d'étude est encadrée par une station synoptique (Birni N'konni) et une station climatique (Doutchi) qui remontent aux années 1960. Ces deux stations sont renforcées par les postes pluviométriques de Matankari au Nord-Ouest, Dogon Kirya au Nord et Illéla au Nord-Est.

Ensuite, à l'intérieur du bassin versant, l'on dispose de trois postes pluviométriques (Aléla, Yaya et Dan katsari) que notre équipement vient appuyer dans la collecte de données. Faut-il le rappeler à ce niveau que des lacunes ont entaché la plupart des postes pluviométriques.

Les deux premières stations ont contribué aussi dans la caractérisation de la température, du vent, et de l'ETP.

1-9-2-2 Le dispositif expérimental et mesure

Les mesures de terrain effectuées dans le cadre de ce travail sont inspirées des dispositifs utilisés par les études antérieures sur le ruissellement et la pluie. Le test de perméabilité a fait l'objet d'une expérimentation plus ou moins empirique, mais les résultats sont acceptables.

1-9-2-2-1 Mesure du ruissellement

L'approche est basée sur les mesures du ruissellement et de l'érosion selon les usages des sols les plus représentatifs de la zone d'étude. Cela est rendu possible grâce aux parcelles expérimentales développées par l'équipe agronomique du service américain de conservation du sol et vulgarisées en Afrique de l'Ouest par Roose (1977).

Les mesures ont été menées dans une station, installée en 2010 sur le glacis d'un sous bassin représentatif. Le dispositif, comprend un pluviomètre et quatre parcelles (avec une répétition) de 10 m². Parmi les quatre parcelles, trois représentent les types d'occupation du sol (*jachère, culture pluviale et sol nu*) (photo 1) et une parcelle régulièrement binée (parcelle standard). Chacune des parcelles, isolée par un muret en béton de 15 cm environ, est munie en aval par un canal qui débouche dans des cuves de stockage des MES (figure 4). Le dispositif tel que conçu et réalisé, impose la vidange des cuves après toute pluie ruisselante. Dans ces conditions notre présence pendant la saison des pluies était déterminante. Les parcelles sont installées sur une pente moyenne de 2%.

Le suivi se fait après chaque évènement pluvieux, où les volumes d'eau ruisselés sont mesurés et prélevés (d'un litre) sur chaque parcelle. Ceci a permis d'évaluer le coefficient de ruissellement (rapport entre la hauteur de la lame ruisselée et celle de la quantité tombée) et le taux d'érosion (MES) pour chaque évènement. Ces données sont nécessaires pour examiner la dynamique hydro-érosive du bassin versant et l'écoulement du kori Mountséka.

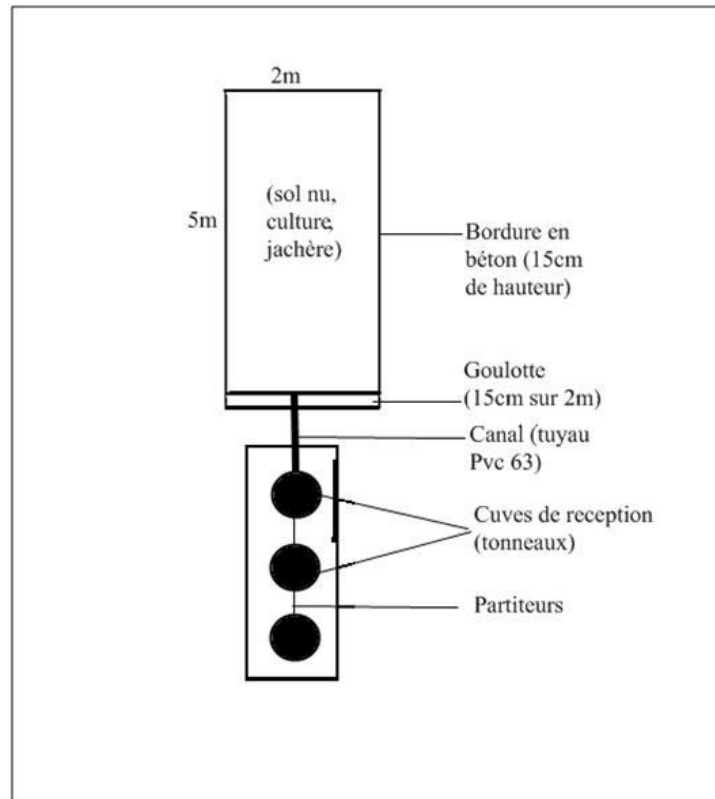


Figure 4: schémas de la parcelle d'érosion installée dans le sous bassin versant de Mountséka (vue en plan)



Photo 1: parcelle de mesure de ruissellement et d'érosion : croûte d'érosion (à gauche) et jachère (à droite)

1-9-2-2-2 Le suivi pluviométrique

La pluie, est le seul élément climatique mesuré. Notre réseau de mesure est constitué par des pluviomètres journaliers à lecture directe (photo 2), installés dans quatre villages (seulement à

des années différentes) le long de la principale vallée. Chaque poste d'observation est suivi par un instituteur sur place à qui une fiche de relevé journalier a été confiée. De même nous avons veillé au respect de cette fiche à travers des visites régulières.

Un pluviographe (photo 3) à auget basculant (0,5mm) muni d'un enregistreur Hobo permet de collecter les caractéristiques des précipitations (durée, intensité). Le suivi du pluviographe se fait deux fois dans le mois (Chaque deux semaines), exclusivement réservé à moi seul.

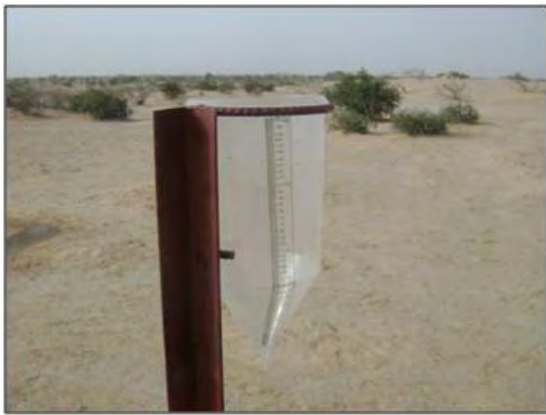


Photo 2: pluviomètre à lecture directe



*Photo 3: pluviographe à auget basculant
(0,5mm)*

1-9-2-3 Le suivi des ravines

L'érosion observée sur le bassin versant de Mountséka associe aussi le ravinement. La prise en compte de ce processus est effectuée par le suivi du recul des têtes des ravines. C'est un suivi annuel au GPS et au décamètre qui permet d'apprécier l'évolution régressive des ravines identifiées en fonction du type d'occupation du sol. A ces outils, s'ajoutent les repères naturels (arbres).

En plus, l'érosion linéaire a été quantifiée suivant une méthode qui consiste à mesurer les profondeurs et les largeurs de ravines sur des sections homogènes afin d'établir des moyennes. Cette technique permet ainsi de calculer le volume érodé par chaque ravine. La masse érodée est convertie en tonne/hectare en multipliant le volume à la densité apparente moyenne de 1,3 t/m³ (comm. Pers. Roose, 2012).

1-9-2-4 Les mesures d'infiltration du sol

Notre dispositif est composé d'un anneau, de 15 cm de diamètre sur 12 cm de hauteur et disposé de façon concentrique sur le sol, puis enfoncé de 10 cm environ. L'enfoncement est fait de façon lente et régulière, pour éviter de perturber le sol au voisinage de l'anneau. Le test est accompagné d'un chronomètre. A chaque essai, une charge hydraulique constante de 750 ml est la lame d'eau initiale. Ce dispositif, très facile à manipuler et avec une grande prudence est inspiré de l'appareil proposé par Colombani en 1970 (Nouvelot, 1993). La manipulation s'est faite exclusivement pendant les périodes où il ne pleut pas.

Pendant la saison des pluies une autre campagne de mesure d'infiltration a été effectuée. Le dispositif utilisé est inspiré de Previati, et al (2009). Il est essentiellement constitué d'un tube cylindrique de type Pvc de 6 cm de diamètre et d'environ 20 cm de hauteur (photo 4). Ce cylindre, confectionné de façon artisanale, est muni d'une graduation (en mm et croissante vers le bas) de l'intérieur afin de pouvoir lire la progression de la lame d'eau infiltrée par unité de temps. Il est également muni, de l'intérieur et vers sa partie basale, d'un tissu destiné à amortir le choc de la chute d'eau versée pour éviter la perturbation de la structure initiale de l'état de surface que la chute pourrait engendrer. Pour chaque essai d'infiltration, ce cylindre est enfoncé doucement dans le sol à une profondeur d'environ 5cm. La durée d'un essai est de 60mn et le tube est rempli autant de fois (variable selon l'état de surface) qu'il se vide durant ce pas de temps. Durant les 10 premières minutes de l'essai, la lecture de la côte se fait chaque minute et se poursuit (de la 10^{ème} minute à la fin de l'essai) après, suivant un pas de temps de 3mn. Les coordonnées GPS de chaque point d'essai sont également relevées. Le test est effectué un jour après une pluie ruisselante, de manière à prendre les conditions d'humidité préalable du sol. Grace à ce procédé, il a été possible de suivre l'évolution de la lame infiltrée des sols répertoriés.

Ces tests d'infiltration réalisés dans des conditions différentes sont complémentaires. Le test à l'anneau unique renseigne simplement sur la lame par unité de temps. Tandis que le deuxième dispositif vient renforcer la précision de l'anneau en apportant plus de détails sur l'évolution de la lame infiltrée au cours du test.

Ainsi, ces techniques ont permis d'apprécier l'infiltration de type des sols échantillonnés.



Photo 4: test d'infiltration au cylindre sur une croûte gravillonnaire

1-9-2-5 La bathymétrie et le suivi de mares

Les mesures bathymétriques réalisées au moyen d'une pirogue sur un tronçon autour du village de Mountséka ont pour objectif de satisfaire le besoin de comprendre la profondeur actuelle des anciennes mares du secteur. Aussi, cette donnée a permis de comprendre l'ampleur du rehaussement et éventuellement au comblement des fonds du kori autour du village de Mountséka, là où la dynamique est encore récente.

L'opération est effectuée avant (Juin) et après (Octobre) la saison des pluies. Les mesures sont faites grâce à un dispositif archaïque constitué d'un fil à plomb relié à une poulie et un GPS pour le relevé des points de mesure. Pour un besoin de précision, nous avons tenu à faire le maximum de points sur les mares concernées.

Ces mesures fournissent en fin de chaque campagne une trame de profondeurs des mares testées.

1-9-2-6 Les levées topographiques

La collecte de données topographiques par nivellement direct (Photo 5), permet de suivre l'évolution des cônes de déjection. Cette technique consiste en effet, à un nivellement de toute

la surface de cône de déjection et seuils en vue d'évaluer les dépôts ou les pertes des sédiments suite à l'action fluviale des cours d'eau. Cette opération s'effectue pendant la saison sèche, période qui coïncide avec le retrait des eaux sur les cônes de déjection.

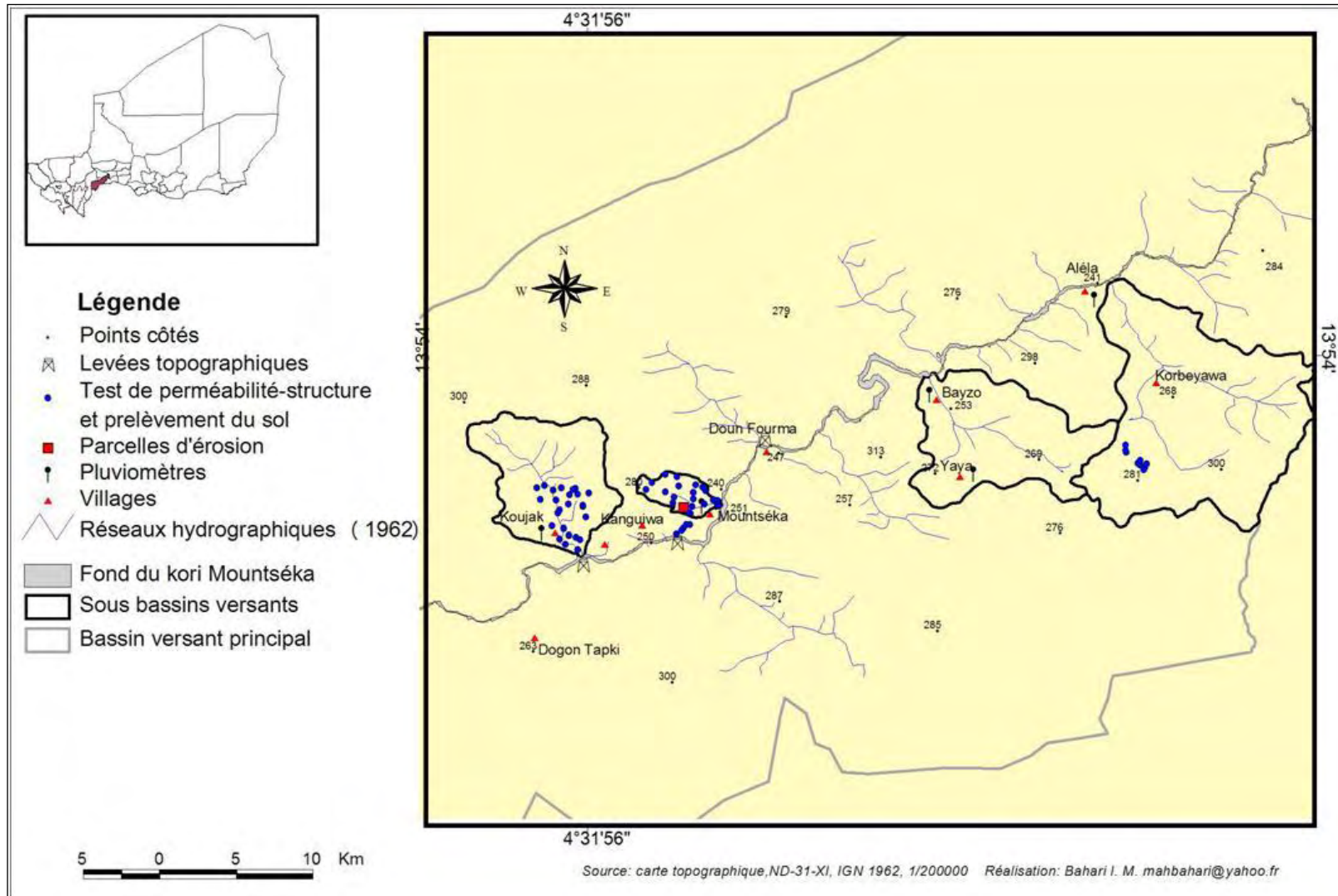
Le dispositif utilisé à cette fin, est composé d'un niveau de type WILD NK05, d'un trépied, d'une mire graduée et d'un GPS pour le relevé des points.



Photo 5: nivellement direct à l'aide du niveau altimétrique sur un cône alluvial

Le principe de ce nivellement est de mesurer des dénivelées puis de déduire l'altitude de repères ou des points caractéristiques du sol. Pour cela, l'opération nécessite 2 à trois personnes.

Le volume des sédiments déposés ou arrachés est enfin déterminé sur la base d'une comparaison et la superposition de la topographie du cône avant et après la campagne de mesure. Les résultats sont ainsi présentés en MNT de chaque période.



Carte 1: dispositif de mesures in situ dans la partie centrale du bassin versant Mountséka

1-9-2-7 La turbidité des eaux

Suite à l'inquiétude de la population locale face à la forte turbidité des eaux de mares, il est nécessaire d'évaluer la quantité de charge solide. En effet, pour répondre à cette attente, la turbidité des eaux du kori est ainsi appréciée à partir des prélèvements directs des eaux dans le kori principal après chaque évènements pluvieux ayant occasionné un écoulement. Cette méthode a consisté à décanter puis à sécher les échantillons à l'étuve réglée à 105°C au laboratoire. Le poids obtenu est enfin ramené à une unité en volume (1 litre).

1-9-3 Les techniques d'analyse et traitement au laboratoire

1-9-3-1 Les logiciels de spatialisation

Plusieurs logiciels ont été utilisés parmi lesquels Arc view (version 3.3). En effet, Arc view est un logiciel mis au point par Environmental System Research Institute (ESRI). Ce logiciel dispose d'une capacité nécessaire pour traiter nos données multi-sources. Aussi, Arc Map (version 9.3), Erdas (version 9.2), ont été utilisé pour le géo-traitement de l'information spatiale et surtout Idrisi (version Andes) pour la création des couches nécessaires à la spatialisation du risque d'érosion.

Ces logiciels ont permis de créer des couches d'information à références spatiale et à la réalisation des cartes dans ce document. La capacité d'effectuer une analyse spatiale et des calculs confère à ces logiciels des SIG toute leur importance naissante comme technique et outils à la fois dans le processus de traitement de données collectées.

A ce niveau, il est impératif de mettre en place une base conceptuelle pouvant aboutir à la réalisation des modèles. En effet, face à la diversité des données et des approches informatiques utilisées, il y a lieu de formaliser la procédure du système informatique à travers un Modèle Conceptuel de Donnée (MCD). C'est ainsi, un Modèle Conceptuel des Données permet de représenter la structure du système d'information, des données ainsi que les dépendances ou les relations entre les différentes données utilisées. A partir de ce modèle, suivront d'autres modèles (MPD et MLD). A travers ces modèles, découlera l'efficacité mais aussi la qualité de l'approche développée dans le travail.

Certes la mise en place des modèles est avancée dans la compréhension du système d'information géographique utilisé, néanmoins, notre faible capacité dans la connaissance de

la structure et de l'exigence de ces modèles n'a pas permis de compléter ce travail par ces modèles.

1-9-3-2 L'analyse granulométrique du sol

Cette étape s'est effectuée au laboratoire de pédologie de la Faculté d'Agronomie. Le traitement a permis de distinguer pour chaque type de sols, la proportion des argiles, des limons et différentes classes de sables. Ces différentes classes granulométriques sont ensuite intégrées dans l'équation d'érodibilité (K) des sols donnée par Renard et al, (1997).

Cette équation associe également la matière organique. Le taux de matière organique est calculé à partir de la formule :

$$\% \text{ Matière organique} = \% \text{ C} \times 1,72$$

Où C représente le carbone

Cette approche chimique dite « Méthode Anne », consiste à extraire le carbone par dosage du bichromate.

Au total, les 35 échantillons traités ont été prélevés sur trois (3) sous bassins versants situés dans notre secteur d'observation et de mesure. La moyenne des paramètres par type de sol issue des sous bassins est enfin régionalisée à l'ensemble du bassin versant de Mountséka. Ainsi, le résultat final est la répartition de l'indice d'érodibilité des sols.

1-9-3-3 Les traitements des MES et le calcul de l'érosion potentielle

Il s'agit de l'érosion potentielle issue des mesures du ruissellement sur parcelle expérimentale. Les relevés des hauteurs pluviométriques et les volumes d'eau recueillis dans les cuves de réception sur les parcelles ont permis de déterminer dans un premier temps le volume ruisselé (V_r) en m^3 .

La lame ruisselée, exprimée en mm, correspond à la part de la pluie qui n'est pas infiltrée et qui a dû déplacer les sédiments. Elle s'obtient par la formule :

$$\text{Lame ruisselée (Lr) mm} = V_r / S \times 1000$$

Ensuite, le coefficient de ruissellement exprime en pourcentage, la proportion de lame ruisselée par rapport à la hauteur tombée (P) en mm sous la formule suivante :

$$\mathbf{Kr (\%) = Lr/P \times 100}$$

Le coefficient de ruissellement annuel moyen (Kram) est enfin déterminé en faisant le rapport de la somme des Lr par la hauteur annuelle.

$$\mathbf{Kram = \sum \frac{Lr}{P_{annuelle}}}$$

Etant donné que l'on dispose de toutes les données de mesure du ruissellement, cette étape coïncide aussi avec la répartition mensuelle du coefficient de ruissellement. Ce coefficient apparaît pour plus significatif pour expliquer la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka.

Les prélèvements d'échantillons (1litre) effectués sur chacune des parcelles après chaque évènement ruisselant sont traités au laboratoire de manière suivante : L'échantillon est agité avant d'être versé dans le béciers qui sera mis dans une étuve (photo 6) réglée à une température de 105°C pendant 24h pour séchage. Après le séchage, le bécier est repesé pour déterminer le poids du dépôt sédimentaire (C).

L'érosion en g. m² ⁻¹ ou en t. ha ⁻¹ est ainsi obtenue par la formule :

$$\mathbf{E (g. m^2^{-1}) = (Vr^2 C) / 10}$$

De la même procédure, les prélèvements sur le kori sont séchés à l'étuve. La concentration des MES est directement exprimée en g. l⁻¹ .

Les résultats qui ressortent de ces calculs sont l'expression des proportions relatives des pertes en terre mesurées sur les principales unités d'occupation et d'utilisation des sols du bassin versant de Mountséka.

² Vr est exprimé en litre.



Photo 6: échantillons en cours de traitement à l'étuve

1-9-3-4 La spatialisation de l'érosion

La spatialisation du risque érosif par l'application de la RUSLE dans ce travail, s'effectue suivant la procédure ci-dessous (figure 5) au laboratoire. Elle regroupe cinq principales étapes toutes indispensables. La collecte de données d'entrée (Inputs) dans le modèle constitue la première étape. Elle a pour objectif de chercher toutes informations à référence spatiale du bassin versant relatives aux quatre grands domaines d'étude d'érosion des sols auxquels s'ajoutent l'observation et mesures du terrain pour la validation des résultats.

La seconde étape de cette démarche, est la plus onéreuse. Elle assure la pertinence des résultats. C'est ainsi qu'elle englobe le prétraitement, le traitement et la codification des facteurs du modèle. Le prétraitement consiste à corriger les déformations, les décalages des données (images satellite et cartes) et définir le système de projection de référence (WGS 84 Zone 31). Cette procédure consiste aussi à l'amélioration de la lisibilité des supports et faciliter le traitement. L'extraction de l'information est rendue possible grâce aux logiciels sous l'environnement SIG cités ci-haut. Le traitement des données a nécessité aussi l'apport d'autres applications informatiques pour convertir les données en formats exploitables sous SIG et faciliter la spatialisation.

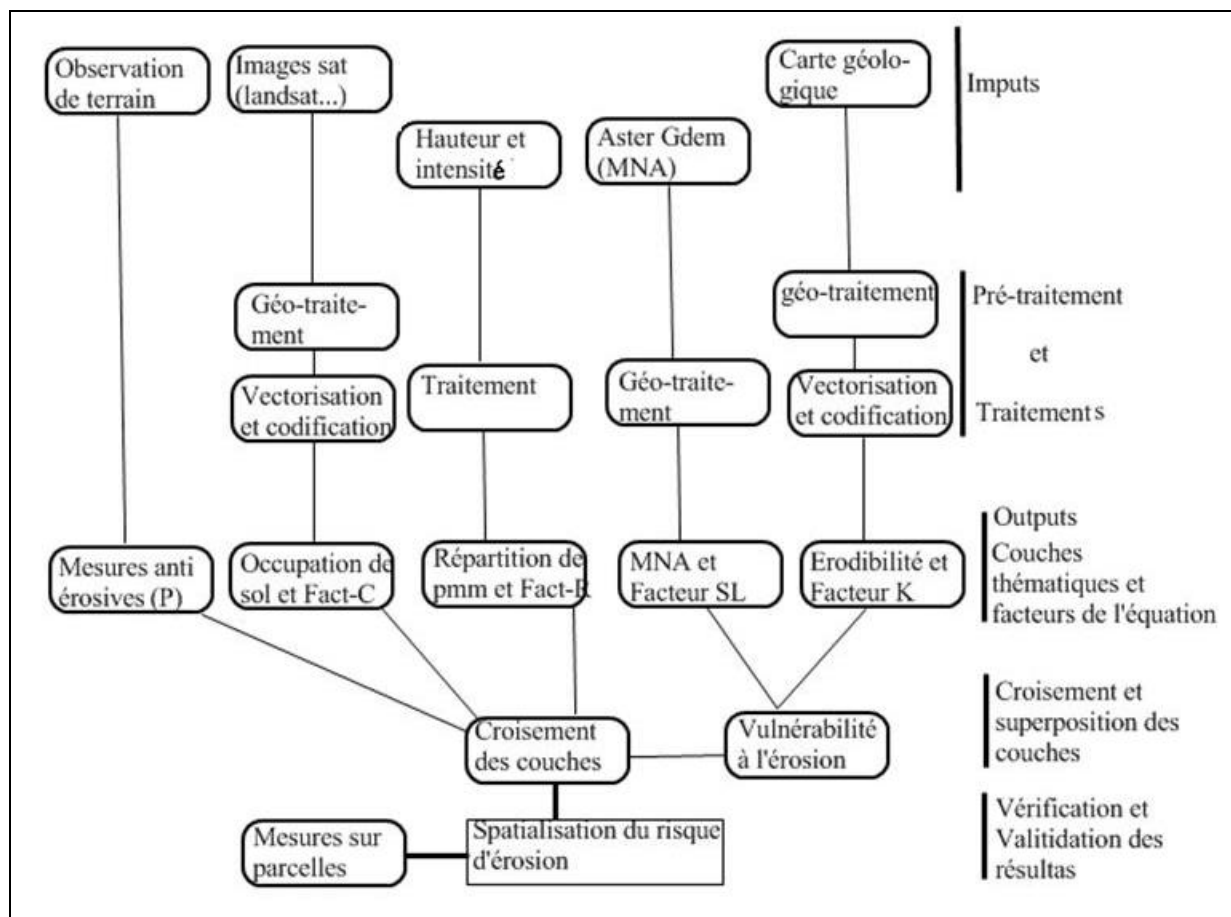


Figure 5 : démarche utilisée pour l'évaluation de la RUSLE dans les SIG

Ensuite, les couches qui ressortent de cette précédente étape donnent une esquisse des différents facteurs spatialisés sur toute la zone d'étude. Quelques croisements à ce niveau sont possibles pour apprécier et caractériser la zone d'intérêt ne serait ce que la vulnérabilité des sols à l'érosion.

La superposition de toutes les couches, est soldée par une seule couche qui résulte de la répartition du risque de pertes en terres du bassin versant. La vérification et/ou la validation est faite en comparant les résultats issus du modèle à ceux mesurés sur les parcelles expérimentales suivant les états de surface et usages des sols représentatifs du terrain.

1-9-4 Les difficultés rencontrées

Quelques difficultés ont été rencontrées, parmi lesquelles une séquence de disfonctionnement du pluviographe. En effet, la perte d'une séquence d'enregistrement du pluviographe dans laquelle figure une pluie de 45mm en 2011 a été observée. Ensuite, quelques basculements

des fûts ont engendré des pertes sur certaines parcelles. Cela a été atténué par les données de la parcelle répétée.

Aussi, les données pluviométriques de certains postes situés au Nord du bassin versant, renferment des petites lacunes surtout liées au récent dysfonctionnement du dispositif de mesure.

En plus, pendant l'expérimentation des dépôts éoliens suite au passage de lignes de grains sèches ont beaucoup perturbé les parcelles. Ces phénomènes s'observent généralement en début de saison.

La faible densité de notre réseau de suivi pluviométrique était non seulement liée à l'insuffisance financière mais aussi à l'absence des releveurs dans certains villages. Cela a limité l'extension du réseau pluviométrique. Celle-ci ne reste pas sans conséquence sur le maillage et la pertinence de la pluie estimée par le réseau d'isohyète.

Conclusion partielle

Le nombre important des méthodes et techniques détaillées dans ces pages sont inspirées des travaux antérieurs effectués dans d'autres milieux. Elles regroupent deux grandes phases : les investigations de terrain tiennent une part importante. Celles-ci ont consisté essentiellement à la collecte de données sur trois ans. A cela, s'ajoute le traitement au laboratoire afin d'apurer les données collectées. Cependant, celles-ci restent à conceptualiser suivant des modèles afin de compléter l'approche du système informatique utilisé dans la compréhension de la problématique du bassin versant du kori Mountséka.

Le choix de données à référence spatiale utilisées pour la cartographie est tout à fait satisfaisant. Les techniques et outils utilisés sont d'un apport important d'où la qualité des résultats de l'analyse des principaux facteurs de la dynamique actuelle.

Chapitre 2 : les conditions de la dynamique actuelle du bassin versant Mountséka

Ce chapitre présente les caractéristiques biophysiques du bassin versant du kori Mountséka. Son histoire géologique, ses caractéristiques climatiques et son peuplement ainsi que les pratiques d'exploitation des ressources actuelles du bassin, gouvernent sa vulnérabilité aux processus du ruissellement et d'érosion.

2-1 Le contexte morpho structural

2-1-1 Aperçu général de la géologie du bassin sédimentaire des Iullemenden

Le bassin sédimentaire des Iullemenden, est un vaste synclinal recouvrant la partie occidentale et une partie Sud du Niger. Cette cuvette couvre une superficie de 700 000 Km² et se situe entre 1° et 9° Est et 10° et 21° Nord (Hanon, 1990). Ce bassin est ouvert au Nord-Ouest par le Taoudeni au Mali, limité au Nord par les massifs montagneux de l'Aïr, au Sud et Sud-Ouest par le bassin cristallin du Liptako Gourma, à l'Est par le Damagaram-Mounio et au Sud par le Socle nigérian.

L'histoire géologique de ce bassin est marquée par des transgressions marines intercalées par des épisodes continentaux du Paléozoïque jusqu'au Cénozoïque (Greigert, 1966). Les dépôts les plus anciens de ces transgressions se retrouvent au Nord-Est et sont constitués des grés et des schistes tandis que les plus récents ont couvert jusqu'à notre secteurs d'étude.

On dénombre cinq transgressions sur ce bassin parmi lesquels le Continental terminal figure dans la dernière transgression. Cette couche, défini par Kilian en 1931 comporte plusieurs séries à dominance argilo gréseuse qui ont comblé le bassin des Iullemenden sur une épaisseur de 450 mètres dans la partie centrale. Ce sont des terrains argilo-sableux à kaolinite et à quartz reposant dans la majeure partie du bassin sur le Paléocène marin. A l'Ouest, le Ct est en position transgressive sur le socle Précambrien altéré.

La puissance du Ct va de 450 m environ dans la partie centrale au voisinage de Dogondoutchi jusqu'à 25 à 30 m sur la bordure orientale au voisinage du complexe Ader-Doutchi-Maggia. Vers l'ouest en direction de la frontière nigéro-voltaïque, la couverture du Ct diminue et disparaît.

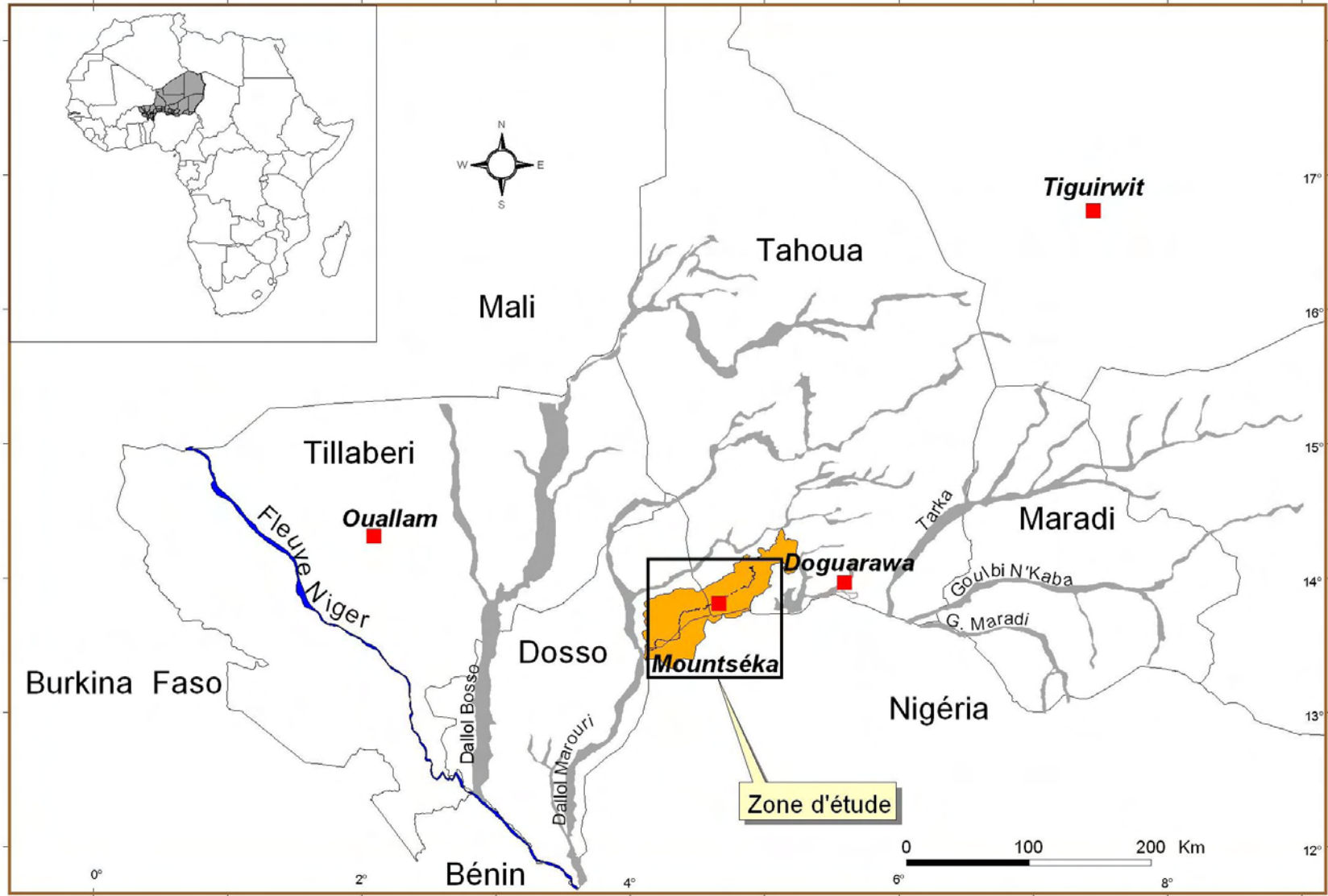
Le Ct est une formation continentale gréseuse, peu déformée (Dresch et al, 1960) qui se termine par une cuirasse latéritique au sommet des plateaux. Au total, quatre séries déterminent les conditions lithologiques du Ct. Ainsi, on distingue la série sidérolitique (Greigert, 1966) de l'Adar-Doutchi riche en argile (Ct1) avec une profondeur maximale de 80 m, à laquelle s'ajoutent deux autres couches (Ct1-2 et Ct2) argilo-sableuses avec lignite (Frieder G., 1999). La dernière couche de cet ensemble (Ct3), qui occupe la partie supérieure dans la stratigraphie générale de Greigert et Pougnet (1967) cités par Hanon (1990), est constituée des grés argileux. L'épaisseur maximale de cette dernière tourne au tour de 50 à 100 m.

Ces trois séries du Continental terminal, renferment une réserve en eau très importante et sont en liaison hydraulique (Monfort, 1996 ; Favreau, 2000).

En plus de ce dépôt continental de l'ère Eocène et Pliocène, s'ajoutent divers dépôts (éoliens, colluvions et alluvions) du Quaternaire.

Ainsi, se distinguent les dunes fixées, mortes, aplanies et sans orientation occupant une majeure partie du bassin. Le sable éolien recouvre aussi les sommets des plateaux de la région. Par ailleurs, Hanon (1990), note également que l'accumulation des colluvions et éluvions observés, est issu du démantèlement des horizons ferrugineux.

Dans les fonds des vallées fossiles, sont accumulés des dépôts alluvionnaires et des dépôts mixtes (carte 2). Ces dépôts sont constitués du sable éolien et d'alluvions riches en argile provenant des roches meubles environnantes.



Carte 2: localisation de la zone d'étude et le réseau des cours d'eau fossile au Niger central

2-1-2 Les spécificités de la zone d'étude

Le bassin versant du kori Mountséka repose entièrement sur le bassin des Iullemenden. Sur l'ensemble de sa superficie, 84,38% sont en territoire nigérien et 15,62% appartient au Nigéria voisin.

L'ossature des formations géologiques de la région est composée des dépôts sédimentaires du Continental terminal lors des cinq transgressions marines ayant jalonné l'histoire géologique du bassin sédimentaire des Iullemenden.

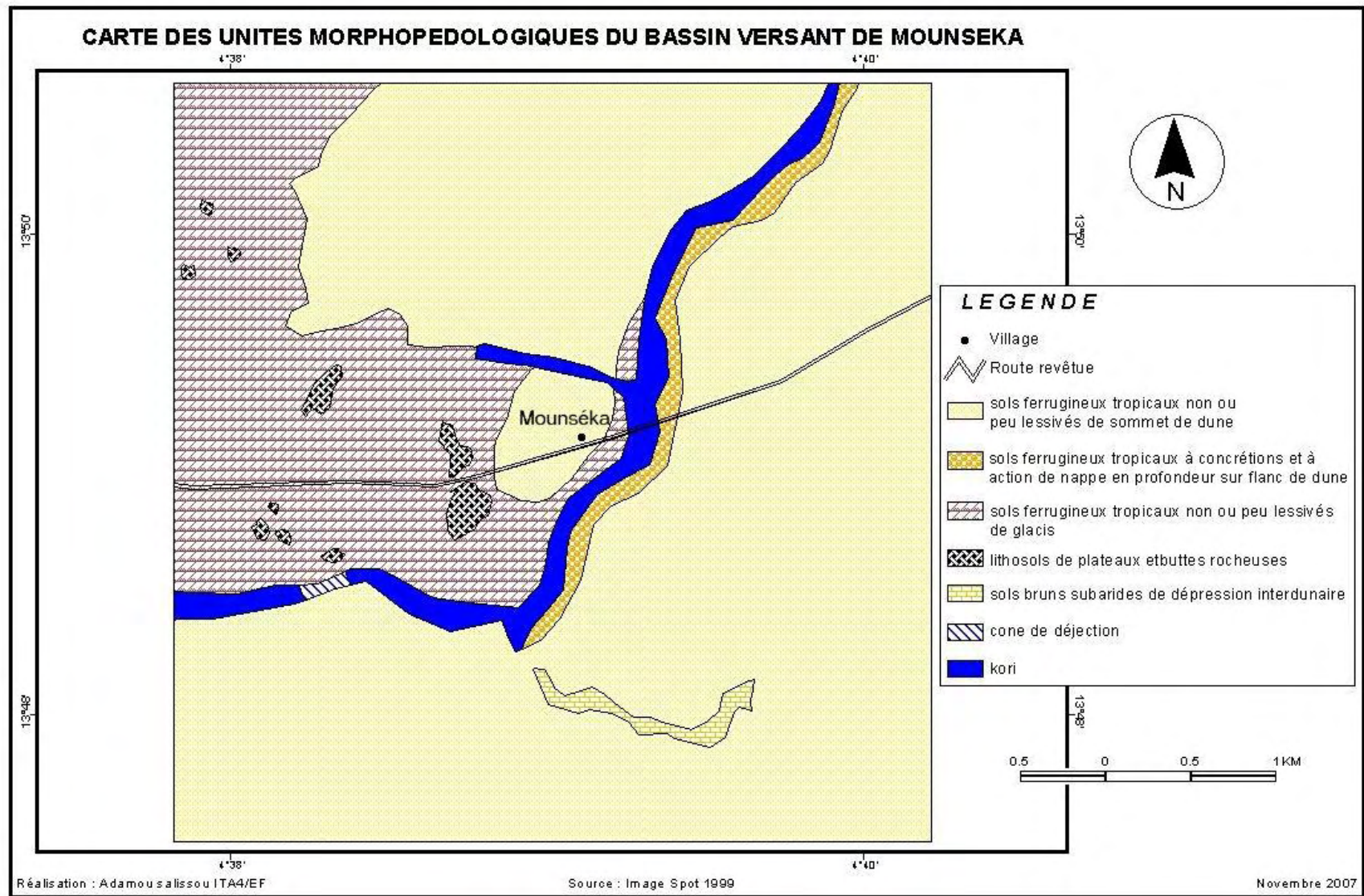
Sur le territoire nigérien, les formations géologiques remarquables sur ce bassin sont la Ct1 qui affleure à l'extrême Nord Est, soit 0,9% du bassin versant. Cette petite portion, serait le prolongement du grand ensemble qui couvre l'axe Birnin N'konni- Illéla. La deuxième formation géologique observable est Ct3. Elle couvre 27,21%, avec des affleurements dans la partie Ouest, Sud-ouest et Nord Est du bassin versant. L'essentiel des dépôts est constitué des formations issues du quaternaire indifférencié (Greigert et Pougnet, 1965). Avec 56,28% ces dépôts d'erg ancien à dunes non orientées, caractérisent la partie centrale du bassin versant.

L'ensemble de ces séries sédimentaires plus ou moins récentes selon l'âge géologique du bassin, présentent une grande sensibilité à l'érosion actuelle que connaît la zone d'étude. La nature géologique des roches reposant sur cette région sont un paramètre conditionnant la géomorphologie et les types de sols.

2-2 Les caractéristiques Morpho-pédologiques

L'analyse géomorphologique est indispensable pour aborder toute étude des écosystèmes arides. L'héritage géologique de cette région, traduit la présence d'un relief relativement peu accidenté. L'essentiel du modelé est dominé par des dunes du Quaternaire, de nombreux plateaux latéritiques entrecoupés par des vallées sableuses.

L'étude à grande échelle des sols entreprise par Adamou (2008) sur le terroir de Mountséka, a identifié et caractérisé cinq types de sol. Ainsi, sont distingués les lithosols des plateaux et buttes, les sols ferrugineux non ou peu lessivés des sommets de dune, les sols ferrugineux tropicaux à concrétion et action de nappe en profondeur sur les flancs de dunes, les sols ferrugineux non ou peu lessivés des glacis et les sols bruns subarides des dépressions interdunaires (carte 3).



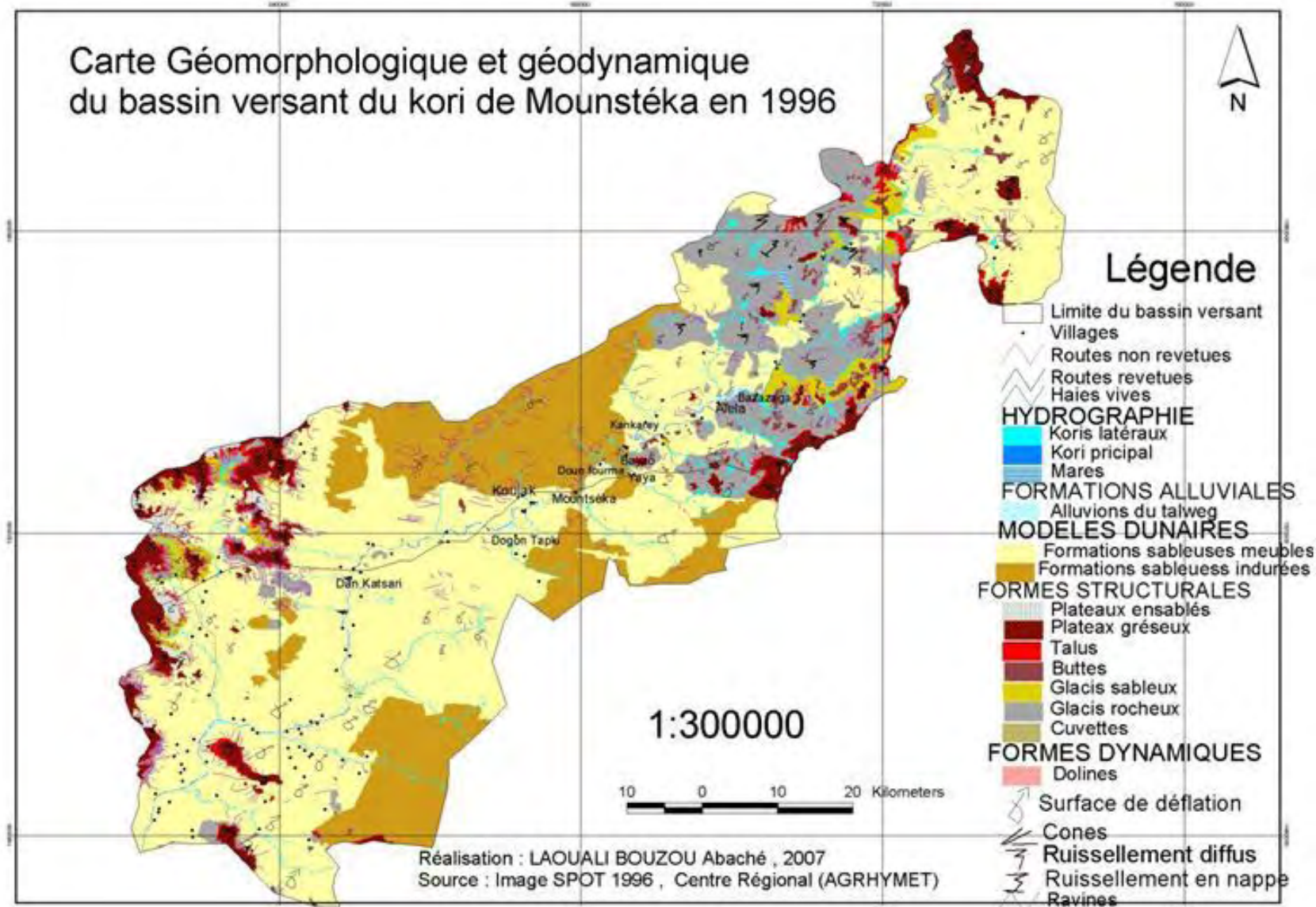
Carte 3:unités morfo-pédologiques du bassin versant de Mountséka (extrait d'Adamou, 2008)

Les observations de terrain et l'étude détaillée de la carte topographiques au 1/200000, distinguent aussi cinq unités morpho-pédologiques. **Les revers des plateaux** (pente faible <1%) à cuirasses ferrugineuses, parfois partiellement recouverts d'un manteau sableux. Ces placages éoliens, favorisent des cultures pluviales par endroit. Le phénomène de décapage sur ces unités est relativement moins important et se traduit pour l'essentiel par l'érosion en nappe. D'autres formes dynamiques sont remarquables au sommet des plateaux à l'Ouest du bassin versant.

Les nombreuses buttes résiduelles cuirassées auxquelles s'ajoutent des talus d'éboulis courts concaves à convexe (figure 6), profondément ravinés laissant affleurer, les grès argileux altérés. Ces talus plus ou moins abrupts, forment ainsi une zone de transition entre les versants sableux et les revers des plateaux (carte 4).

Les glacis de tailles variables, sont composés de sols ferrugineux peu lessivés essentiellement sableux. Ici, on assiste à un décapage important dû au ruissellement concentré et aux formes d'érosion hydrique qui s'y développent. Des lithosols peu évolués à faciès ferrugineux s'y développent avec souvent de fortes charges caillouteuses surtout dans la partie amont et médiane du bassin versant. Ils sont dans leur grande partie encroûtés et ravinés.

Quant au fond de la **vallée**, il est caractérisé par une morphologie variables élargissement et rétrécissement par endroit (Abaché, 2007). Les sols sont hydro morphes. **Les dunes** de formes allongées, orientées Est-Ouest- Nord –Est présentent des sommets ondulés. Ces dunes, sont beaucoup plus remarquables par rapport aux autres formes du relief dans la région. Elles recouvrent également de grandes surfaces des revers de plateaux. Ces édifices d'origine éolienne traduisent une phase sèche héritée du quaternaire et renforcent l'endoréisme du réseau hydrographique.



Carte 4 : carte géomorphologique et géodynamique du bassin versant de Mounstéka (d'après Abaché, 2007)

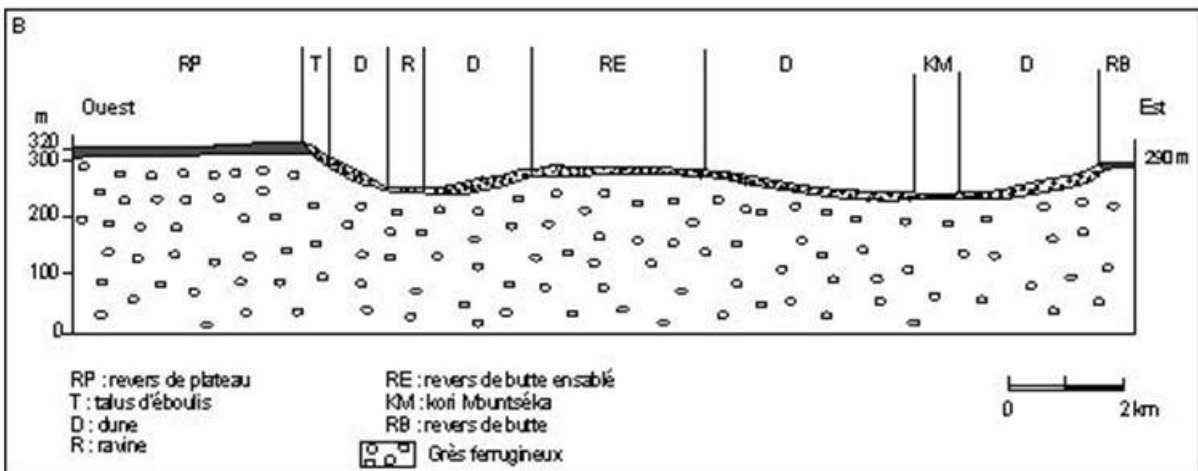
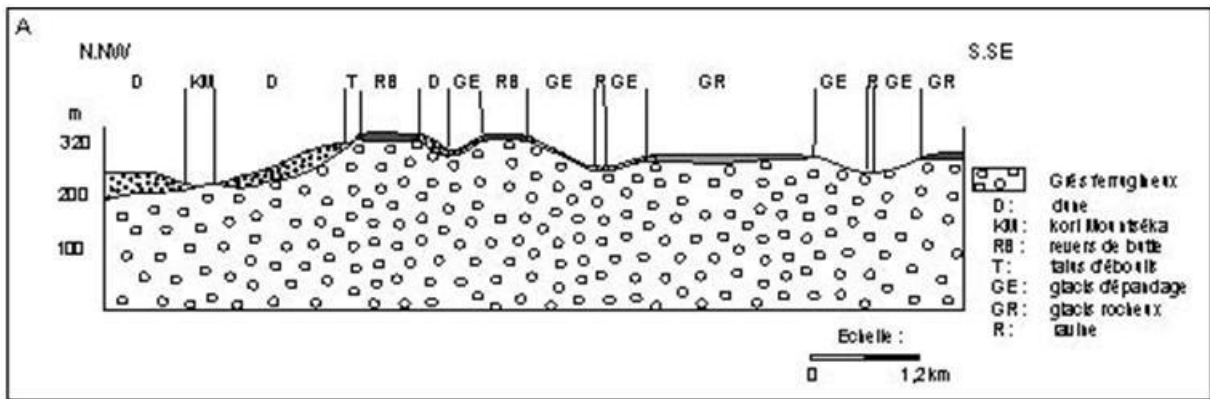


Figure 6: coupe morpho-pédologique d'une toposéquence du bassin versant Mountséka (d'après Bouzou et al, 2009). A : secteur médian ; B : secteur aval

2-3 Le réseau hydrographique

L'ensemble du réseau hydrographique de la zone d'étude, appartient au bassin du fleuve Niger. Ce réseau a été mis en place à la suite des différentes phases humides caractérisées par un surcreusement des cours d'eau et des phases sèches qu' a connu la zone depuis la fin du Tertiaire et durant le Quaternaire (Didier, 1969). Il est essentiellement formé par des cours d'eau fossiles (carte 2), obstrués par du sable éolien.

On distingue le Dallol Maouri qui est un affluent assez peu vigoureux du fleuve Niger, vestige d'un vaste réseau hydrographique appartenant à l'Ader-Doutchi-Maggia. Sa partie inférieure encore active en bordure immédiate du fleuve (frontière du Nigéria), n'est alimentée que par la résurgence de la nappe phréatique et par les maigres apports des petits bassins versants tributaires (Chaperon, 1971).

Le kori Mountséka est un des grands affluents de ce Dallol sur son cours moyen, situé sur la rive gauche. Il occupe une vallée peu profonde au fond de laquelle se trouve un réseau de mares temporaires. Le kori Mountséka est orienté NNE-SSW, à tracé sinueux, il reçoit sur son cours des koris secondaires plus actifs auxquels s'ajoutent des mares.

Il n'y a pas d'écoulement permanent dans toute la zone d'étude, seul le ruissellement engendré par les précipitations, alimente les écoulements du kori et le remplissage des mares d'importance variable tant en leurs extensions qu'en leurs régimes.

Le réseau hydrographique, dominé par le kori et ses affluents, présentent ainsi des signes de dégradation à l'exutoire remarquable à travers les dépôts sur les cônes de déjection de largeurs variables. Cependant, l'influence des caractéristiques climatiques, contribue à la rupture de l'endoréisme de ces sous-ensembles hydrologiques.

2-3-1 Les caractéristiques des koris de la zone d'étude

Le bassin versant de Mountséka est parcouru par un réseau de koris d'épaisseurs et de tailles variables. Ce réseau bien hiérarchisé, est en rapport avec le climat actuel. Ces koris, sont les principaux collecteurs des alluvions sédimentés dans le kori Mountséka. Ils assurent également le creusement du matériel soit par sapement de berge soit par approfondissement de leurs lits.

Un kori, *lato sensus* est un cours d'eau à écoulement temporaire. Sakamoto (1998) cité Souleymane S. (2011), ajoute pour sa part que ce type de cours d'eau apparaît généralement sur des terres dénudées. C'est une source de réserve pour les eaux souterraines mais qui est pratiquement inutilisée. Il constitue l'une des causes principales de l'érosion des sols dans nos régions.

Au total, 15 koris bien visibles sur l'image satellite, drainent la superficie du bassin versant de Mountséka, parmi lesquels trois (3) ont été sélectionnés dans cette étude. Ce choix se justifie du fait que les trois (3) koris se jettent dans le kori Mountséka par des cônes alluviaux de taille variable.

Leurs caractéristiques morphométriques sont présentées dans le tableau 2. Tous de formes plus ou moins allongées, leurs bassins versant ont un relief assez faible, caractérisant ainsi la faiblesse des pentes.

Tableau 2: caractéristiques morpho-métriques des sous bassins échantillons

| Noms des sous BV | | Tozo | Koujak | Aléla |
|-----------------------------|--------------------|-------|--------|-------|
| Superficie | Km ² | 5,64 | 33,91 | 87,34 |
| Périmètre | Km | 11,17 | 26,28 | 47,68 |
| Coefficient de forme Kc | | 1,32 | 1,26 | 1,43 |
| Altitude max | m | 280 | 302 | 300 |
| Altitude min | m | 240 | 240 | 241 |
| Altitude moyenne | m | 260 | 271 | 270,5 |
| Indice global de pente: Ig | m/km | 11,20 | 4,90 | 2,44 |
| Dénivelée spécifique: Ds | m | 26,60 | 28,55 | 22,85 |
| Longueur du principal drain | Km | 2,75 | 8,75 | 34,03 |
| Rectangle équivalent : L | Km | 3,57 | 8,16 | 15,95 |
| Densité de drainage | Km/km ² | 1,22 | 0,78 | 0,69 |

2-3-2 Le kori Tozo

Il est situé au Nord-est du village de Mountséka. Il draine le sous bassin Mountséka sur 5,64 Km². Son bassin versant est entièrement occupé par des cultures pluviales (80%) suivi des sols nus et des affleurements rocheux sur des glacis assez longs.

Le drain principal et le réseau des ravines peu nombreuses, forment un réseau hydrographique dendritique.

Dans la partie amont de son bassin versant, le kori Tozo est faiblement encaissé et moins élargie. L'essentiel des écoulements se concentrent dans des dépressions fermées.

C'est dans la zone intermédiaire et jusqu'à la zone aval, que le kori s'encaisse, donnant lieu à des berges relativement raides, avant de former un cône alluvial à l'embouchure avec le kori principal. Dans ce secteur, son lit s'élargie au fur et à mesure sur quelques dizaines de mètres plus en aval. Le recul des berges est aussi important (Photo 7), conséquence de l'absence des fourrés ripicoles protecteurs.

Sur l'ensemble de son cours, le kori Tozo ne dispose pratiquement pas de fourrés ripicoles.

Ainsi, l'absence des fourrés ripicoles et l'extension des sols nus sur ce bassin versant assurent l'important débit liquide et solide, matérialisé par le cône alluvial à la confluence avec le kori principal.



Photo 7: sapement de berge sur le kori Tozo dans la zone aval

2-3-3 Le Kori Koujak

Plus long que le précédent, le kori koujak draine un bassin versant reposant entièrement sur les sols sableux assez profonds.

Sur près de la moitié, l'amont du bassin versant est faiblement cultivé. L'essentiel des surfaces sont occupées par une steppe arbustive dégradée à laquelle s'ajoutent des sols nus. Des affleurements rocheux très peu étendus ont servi de carrière pendant la rénovation de la route nationale.

L'autre moitié couvrant la zone intermédiaire et aval, est occupée par des cultures et quelques sols nus.

Le long du kori koujak est parcouru par endroit d'un fourré ripicole dégradé à très dégradé en amont. Au niveau de la zone intermédiaire se trouve une mare semi permanente entourée d'un fourré ripicole assez dense. Cette mare est menacée d'ensablement.

Après cette mare, le lit du kori koujak s'encasse avant de passer sous l'axe routier R N1. Dans ce secteur sans fourrés ripicoles, les berges raides, tantôt concaves (Photo 8) se développent avant de former un assez large cône alluvial à la confluence du kori Mountséka.

Le fond du kori essentiellement sableux, s'étend sur quelques dizaines de mètres. Il faut noter aussi l'affleurement cuirassé dans le fond du kori par endroit dans la zone aval.



Photo 8:berge concave du kori koujak dans la zone aval



Photo 9: l'aval du kori Koujak et son large cône alluvial dans le kori Mountséka (Source: image GoogleEarth)

2-3-4 Le Kori Aléla

Plus grand que les précédents, mais faiblement encaissé, le bassin versant du kori Aléla se développe sur un ensemble constitué en grande partie des affleurements rocheux en amont.



Photo 10: type de végétation dans le fourré ripicole du kori Aléla

Plusieurs drains assurent la collecte des eaux avant de former un drain unique dans la zone intermédiaire. L'abondance des cultures est bien marquée dans cette zone contrairement à la partie amont, où les cultures pluviales se pratiquent sur des faibles recouvrements sableux.

La grande particularité de ce kori, est la présence des fourrés ripicoles sur son cours (photo 10). Seul un petit tronçon dans la zone aval est dépourvu de végétation. Il se jette ainsi dans le kori principal par un petit cône alluvial.

Le fonctionnement de tous ces koris, est ainsi assuré par les caractéristiques du climat actuel.

2-4 Le climat régional

La zone d'étude subit dans son ensemble l'emprise du climat tropical sec de type sud sahélien. Nous présentons ici quelques-unes des principales caractéristiques de ce climat. Toutefois, nous insisterons sur les précipitations, qui dans cette étude d'érosion hydrique et de la dynamique des écoulements, occupe une place importante.

Les caractéristiques du climat

2-4-1 Les masses d'air

Les conditions climatiques sont celles du Sahel en général, marquées par des contrastes saisonniers. Ce climat, largement influencé par la circulation atmosphérique au-dessus de l'Afrique de l'Ouest, est commandé par deux masses d'air : l'Harmattan et la mousson. Ces masses d'air dont l'une continentale (harmattan) issue de l'anticyclone saharien, souffle en direction Nord-Est vers le Sud-Ouest. Quant à la Mousson, provenant de l'anticyclone maritime de Saint Hélène, envahit les côtes ouest africaines avec une orientation Sud-Ouest vers le Nord-Est. La confrontation de ces deux alizés d'origines et de caractéristiques différentes, forme le Front Inter Tropicale (FIT). Cet équateur météorologique balance au sein d'une Zone de Convergence Inter Tropicale limitée entre 5° et 23° de latitude Nord. La descente tout comme la remontée du FIT détermine le début ou la fin de la saison pluvieuse dans la zone d'étude en particulier (figure 7).

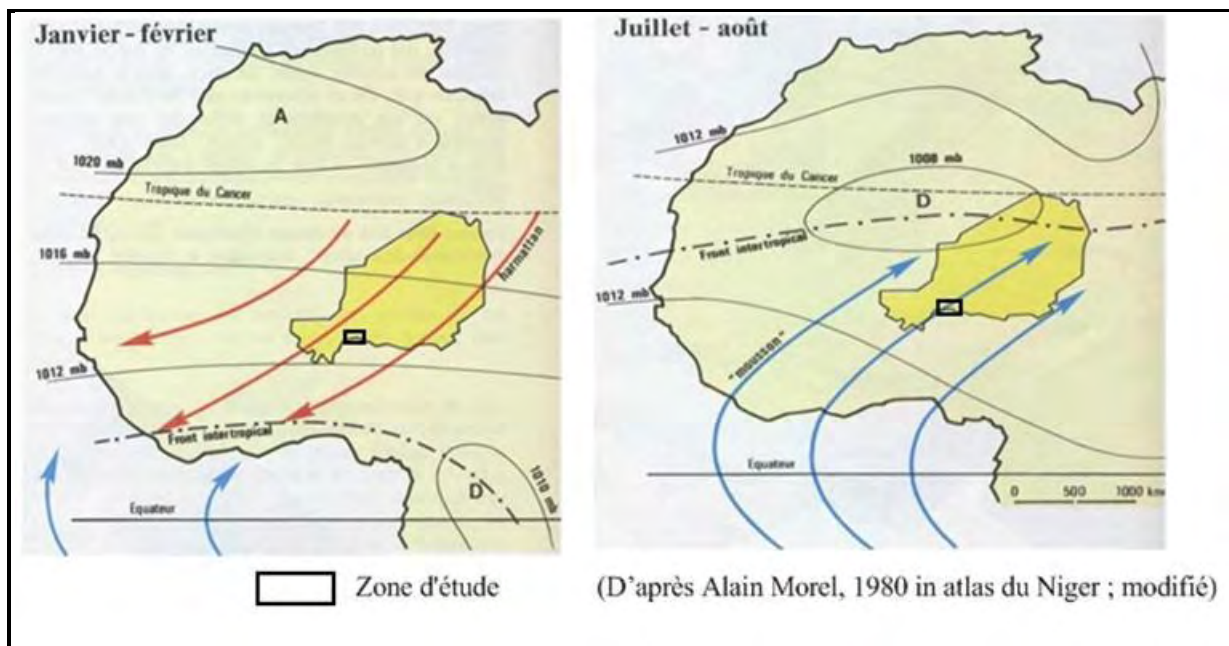


Figure 7: Position du FIT selon les saisons en Afrique de l'Ouest (à droite la saison humide, à gauche la saison sèche) d'après Morel, (1980)

2-4-2 Les saisons et les éléments du climat

Il en résulte de la circulation des masses d'air, que deux saisons se distinguent (figure 8 et 9). En effet, la délimitation des saisons est relative. Dans l'ensemble, Gaussen définit un mois humide ou sec par la relation $P = 2T$. A travers ce rapport, le mois pendant lequel les précipitations (P) exprimées en mm sont supérieures à deux fois la température (T) exprimée en °C (soit $P > 2T$) : le mois est humide et inversement. Cette relation précipitation-température détermine les saisons avec leurs caractéristiques au Sahel et dans la zone d'étude en particulier. Cette caractérisation des saisons et des éléments du climat s'effectue dans son ensemble sur la période qui va de 1961 à 1990.

- ✚ **La saison sèche** : variable de 8 à 9 mois, s'étale d'Octobre à Mai. Cette saison se caractérise par l'influence et la prédominance de l'alizé continental chaud et sec (Harmattan). Elle se subdivise en deux périodes distinctes. Dans un premier temps, de Novembre à Mars, les températures oscillent entre 23 et 27° C, avec un minimum centré en Décembre et Janvier (figure 8 et 9). Cette faiblesse de température enregistrée, s'accompagne aussi d'une baisse de l'ETP. Elle varie entre 4 m (en Novembre et Décembre) à 5 m de Janvier à Mars. Quant au vent, cette période enregistre les vitesses maximales ($2,69 \text{ m.s}^{-1}$) de Décembre à Février.

La seconde période de la saison sèche qui se réduit sur seulement deux mois (Avril et Mai) s'oppose à la première. Elle se caractérise par des températures relativement élevées qui tournent autour de 32 à 33°C (figure 3 et 4). A cela s'ajoute une forte ETP avec une moyenne de 6,5 m sur la période considérée. Les vitesses du vent enregistrées connaissent une baisse ($2,06 \text{ m.s}^{-1}$), avant de reprendre au mois de Juin avec les perturbations atmosphériques (mouvement convectif) qui marque le début de la saison des pluies.

✚ **La saison humide** : elle est courte et réduite de 3 à 4 mois au maximum (figure 8 et 9). Celle-ci coïncide avec la remontée de l'alizé maritime (vent d'ouest), chargé d'humidité au niveau des latitudes sahéliennes. L'arrivée de la mousson reste encore variable (souvent en fin Mai) et détermine la longueur de la saison humide. L'influence de la mousson marque non seulement le début de l'hivernage, mais aussi une légère diminution des températures (31 à 28°C) et d'ETP (6 à 4 m) avec des valeurs minimales centrée sur le mois d'Aout et Septembre. Les vitesses du vent suivent le même gradient avec des valeurs qui vont de 2 à 1 m.s^{-1} .

Les diagrammes ombro-thermiques (figure 8 et 9) illustrent cette alternance entre les saisons au niveau des deux principales stations de mesure qui encadrent la zone d'étude. Notons qu'à travers ces graphiques, on peut toutefois retenir que le maximum pluvieux est centré sur les mois d'août et juillet, bien que la longueur de la saison des pluies demeure inégale entre les deux stations.

Par ailleurs, des pluies surviennent aussi au mois de Février ou Mars communément appelée des « pluies de mangue ».

Le bilan climatique, comme d'ailleurs partout en zone sahélienne (Peugeot, 1995), semble aussi déficitaire dans la zone d'étude sur la longue saison sèche.

Dans l'ensemble, l'alternance des saisons détermine les conditions d'exploitation et de fonctionnement de l'écosystème du bassin versant. La courte saison des pluies, à la particularité d'être la saison active en matière d'érosion hydrique. En effet, les précipitations sont sources d'énergie capable de garantir le fonctionnement hydrogéomorphologique du système bassin versant.

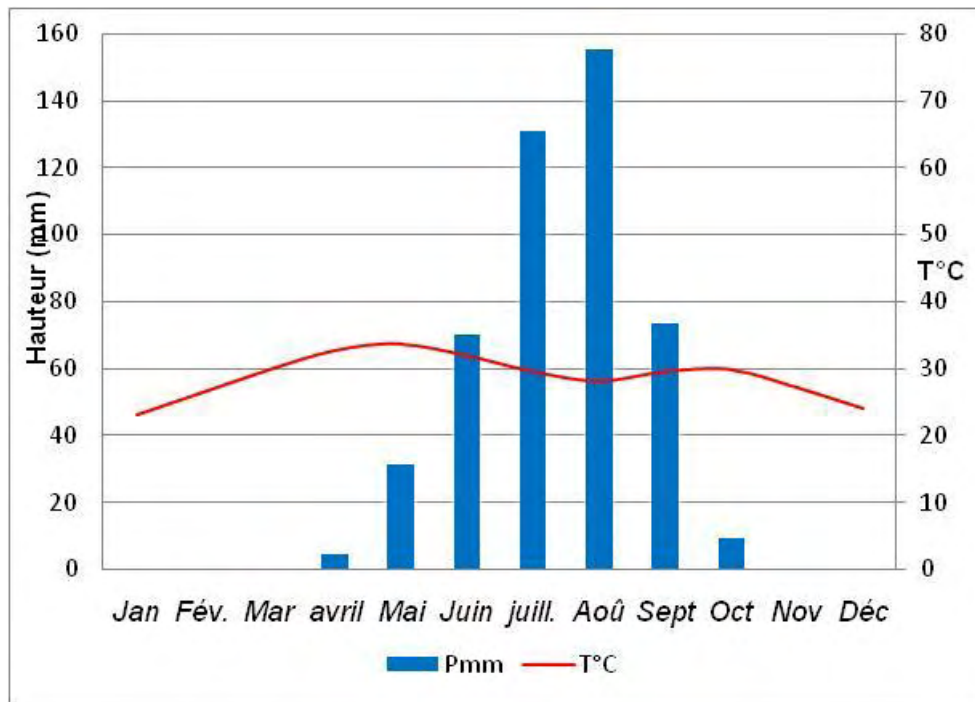


Figure 8: diagramme ombro-thermique de la station de Birni N'konni de 1961 à 1990 (Source : données DMN)

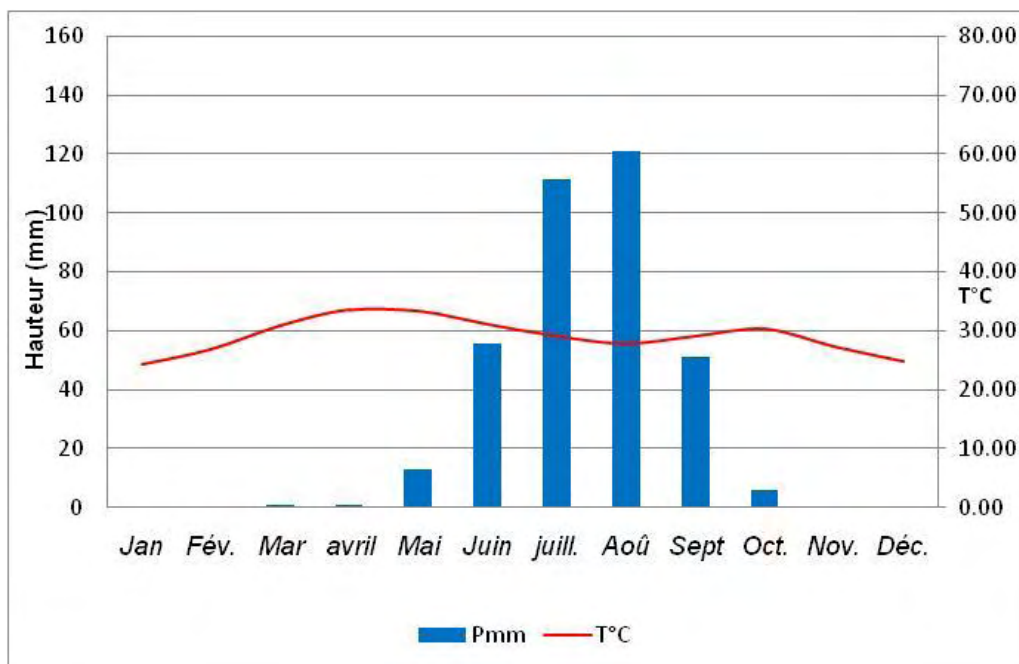


Figure 9: diagramme ombro-thermique de la station de D. Douchi de 1961 à 1980 (Source : données DMN)

2-4-3 Le régime pluviométrique

Le Sahel occupe un large espace dans la partie Ouest-africaine. Les régimes pluviométriques que l'on y observe vont de la ligne de grains, caractéristique de régions sahéliennes (système convectif mobile), aux phénomènes de convection locale (plus fréquents au vent de la mousson). La pluviométrie au Sahel est un paramètre extrêmement variable, tant par le volume que par la répartition au cours et pendant la saison humide.

La zone d'étude n'est pas en marge de ces manifestations qui marquent l'installation et caractérise la pluie. En effet, la saison des pluies est l'évènement annuel le plus attendu car durant presque huit (8) mois, il ne pleut pratiquement pas. Le début de l'hivernage correspond à la remontée du FIT vers le nord. Sa poussée vers le nord s'en suit d'une importante masse nuageuse assurant ainsi des conditions favorables à une pluviométrie normale et ou excédentaire.

Sur les 4 mois de la saison des pluies, la zone d'étude reçoit en moyenne 450 mm/an. L'inégale répartition des hauteurs pluviométriques est l'une des principales caractéristiques des précipitations. Elles s'accompagnent aussi d'une forte variabilité dans le temps.

En effet, l'analyse des précipitations enregistrées à la station synoptique de Birni N'konni (moyenne : 494,73 ; écart type : 105,5) et à la station climatique de Doutchi (moyenne 451, 34 ; écart type : 134, 65) (carte 2) sur la période 1961-2011; ressortent que des périodes humides et sèches ont marqué cette région (figure 10).

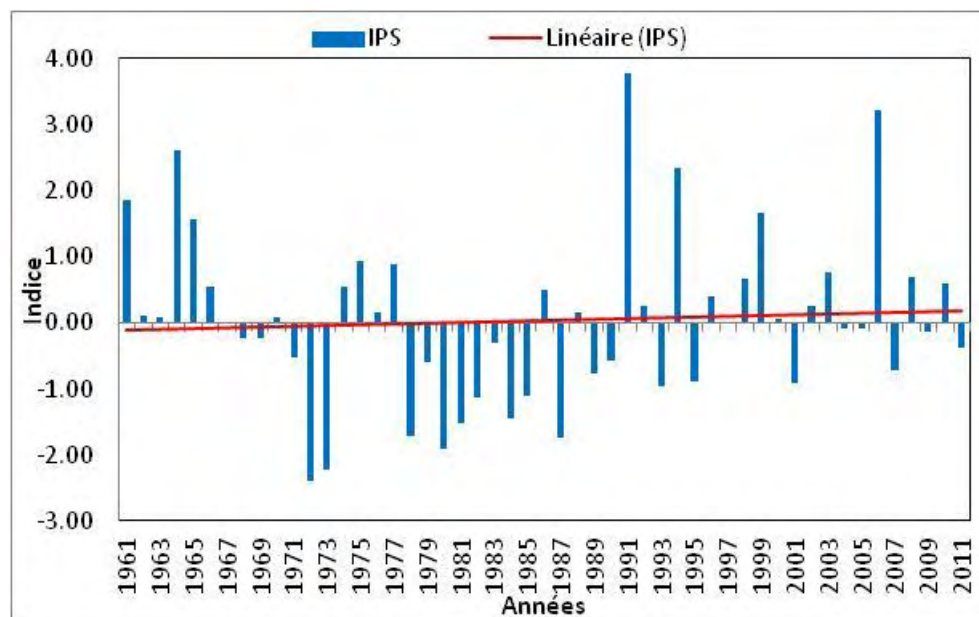


Figure 10: Indice des Pluies au Sahel (Doutchi et Birni N'konni) de 1961 à 2011

Globalement, l'évolution de la pluviométrie au cours de ces deux périodes dans chacune des stations, illustre la grande variabilité des précipitations annuelles dans la zone d'étude.

2-5 La végétation

Le Sahel est caractérisé par un type particulier de végétation, attribué au domaine de steppe. Une steppe est une formation ouverte, généralement non parcourue par les feux. Nous retrouvons dans les écrits de Bonte et Echard, (1976) qu'au 19^e siècle, l'Ader et ses régions voisines étaient peu occupées et donc quasiment inexploitées. La couverture arbustive était ainsi très dense et où peu à peu s'établirent par la suite des cultivateurs hausa.

La végétation dominante est arborée arbustive clairsemée, constituée de Combrétacées tel que *Guiera senegalensis*.

La composition floristique, la physionomie et surtout la répartition sont largement influencées par les conditions climatiques, la nature du substrat et la topographie de la région. Dans l'ensemble, l'analyse le long de la toposéquence distingue une certaine diversité des espèces végétales réparties comme suit :

- ✚ Sur les revers du plateau et des talus: la strate arbustive reste prédominante. Constituée en grande partie des combrétacées tels que *Guiera senegalensis*, *Combretum micranthum*.
- ✚ les glacis et les dunes: sur ces espaces cultivés, les strates ligneuses tout comme arbustives sont marquées par une très grande discontinuité. L'importance du couvert végétale est assurée exclusivement par les herbacées (*Zornia glochidiata*, *Loudetia hordeiformis* et *Cenchrus biflorus*, en abondance) et cela pendant la courte saison des pluies. Les espèces les plus répandues sont : *Combretum glutinosum*, *Piliostigma reticulatum*, *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*. On y retrouve également du *Boscia senegalensis* et du *Guiera senegalensis*.
- ✚ Les zones déprimées : elles regroupent le long des koris et les dépressions fermées remarquable sur les versants : au niveau de ces unités d'accumulation, les conditions hydro-pédologiques sont plus favorables à l'installation d'une végétation arborée arbustive plus ou moins dense. Elles forment des forêts galerie avec des espèces constituées des *Guiera senegalensis*, *Faidherbia albida*, *Combretum micranthum*.

Le taux de recouvrement de la couverture végétale est très irrégulier et est dominé par une proportion considérable de surfaces nues sur chaque unité paysagère. Ainsi, les travaux de

Mahaman (2008), rapportent que sur les sommets de plateau, le taux de recouvrement varie de 7,30% à 64% respectivement pour la strate ligneuse et les surface nues. La couverture herbacée est très faible avec 1 à 10%. Par ailleurs sur les espaces cultivés (glacis et dunes), le taux de recouvrement varie entre 14,70 à 49,80% pour la strate ligneuse. La couverture herbacée quant à elle, oscille entre 1 à 50% sur ces unités avec un taux de surface nue compris entre 9 et 78%.

Ce faible taux de recouvrement du sol avec une part importante des sols nus, est lié à l'exploitation abusive des ressources végétales. Face à cette diminution du couvert végétal, les personnes ressources soulignent actuellement la raréfaction de certaines espèces végétales comparées à la situation 1970 pendant laquelle la végétation était plus abondante.

2-6 Peuplement et organisation spatiale de la zone d'étude

La vocation agro-pastorale de la région, sa population et les pratiques d'utilisation de l'espace, ont profondément évolué pour donner l'état actuel du bassin versant. Les pratiques agricoles encore essentiellement héritées, n'ont pas fait l'objet d'une adaptation rationnelle aux mutations récentes.

2-6-1 Peuplement et densité

L'origine de la population de la zone d'étude se subdivise en quatre principaux foyers de peuplement (carte 5). Elle se compose des Aderawa et des Touareg, originaires de l'Ader qui constituent le premier grand foyer du Nord. Ces deux groupes ont une histoire commune marquée par des bons rapports sociaux depuis le début du 19^e siècle.

Les Gobirawa ou Konawa issus du lignage de ceux de Birni N'konni, un autre foyer d'Est constituent le deuxième grand groupe. A ces peuples, il faut ajouter les Arawas majoritaires dans la partie Ouest du bassin versant, témoignant leur appartenance à l'Aréwa (département de Dogon Doutchi). Enfin, les Peulhs minoritaires, sont apparentés du Nord Nigéria voisin.

Tous ces groupes (*Adérawa*, *Gobirawa* et *Arawa*) d'origine diverses se sont installés dans cette région dans le but de conquérir des nouvelles terres pendant la 2^e moitié du 20^e siècle. Quant aux Peulhs et aux Touaregs qui vivent initialement en semi sédentaires sont actuellement sédentarisés et occupent la plupart les hameaux ou « *Tounga* ». Ce passage du nomadisme et du semi-sédentarisme au sédentarisme, résulte des mutations écologiques du

Sahel. Ces mutations socio culturelles ont sans doute des conséquences sur la dégradation de l'écosystème.

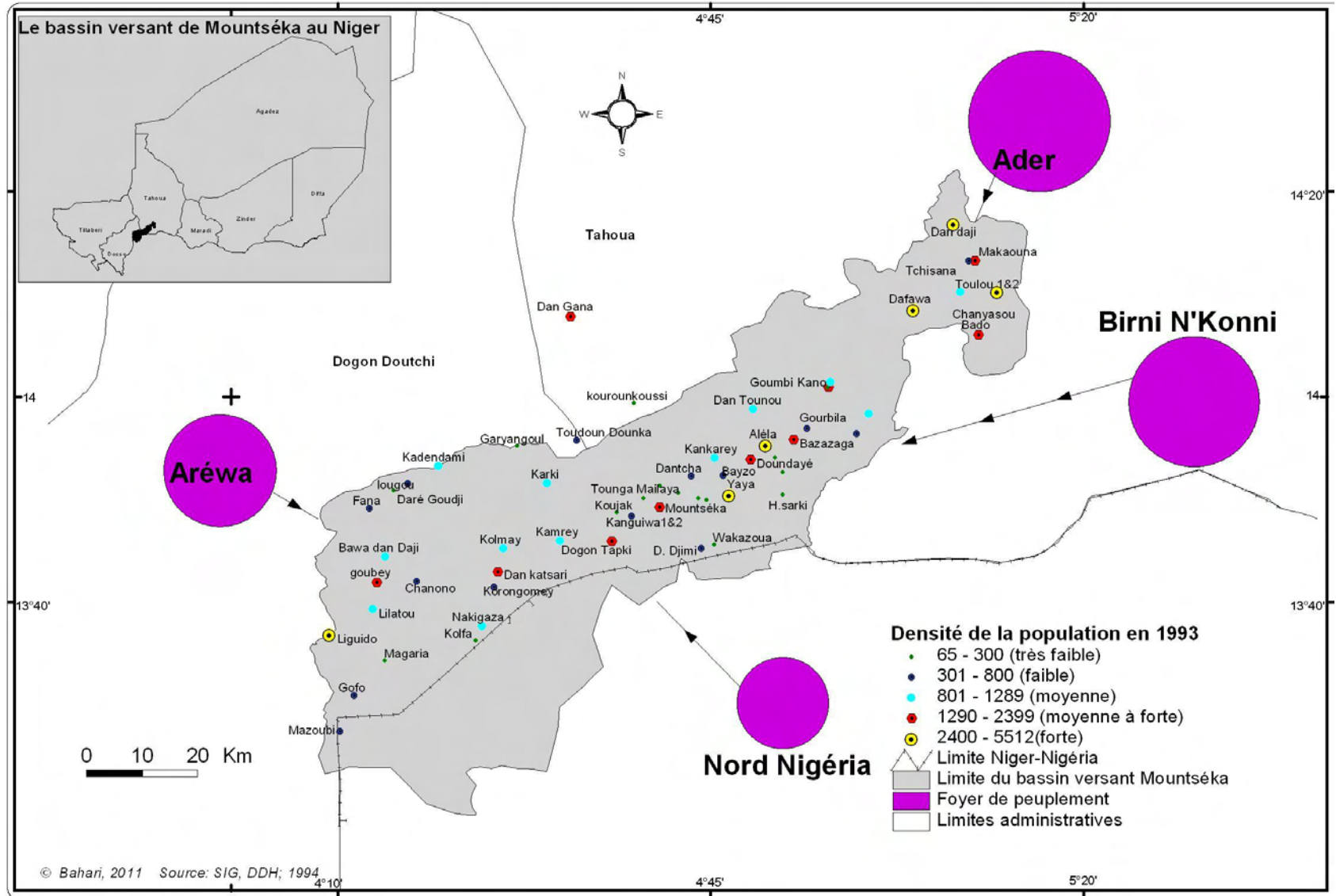
En effet, la population du bassin versant du kori Mountséka est répartie entre deux régions administratives (Tahoua, Dosso), au sein desquelles les départements de Birni N'konni et Dogon Doutchi restent les plus peuplés. Leur densité est respectivement de 28,05 et 26,3 habitants/km² en 1988 (RGP, 1988). Elles passent à plus de 40 habitant/ Km² dans le département de Konni et comprise entre 20 à 39 habitants / Km² au niveau de Doutchi avec un taux d'accroissement naturel de 3,3% au cours des années 1990 (Raynaut, 1997).

Les dernières estimations (INS, 2010) projettent les densités à près de 92 habitants/km² et 55,5 habitants/km² respectivement pour le département Konni et Doutchi.

Au sein du bassin versant de Mountséka, la population est inégalement répartie. La densité de la population apparaît plus forte autour du bas-fond et diminue progressivement vers les limites du bassin versant (carte 5). La carte 5 illustre que les gros villages de plus de 1500 habitants sont situés le long du bas fond où la densité tourne autour de 83 habitants/km² (Aléla et Yaya). Une particularité de l'occupation humaine du bassin versant de Mountséka est l'importance des villages à densité moyenne à forte.

En effet, à l'origine de ce phénomène qui prend de plus en plus d'ampleur sont les petits campements installés le plus souvent pendant la saison des pluies dans le but d'exploiter des terres plus éloignées du village. Cette situation qui n'est sans doute pas nouvelle dans nos milieux a été également observée par Diallo (2000) au Mali où l'occupation de l'espace se fait par la prolifération des hameaux.

Il est à noter enfin que la forte concentration de la population rurale se justifie aussi par la proximité de la frontière du Nigeria où l'essentiel des activités sont basées sur l'exploitation des ressources du sol à travers l'agriculture et l'élevage.



Carte 5: origines et peuplement du bassin versant de Mountséka (Source : DDH, 1994 et RGP/H, 2001)

2-6-2 Les activités socioéconomiques

L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités économiques de la région et occupent presque la totalité de la population active. Cependant, il existe d'autres activités avec un essor important comme l'arboriculture, la pêche suite à la dynamique actuelle du kori.

2-6-2-1 Les pratiques agricoles et pastorales

Dans la zone d'étude, l'équilibre entre les terres cultivées et la « *brousse* » est profondément transformé au cours du 20^e siècle principalement en raison du déboisement des vallées au profit des mises en valeur agricole.

Les systèmes agraires de cette zone sont caractérisés par une production uniquement agricole. A l'image de l'Ader, l'agriculture se pratique même sur le sommet de plateau à recouvrement sableux faible.

Dans l'ensemble, la grande proportion sableuse des sols a favorisé un système de culture pluviale extensive dans la zone d'étude.

En effet, cette pratique agricole, est caractérisée par une augmentation des superficies cultivées pour accroître la production. Celle-ci a entraîné une occupation quasi-totale des terres aux dépens des formations végétales naturelles sur les versants.

Dans la partie basse de la vallée, l'essentiel des superficies est exploitée en décrue où se développe une irrigation de type traditionnelle. Ici, il s'agit d'un système agricole semi-intensif, car les sols sont lourds et difficiles à travailler (Maazou et al, 1996). La courte saison des pluies constitue la période pendant laquelle les cultures sont pratiquées. Ces dernières années, ces cultures ont connu des inondations remarquables.

Devant la très grande variabilité de la saison des pluies conjuguée à la pauvreté des sols, les rendements connaissent une baisse drastique entraînant ainsi une insécurité alimentaire récurrente avec pour conséquence principale, les mouvements de la population.

L'agriculture est exclusivement vivrière, basée sur la production du mil, du sorgho et du niébé. L'association mil-niébé reste la pratique la plus répandue. Il faut noter que cette activité utilise encore la force humaine avec la hilaire (plus répandue dans la zone) et la houe comme instruments de travail.

La culture attelée et l'utilisation des engrais chimiques demeurent très secondaires et uniquement réservée aux grands exploitants. Cependant, ces dernières années, connaissent un regain dans l'abandon de la force humaine au profit d'utilisation de la charrue. Cette pratique favorise aussi l'exploitation de grandes superficies en vue d'augmenter la production.

Quant à l'élevage deuxième activité après l'agriculture, il est pratiqué par les nomades regroupés au sein des Peulhs et des Touaregs. On distingue deux systèmes.

L'élevage transhumant, pratiqué par les Peulhs soit entre les terroirs d'attaches, soit hors de la frontière, suivant toujours l'axe Nord –Sud ou inversement selon la période. L'autre forme, sédentaire est pratiquée par les agro-pasteurs Haussa et les Touaregs.

2-6-2-2 Les nouvelles activités

Les activités placées sous ce terme, regroupe toutes les formes d'exploitations des ressources naturelles qui remontent dans un passé plus ou moins récent dans le terroir d'étude. Ces nouvelles activités, sont à la fois la cause (défrichage, déboisement) et les conséquences (culture de décrue, arboriculture et pêche) de la dynamique actuelle du kori Mountséka.

Ainsi, sur le bassin versant de Mountséka bien qu'il ne fait pas exception au niveau de l'ensemble du sahel nigérien, ces nouvelles activités sont l'exploitation forestière (bois d'œuvre et bois d'énergie), les cultures de contre saison et la pêche. Ces activités sont restées pendant longtemps parmi les activités secondaires et marginales ou même inexistantes.

L'essor de ces activités, témoigne d'une part dans sa grande contribution au déséquilibre écologique à travers l'exploitation forestière. Le besoin en bois d'énergie pour la plupart prélevé sur le bassin versant de Mountséka, fait de ce bassin un espace pourvoyeur en bois. Cela se remarque par la présence de plusieurs marchés ruraux de bois le long de la RN1 (photo 11).



Photo 11: chargement du bois d'énergie dans le marché rural de Mountséka

Ces marchés ruraux de bois, créés en 2003, fournissent l'essentiel du bois d'énergie à destination de Birni N'konni et autres centres urbains (Madaoua, Maradi) de l'intérieur du pays.

Conclusion partielle

Les caractéristiques biophysiques de la zone d'étude font du bassin versant du kori Mountséka un écosystème sahélien. Les unités morpho-dynamiques qui le composent ont hérité de la nature géologique des roches, une certaine vulnérabilité aux processus du ruissellement et d'érosion actuels.

Le bassin versant du kori Mountséka est un écosystème anciennement peuplé. L'évolution du peuplement ainsi que les pratiques d'exploitation des ressources naturelles à travers la forte emprise sur la végétation, sont entre autres facteurs de la dynamique de cet écosystème.

Chapitre 3 : les facteurs de la dynamique hydrogéomorphologique actuelle

La dynamique hydrogéomorphologique du bassin versant du kori Mountséka est la résultante des effets cumulatifs des facteurs fédérateurs dans le temps et l'espace. En effet, l'histoire dans ces moments forts et ses répits influe fondamentalement sur la dynamique spatiale. Cette caractéristique temporelle induit la notion de discontinuité dans cette analyse.

A cet effet, la dynamique actuelle du bassin versant de Mountséka admet cette règle quasi générale des systèmes naturels, avec un fonctionnement tout particulier.

3-1 Le système bassin versant

Le bassin versant est une unité spatiale sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et ses effets. Il est limité par une ligne de partage des eaux.

L'origine du mot est à chercher chez le géographe officiel du roi Louis XV, P. Buache, qui créa au XVIII^e siècle la notion de « bassin de fleuve ». Cette notion a servi aux savants de l'époque, comme unité de réflexion du découpage régional³.

La notion resurgit en géomorphologie fluviale chez les Anglo-Saxons et ce furent, à la suite des premiers travaux de W.M. Davis, les recherches de R.E. Horton, puis de R.J. Chorley qui diffusèrent ledit, désormais, « bassin-versant » dans la littérature scientifique.

L'emploi de cette expression « bassin-versant » a été favorisé par la mise en place des Bassins Versants Représentatifs et Expérimentaux (BVRE) depuis le début des années 1960 par des équipes françaises.

Dès lors, le bassin versant continue de servir d'espace de référence pour les expérimentations ainsi qu'aux modélisations de l'écoulement et d'érosion. La quantification des processus,

³ <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article>

principe cher à la géomorphologie et à l'hydrologie, a permis aux chercheurs d'établir des schémas directeurs pour l'aménagement de l'espace.

Mieux encore, les dispositions de GIRE, consacrent le « **bassin versant** » comme l'entité de base pour la gestion des ressources en eau.

Dans ce contexte scientifique, le bassin versant est considéré comme un " système " c'est-à-dire une surface élémentaire hydrologiquement close, où aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. C'est ce que Gautier et Touchart (1999) ont également qualifié de système fluvial. C'est un système par lequel, le bassin versant et son organisme drainant (cours d'eau) entreprennent des interrelations. Les conditions qui régissent ces interrelations sont affectées des variations et font du bassin versant, un ensemble caractérisé par une dynamique (Tricart, 1978).

3-2 Le dynamisme des bassins versants : de la discontinuité à la notion de crise érosive

Le concept dynamique vient du grec *dunamikos*, « mouvement ». Il se définit au sens large comme étant un ensemble des mouvements, processus et évolution qui affectent un système spatial.

Ce concept, apparu dans les années 1960-70 (Tricart, 1965) s'élargit aussi bien aux mouvements lents et continus, qu'aux mouvements de terrain instantanés et brutaux (creusement des rigoles effondrements...) qui se produisent à la surface du sol et dans les roches à différentes échelles spatio-temporelles⁴.

En géographie, la notion de dynamique associe la théorie des systèmes. C'est ainsi que le dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés, de Jacques et Michel, (2003) définit un système dynamique en tant qu'ensemble de réalités géographiques interdépendantes animées de mouvement interne.

⁴ <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article>

Ce vocable (dynamique) s'élargit dans une dimension strictement temporelle, celle de l'évolution des faits et processus responsables de l'état actuel d'un phénomène. En géomorphologie, la dimension « temps » et la notion d'échelle sont à l'origine du principe de la discontinuité et de crise (Reynaud, 1971).

La notion de discontinuité renvoie à une dimension spatio-temporelle des phénomènes. A cet effet, il faut noter que l'intensité de la morphogenèse ainsi que le ruissellement qui constitue le principal moteur varient d'une période à une autre. La morphogenèse est d'abord un phénomène discontinu dans le temps mais aussi dans l'espace car tous les secteurs du bassin versants n'évoluent pas au même rythme (Reynaud, 1971 ; Néboit, 1991). Les taux d'érosion que fournissent les différentes méthodes cachent certaines disparités trop flagrantes et qui sont à considérer comme des valeurs approchées tendant à donner un ordre de grandeur.

La discontinuité est sans doute la règle caractéristique des processus de ruissellement et d'érosion. Suivant cette règle, qu'appelle-t-on « crise érosive » ? Est-ce le résultat d'un changement sur le long terme ou des modifications localisées sur un court terme ? Peut-on définir ces crises comme des ruptures d'équilibre antérieur ? Autant de questions que Veyret (2002) se pose quant à la notion de crise.

Une crise est une rupture dans une évolution. De même, en parlant de crise environnementale, Gauché (2006) s'est appesanti sur les caractéristiques liées à l'abondance des précipitations. La tendance à la baisse des précipitations qu'il a évoquées, traduit la crise climatique. Celle-ci, a eu des conséquences dramatiques sur les activités agropastorales et le fonctionnement du cycle de l'eau. En effet, le changement du régime pluviométrique a entraîné la modification du calendrier cultural et a augmenté la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion.

Coque, (1977) pour sa part, considère une crise morphogénique comme une notion qui s'applique à toute période correspondant à une intensification rapide de l'érosion mécanique ou un changement radical de son orientation de telle sorte qu'elle imprime des traces durables dans le relief.

Une crise érosive se résume alors à une période de rupture suite à des modifications sur une durée plus ou moins longue, dont l'origine serait liée à un des facteurs qui contrôlent les processus érosifs. Cette rupture semble s'accompagner aussi d'une modification complète du système.

Une crise de quelque nature soit elle a plusieurs origines. Elle marque une rupture ou du moins une perturbation dans un système dit stable ou équilibré. L'amélioration et/ou la diminution des facteurs naturels ou anthropiques en sont les premiers responsables. Cette rupture peut tout simplement concerner un secteur (crise locale) ou l'ensemble du système (crise régionale ou généralisée).

Ces différentes formes de crise caractérisent ainsi un changement brutal et/ou progressif dans un système.

Quelle soit locale ou régionale, une crise a des conséquences sur l'avenir des activités dans un système. Le cas traité ici se réfère à une crise hydro-érosive ayant entraîné un nouveau comportement dans l'exploitation des ressources (arboriculture, pêche et la pratique de la jachère). Mais plus généralement, les crises ont des impacts majeurs à plus long terme et parfois irréversibles.

Ce qu'il faut retenir, une crise de toutes natures n'est pas un phénomène récent. En effet, il s'agit plutôt d'une succession d'évènements qui s'induisent les uns les autres, jusqu'à un certain point de rupture. Cette rupture s'explique par les effets conjugués des facteurs qui sont à rechercher et à analyser avec précision de façon à ne pas manquer de détails quant à la compréhension du phénomène en question.

3-3 Les facteurs de la dynamique hydro-érosive actuelle

L'évolution des facteurs du ruissellement et de l'érosion des sols, est la cause de l'état actuel du bassin versant et du kori Mountséka. Dans cette analyse, ces facteurs sont appréciés de manière à caractériser leurs influences dans la problématique du bassin versant du kori Mountséka.

Plus tard, l'essai de classification auquel ils seront soumis, permettra une meilleure prise en compte des mesures d'aménagements nécessaires quant à la gestion des ressources naturelles menacées à l'échelle du bassin versant de Mountséka.

3-3-1 L'évolution de l'occupation du sol

L'étude hydrogéomorphologique privilégie les types d'occupation des sols. Devant cet intérêt, une attention toute particulière est accordée à ce facteur. En effet, le couvert végétal interfère

entre le sol et l'énergie de la pluie. Mort ou vif, il assure ainsi la protection du sol contre l'agressivité des pluies et l'énergie développée par le ruissellement. Cette énergie, garantit également le fonctionnement des systèmes hydro-érosifs. En effet, la fonction protectrice de la végétation est fortement tributaire du type et de l'état de la formation végétale ainsi que des usages qui lui sont réservés. De manière générale dans ce travail, ce facteur est strictement analysé suivant une évolution entre les périodes de références choisies à cet effet.

Les usages des sols et ses effets sur la transformation du couvert végétal sont la cause du changement global des écosystèmes. L'état du couvert végétal et les types d'usages actuels sont ainsi interrogés dans la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka. Leur évolution nous paraît comme le premier facteur de contrôle de la dynamique hydrogéomorphologique.

Au total, cinq périodes ont permis de caractériser et de comprendre son évolution. Parmi ces périodes, deux se situent avant les années 1990. Cette approche permet de comparer l'évolution de part et d'autre de la période de référence 1994.

3-3-1-1 La situation de 1973 à 1986

Cette période de treize (13) ans, est marquée par une évolution importante des unités d'occupation du sol dont les plus importantes sont perceptibles au niveau du couvert végétal. En effet, la végétation régulière ayant résisté à la sécheresse de 1973-74 s'est transformée en grande partie en formations dégradées en 1986 (carte 6 et 7).

Ainsi, durant cette période, la végétation des sommets de plateau (Brousse tigrée) a connu une régression annuelle de -5.92%. Ce taux reste le plus élevé de cette période, où il est suivi par une autre diminution de la végétation des sommets des dunes (les steppes arbustives) avec -3.44% (Tableau 3).

Cette régression de la végétation est sans doute liée d'une part au déficit pluviométrique accusé des années 1973-74 et 1984. Ces sécheresses qu'ont connues le Sahel et la zone d'étude en particulier, ont instauré un changement de comportement des activités humaines d'autre part.

Tableau 3: évolution de l'occupation des sols de 1973 à 1986

| Unités | Superficie (ha) 1972 | % du Bv | Superficie (ha) 1986 | % du Bv | Taux d'évolution annuel moyen(%) |
|--|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| Broussailles | 14935.00 | 2.95 | 9604.20 | 1.90 | -2.75 |
| Brousses Tigrées | 17552.00 | 3.47 | 4052.57 | 0.80 | -5.92 |
| Brousses Tigrées dégradées | 7250.00 | 1.43 | 13987.02 | 2.77 | 7.15 |
| Brousses Tigrées très dégradées | 1055.00 | 0.21 | 5033.66 | 1.00 | 29.01 |
| Cultures pluviales | 145349.00 | 28.74 | 191122.28 | 37.78 | 2.42 |
| Fourrés ripicoles dégradés | * | * | 863.02 | 0.17 | * |
| Fourrés ripicoles denses | 2618.00 | 0.52 | 3679.92 | 0.73 | 3.12 |
| Jachères | 15290.00 | 3.02 | 27496.83 | 5.44 | 6.14 |
| Sols nus | 3682.00 | 0.73 | 5008.02 | 0.99 | 2.77 |
| Steppes arbustives dégradées | 42351.00 | 8.37 | 52356.70 | 10.35 | 1.82 |
| Steppes arbustives régulières | 248989.00 | 49.22 | 137691.15 | 27.22 | -3.44 |
| Steppes arbustives très dégradées | * | * | 37411.20 | 7.40 | * |
| Mares | 393.00 | 0.078 | 870.75 | 0.17 | 9.35 |

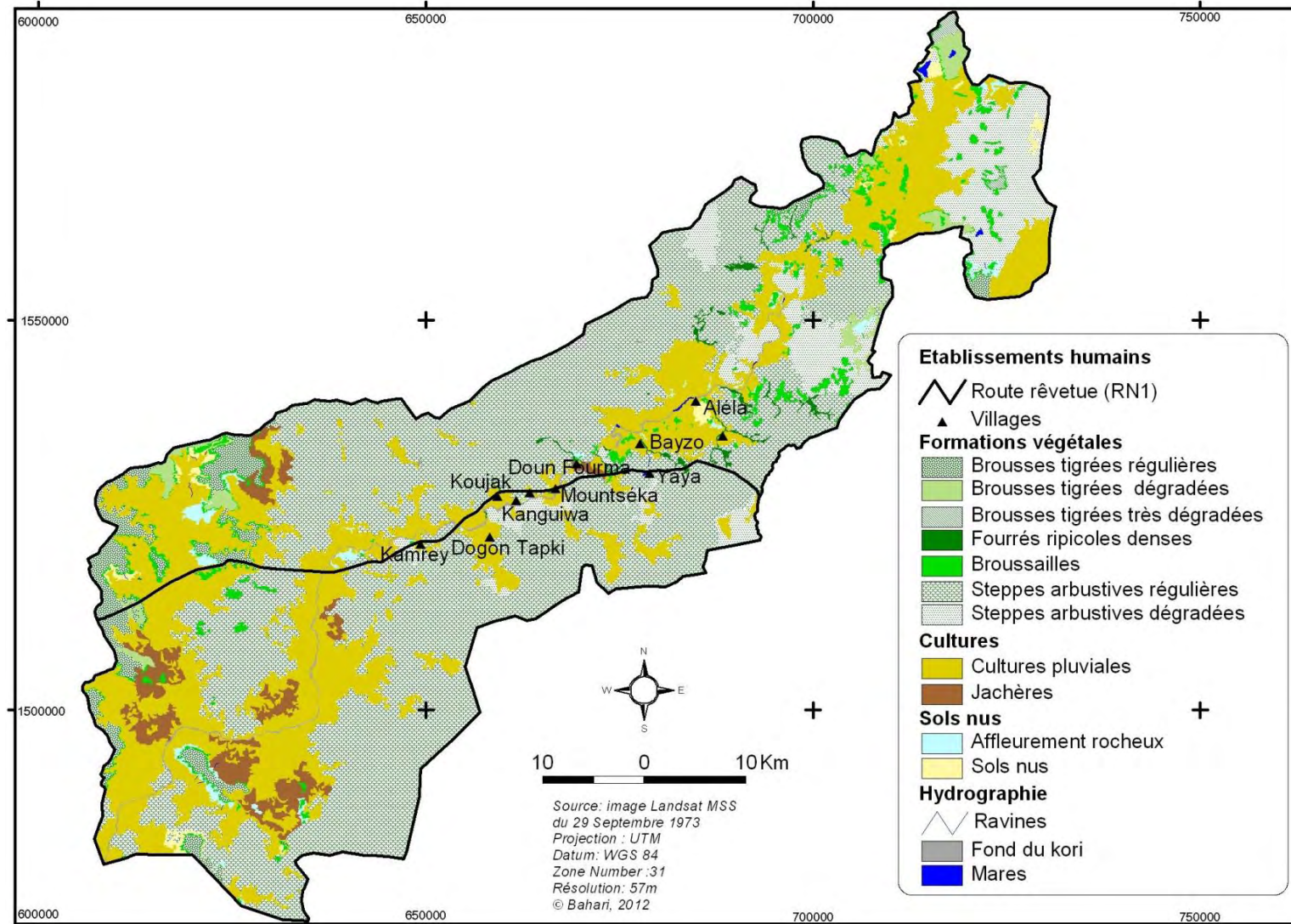
En effet, ce nouveau comportement issu de cette situation, est le changement d'usage des sols avec comme point remarquable l'extension des terres cultivées. Celles-ci, sont passées de 28.74% en 1973 à 37.78% 1986, soit un taux d'évolution annuel de 2.42% par an au cours de la période. Les friches et les jachères, ont également augmenté de manière significative avec un taux de 6%. Ce type d'occupation, vient renforcer l'extension des terres de cultures.

Les fourrés ripicoles ont connu aussi cette augmentation, malgré la faible pluviométrie enregistrée sur l'ensemble de la période. Cependant les fourrés ripicoles dégradés remarquables à partir de 1986, occupent simplement 0.17% de la superficie du bassin versant.

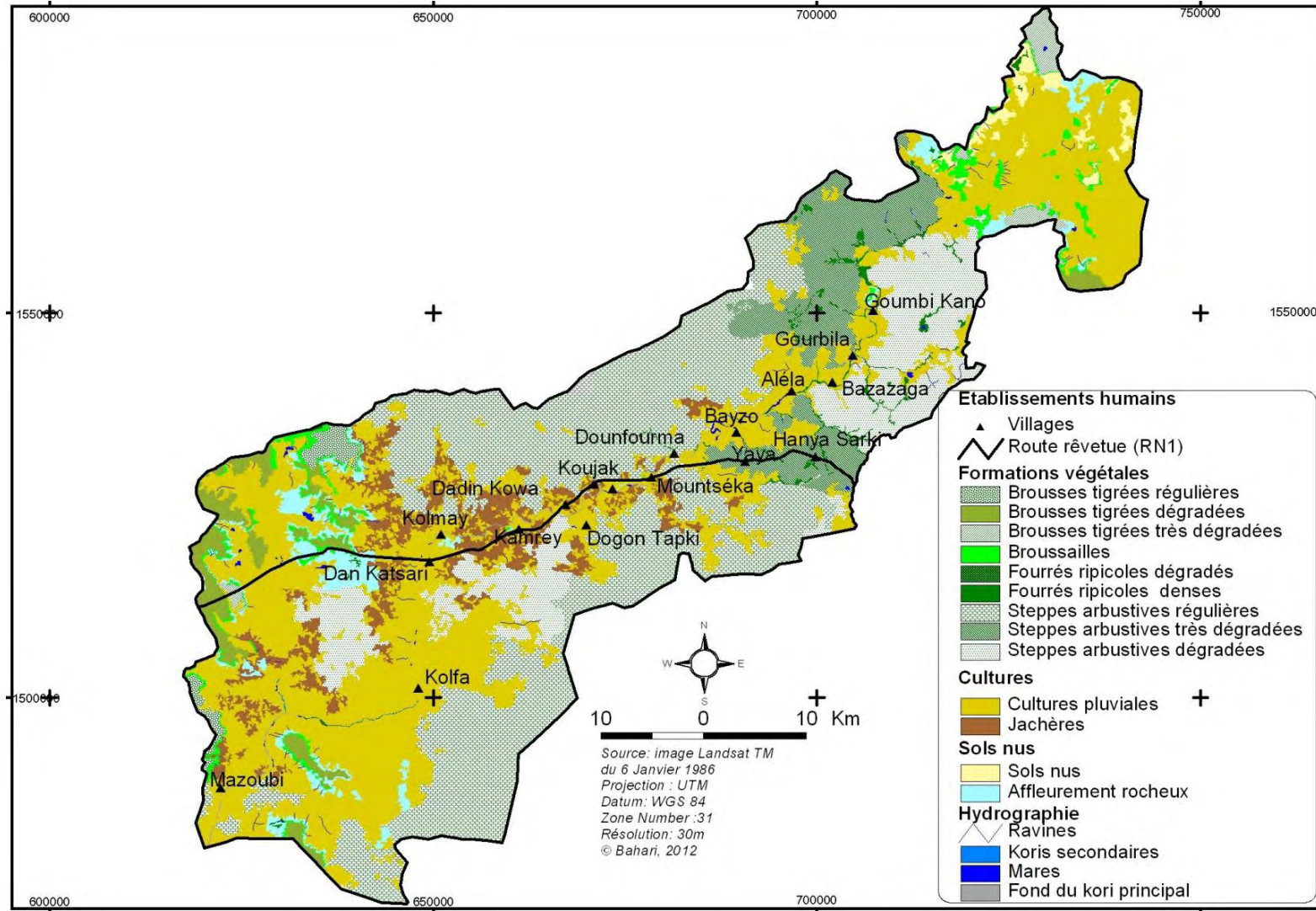
L'évolution la plus importante de cette période, est la grande proportion des unités d'occupation dégradées. En effet, les brousses tigrées très dégradées ont connu au cours de la période une progression annuelle de 29%. Celle-ci, est le résultat de la transformation d'une bonne partie de la brousse tigrée régulière. Les sols nus sont aussi de ce groupe d'unité évoluant de manière spectaculaire. Bien qu'ils occupent une faible proportion du bassin versant (-1%), les sols nus ont un taux d'évolution de 2.77%.

De manière générale à la fin de cette période (1986), le bassin versant du Kori Mountséka se trouvait dans un état dégradé avec déjà l'apparition des nouvelles classes d'occupation *dégradée* et *très dégradées* respectivement au niveau des fourrés ripicoles et des steppes arbustives. Cette dégradation du couvert végétal s'accompagne d'une apparition des sols nus favorables au ruissellement et à l'érosion. Ainsi, l'hypothèse de l'augmentation possible de ruissellement serait à l'origine aussi de l'augmentation de la proportion des mares à un taux annuel de 9.35%. De surcroît, au cours de cette période, les superficies des mares ont doublé.

En dépit de la mauvaise pluviométrie qui caractérise l'ensemble de la période, il faut ajouter des flux migratoires des populations venant du Nord et du Nord-Ouest. La grande sécheresse de 1984 a vu l'installation sur le bassin versant et particulièrement dans le village de Mountséka et Dan Katsari des populations venues de l'Ader et de l'Arewa.



Carte 6: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 1973



Carte 7: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 1986

3-3-1-2 La situation de 1986 à 1996

Pendant les dix (10) années de cette période, le bassin versant du kori Mountséka a connu d'importantes transformations. Il faut retenir qu'en plus des migrants qui se sont installés progressivement dans cette zone, l'ensemble de la population du pays a connu une augmentation du taux d'accroissement naturel. Cette augmentation généralisée de la population a largement évolué les unités d'occupation des sols au cours de cette période (carte 8).

Tableau 4: évolution de l'occupation des sols de 1986 à 1996

| Unités | Superficie (ha) 1986 | % du Bv | Superficie (ha) 1996 | % du Bv | Taux d'évolution annuel moyen(%) |
|--|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| Broussailles | 9604.2 | 1.90 | 10164.97 | 2.01 | 0.58 |
| Brousses Tigrées | 4052.57 | 0.80 | 484.6 | 0.10 | -8.80 |
| Brousses Tigrées dégradées | 13987.02 | 2.77 | 13710.87 | 2.71 | -0.20 |
| Brousses Tigrées très dégradées | 5033.66 | 1.00 | 8079.36 | 1.60 | 6.05 |
| Cultures pluviales | 191122.28 | 37.78 | 249150.18 | 49.26 | 3.04 |
| Fourrés ripicoles dégradés | 863.02 | 0.17 | 2144.78 | 0.42 | 14.85 |
| Fourrés ripicoles denses | 3679.92 | 0.73 | 272.57 | 0.05 | -9.26 |
| Jachères | 27496.83 | 5.44 | 16555.9 | 3.27 | -3.98 |
| Sols nus | 5008.02 | 0.99 | 10525.68 | 2.08 | 11.02 |
| Steppes arbustives dégradées | 52356.7 | 10.35 | 59488.43 | 11.76 | 1.36 |
| Steppes arbustives régulières | 137691.15 | 27.22 | 43208.71 | 8.54 | -6.86 |
| Steppes arbustives très dégradées | 37411.2 | 7.40 | 54631.39 | 10.80 | 4.60 |
| Mares | 870.75 | 0.17 | 2502.14 | 0.49 | 18.74 |
| Koris | 66.32 | 0.01 | 403.11 | 0.08 | 50.78 |

Les résultats de la cartographie (tableau 4), illustrent une tendance à la baisse notable du couvert végétal au détriment des surfaces cultivées, des végétations dégradées et des sols nus. Ainsi, à l'exception des broussailles, les formations végétales régulières à savoir les brousses tigrées, les steppes arbustives ont connu une régression annuelle respective de -8.80% et -6.86% de leurs superficies.

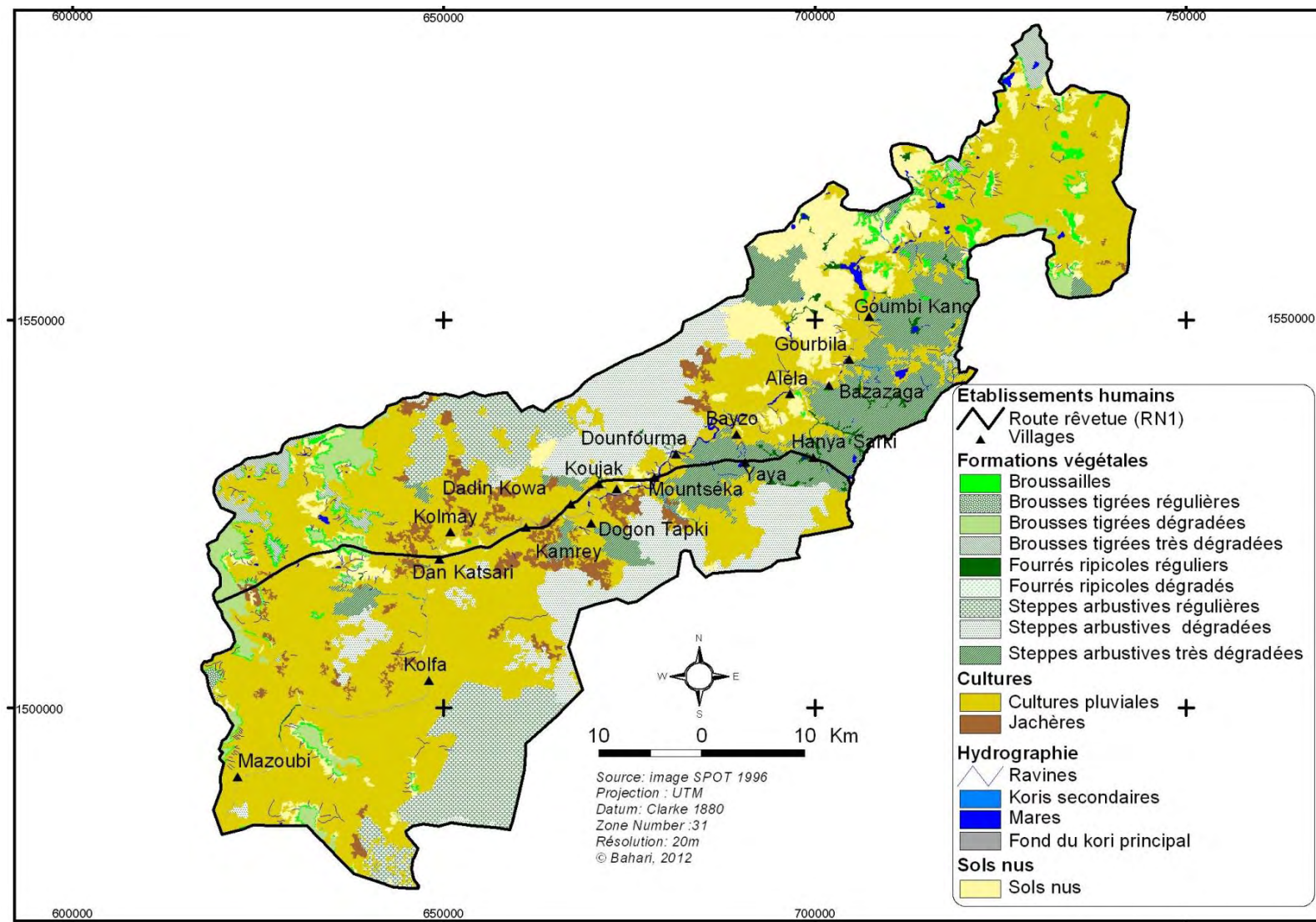
L'autre régression de la période est celle des fourrés ripicoles avec -9.29%. Ce type de formation végétale le long des koris est accessible et semble être très vulnérable compte tenu de sa position à proximité des cultures sur les glacis. Ainsi, nos observations révèlent que les fourrés ripicoles fournissent facilement le bois d'œuvre et d'énergie à la population.

La dégradation ou la disparition complète de cette végétation favorise l'apparition ou l'extension des fonds des koris et des ravines, au point où les surfaces des koris sont passées de 0.01% en 1986 à 0.08% en 1996 soit un taux d'évolution de 50.78% par an.

Les types de végétation très dégradées ont encore progressé, suivi des terres cultivées où elles occupent près de 50% de la superficie du bassin versant en 1996 avec un taux annuel de 3.04% au cours de la période. Cet accroissement des superficies cultivées a entraîné une diminution des jachères à un taux de -3.98% par an.

Par ailleurs, l'extension des sols nus à une proportion de 2% (soit 11.02% par an) et des surfaces dégradées en 1996, a favorisé l'augmentation du nombre des mares sur les versants et dans le lit du kori principal. Au cours de cette période, les mares ont le taux le plus important dans leur évolution qui s'élève à 18.74% par an.

Le bassin versant du kori Mountséka semble connaître au cours de cette période la phase la plus active d'évolution de son occupation des sols. Presque toutes les unités d'occupation ont connu leurs taux d'évolution exceptionnels. Cette situation a entraîné une multiplication des ravines et l'extension des koris secondaires.



Carte 8: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 1996

3-3-1-3 La situation de 1996 à 2005

Ainsi, la particularité de la période précédente a donné suite à l'état d'occupation des sols au cours de cette période. Certes, la dégradation du couvert végétal a progressé avec la disparition complète de la brousse tigrée, néanmoins on note une faible intensité de la dégradation (carte 9). Une diminution des formations végétales dégradées (steppes arbustives) s'observe au profit des sols nus et des cultures sur les versants. A la suite de cette situation, les terres cultivées occupent plus de 60% du bassin versant avec une augmentation capitale des sols nus. En effet, la superficie des sols nus qui était de 2.08% en 1996, a été multiplié par près de 6 fois en 2005, soit un taux d'accroissement de 54% par an (tableau 5).

Cette augmentation du front de culture et des sols nus, fait suite à d'importants défrichements effectués sur les formations végétales déjà en constante diminution au cours de la période.

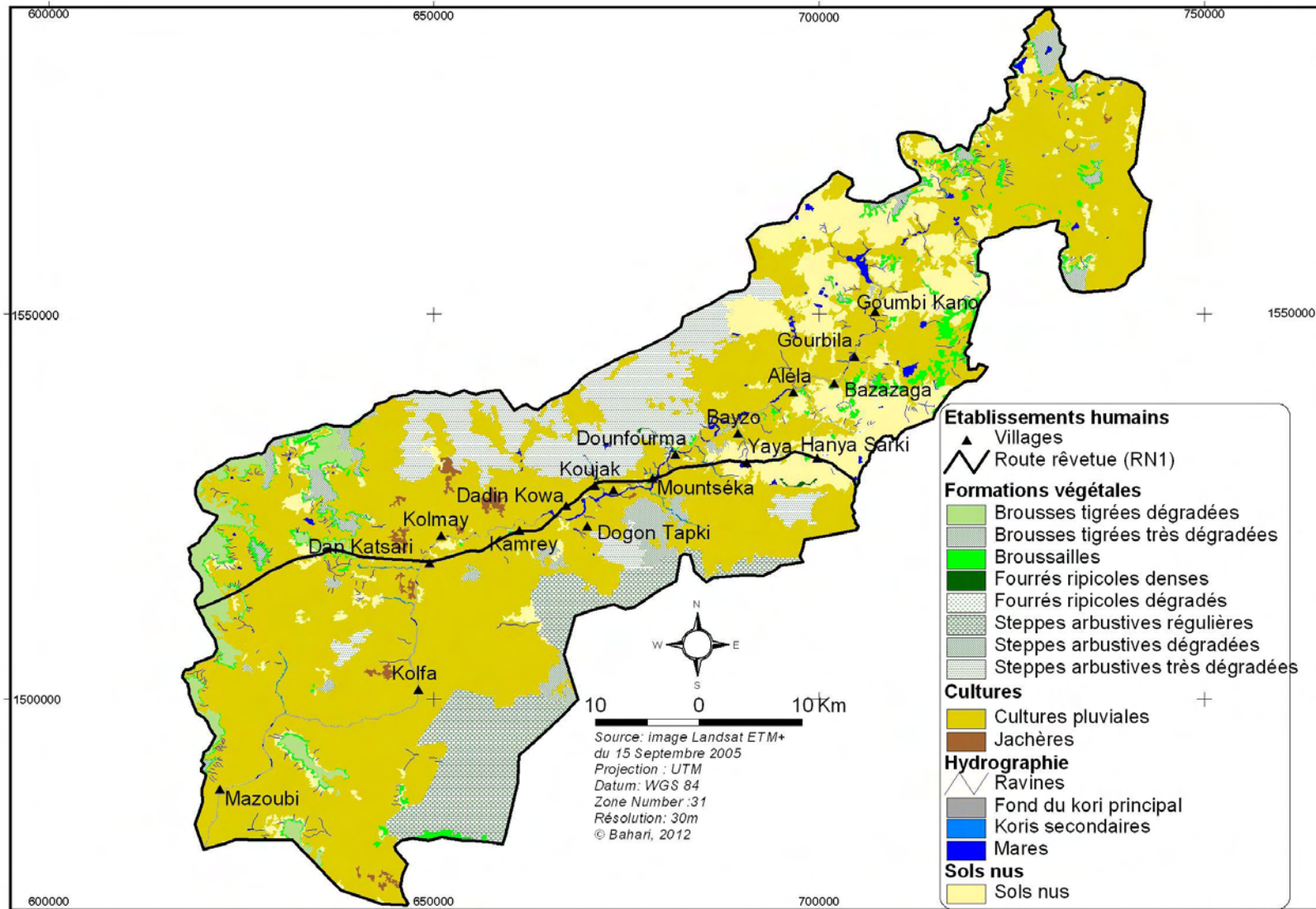
Tableau 5: évolution de l'occupation des sols de 1996 à 2005

| Unités | Superficie (ha) 1996 | % du Bv | Superficie (ha) 2005 | % du Bv | Taux d'évolution annuel moyen(%) |
|--|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------------------|
| Broussailles | 10164.97 | 2.01 | 12081.23 | 2.39 | 2.09 |
| Brousses Tigrées | 484.6 | 0.10 | * | * | -11.11 |
| Brousses Tigrées dégradées | 13710.87 | 2.71 | 13907.55 | 2.75 | 0.16 |
| Brousses Tigrées très dégradées | 8079.36 | 1.60 | 8869.18 | 1.75 | 1.09 |
| Cultures pluviales | 249150.18 | 49.26 | 308846.26 | 61.16 | 2.66 |
| Fourrés ripicoles dégradés | 2144.78 | 0.42 | 400.53 | 0.08 | -9.04 |
| Fourrés ripicoles denses | 272.57 | 0.05 | 257.99 | 0.05 | -0.59 |
| Jachères | 16555.9 | 3.27 | 2827.63 | 0.56 | -9.21 |
| Sols nus | 10525.68 | 2.08 | 61674.77 | 12.19 | 53.99 |
| Steppes arbustives dégradées | 59488.43 | 11.76 | 6727.76 | 1.33 | -9.85 |
| Steppes arbustives régulière | 43208.71 | 8.54 | 35696.44 | 7.06 | -1.93 |
| Steppes arbustives très dégradées | 54631.39 | 10.80 | 45809.61 | 9.06 | -1.79 |
| Mare | 2502.14 | 0.49 | 3164.88 | 0.63 | 2.94 |
| Kori | 403.11 | 0.08 | 562.30 | 0.11 | 4.39 |

Cette période a vu l'installation des marchés ruraux de bois au cours des années 2001-2003 dans la zone d'étude.

Les jachères ont considérablement diminué, suivies des fourrés ripicoles dégradés à un taux de -9% par an. Quant aux broussailles, on constate l'augmentation de leur superficie où elles sont passées de 2.01% à 2.39%. Ce type de formation végétale essentiellement constituée des arbustes bas sur les talus ne répond pas aux besoins des marchés de bois devant ceux des fourrés et des steppes.

Les superficies des mares et des koris ont également augmenté respectivement un taux d'évolution annuelle de 2.94% et 4.39%. Cette amélioration suit aussi celle des sols nus qui constituent des véritables impluviums.



Carte 9: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 2005

3-3-1-4 La situation actuelle : de 2005 à 2010

L'état de l'occupation et des usages actuels du sol (carte 10), est la résultante d'une série de transformations ayant affecté le bassin versant du kori Mountséka. Celui-ci continue d'être dégradé au cours de cette courte période de cinq (5) ans.

Tableau 6: évolution de l'occupation des sols de 2005 à 2010

| Unités | Superficie (ha) 2005 | % du Bv | Superficie (ha) 2010 | % du Bv | Taux d'évolution annuel moyen(%) |
|--|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------------------|
| Broussailles | 12081.23 | 2.39 | 12356.99 | 2.44 | 0.46 |
| Brousses Tigrées | * | * | * | * | * |
| Brousse Tigrées dégradées | 13907.55 | 2.75 | 13907.55 | 2.75 | 0.00 |
| Brousses Tigrées très dégradées | 8869.18 | 1.75 | 8608.08 | 1.70 | -0.59 |
| Cultures pluviales | 308846.26 | 61.06 | 307384.96 | 60.77 | -0.09 |
| Fourrés ripicoles dégradés | 510.07 | 0.10 | 156.20 | 0.03 | -13.88 |
| Fourrés ripicoles denses | 257.99 | 0.05 | 257.99 | 0.05 | 0.00 |
| Fourrés ripicoles très dégradés | * | * | 312.36 | 0.06 | * |
| Jachères | 2827.63 | 0.56 | 2827.63 | 0.56 | 0.00 |
| Sols nus | 61674.77 | 12.19 | 64776.28 | 12.81 | 1.01 |
| Steppes arbustives régulières | 35696.44 | 7.06 | 35696.44 | 7.06 | 0.00 |
| Steppes arbustives dégradées | 6727.76 | 1.33 | 6517.09 | 1.29 | -0.63 |
| Steppes arbustives très dégradées | 45809.61 | 9.06 | 44132.91 | 8.72 | -0.73 |
| Koris | 562.30 | 0.11 | 804.68 | 0.16 | 8.62 |
| Mares | 3164.88 | 0.63 | 3164.88 | 0.63 | 0.00 |

La remarque essentielle est la quasi stationnarité de certaines unités d'occupation telles que les mares, les jachères, les fourrés denses et la brousse tigrée dégradée. Les besoins en bois de service, ont réduit les formations végétales dégradées, au point où les steppes arbustives dégradées et très dégradées ont respectivement connu une baisse annuelle de -0.63% et -0.73%.

Les fourrés dégradés ont considérablement diminué pour donner un autre état de dégradation avancée au cours de cette période. Cette réduction des fourrés a un taux de -13.88% par an. Par ailleurs, on assiste à une extension des surfaces occupées par les koris à 8.62% par an. Les

sols nus quant à eux, ont connu une légère amélioration avec un taux d'évolution annuelle de 1.01%, contrairement aux cultures (-0.09% par an) au cours de la période.

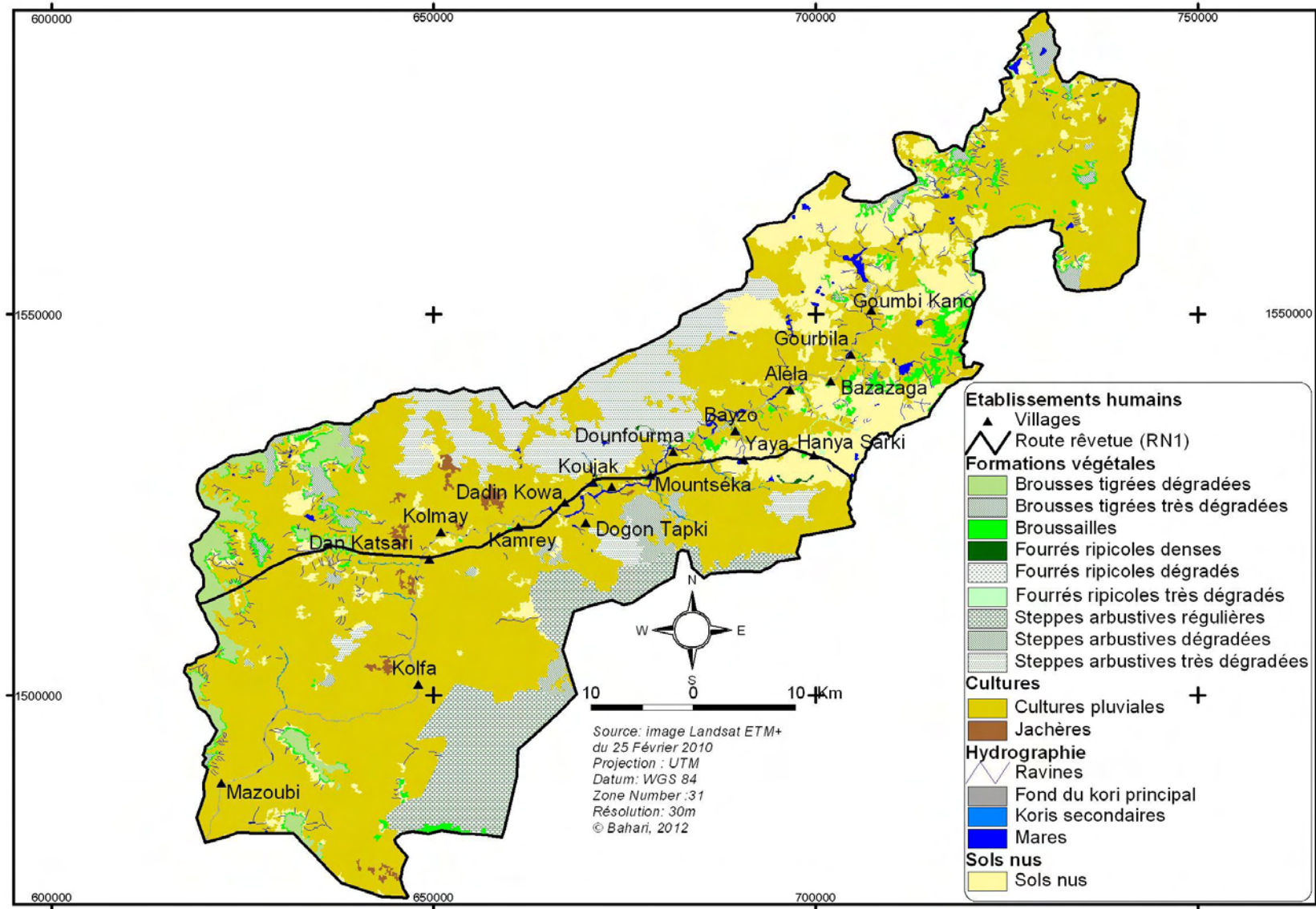
Globalement, l'expansion des activités agropastorales a été responsable des principales transformations de la végétation et de l'usage du sol sur le bassin versant de Mountséka. Ces quatre périodes distinguées dans l'analyse de l'occupation du sol, révèlent une dynamique accélérée des unités d'occupation. Chaque unité pour sa part a connu son paroxysme, pour influencer telle ou telle unité de sa participation dans la dynamique hydrogéomorphologique du kori.

En effet, il est à retenir des travaux de Mahaman (2008) sur la dynamique d'occupation des sols du terroir de Mountséka au cours de 32 ans (1975-2007), qu'une importante modification a été enregistrée. Il ressort que toutes les classes d'occupation du sol ont été affectées par une dégradation à des degrés variables. Ainsi, cet auteur a pu distinguer deux principales périodes :

- ❖ La période de 1975 à 1986, caractérisée par une transformation mineure de l'occupation du sol ;
- ❖ La période de 1986 à 2007, marquée par des mutations plus intenses.

Le changement notable enregistré au cours de ces périodes est caractérisé par une modification des faciès de végétation et la multiplication des surfaces dénudées. Ainsi, le développement des surfaces nues a favorisé l'accroissement des ravines et le développement des cônes alluviaux dans le kori principal.

Ce phénomène est par ailleurs renforcé par les caractéristiques des pluies. En effet, Evequoz et Guéro (1998) cités par Mahaman (2008) soulignent une perte considérable des eaux de pluie dans la région de Tahoua et environs, estimée à plus de 80% pour une pluie de 30mm.



Carte 10: occupation du sol du bassin versant de Mountséka en 2010

3-3-2 Analyse du climat régional

Le climat à travers les précipitations est l'agent principal de l'érosion hydrique. En effet, la pluie participe à ce processus à travers ses caractéristiques (hauteur, intensité et nombre de jours de pluie). Ces derniers sont difficiles à analyser à cause de leur forte variabilité spatiale et temporelle.

Les crises érosives sont sans doute liées à une modification du système climatique et pluviométrique en particulier. En effet, Colombani et al, (1984) affirment qu'un simple accroissement des hauteurs de pluie au-delà de la médiane se traduit par un accroissement en général bien plus important des écoulements. Cette augmentation des écoulements s'accompagne également d'une mobilisation des charges sédimentaires par les kosis.

Par ailleurs, Graf, (1988) cité par Rigot, (2010) souligne qu'en milieu sec, les crises érosives interviennent au moment des transitions climatiques, quel qu'en soit le sens : vers un assèchement ou vers une humidification. Il ajoute aussi qu'au-delà d'une modification globale du climat, de simples changements d'intensité, de répartition et de fréquence des précipitations sont déterminants pour la morphogénèse.

Dans cette optique, la présente analyse est centrée d'une part sur l'évolution des précipitations annuelles à l'échelle de la région. D'autre part un aperçu est présenté sur la répartition mensuelle des précipitations, leurs fréquences et leurs intensités afin de dégager les maximums pluvieux.

3-3-2-1 L'évolution interannuelle des précipitations

Les résultats du test de segmentation et de détection de changement des séries chronologiques issues des deux principales stations (Birni N'konni et Douchi) révèlent que toutes les séries suivent une loi normale.

Au niveau de la station de Birni N'konni, (la station synoptique de référence dans ce travail) l'analyse a permis de détecter dans la série 1961 à 2011, un premier point de rupture en 1973 avec un niveau de probabilité de 0,1060. Cette rupture marque un début de sécheresse dans la zone d'étude.

Un deuxième test appliqué à la sous série 1974 -2011, détecte une autre rupture en 1987 au point de probabilité de 0,0735. Cette rupture quant à elle, marque la fin des années de grandes sécheresses et semble t-il une amélioration des précipitations à partir de 1988 (figure 11).

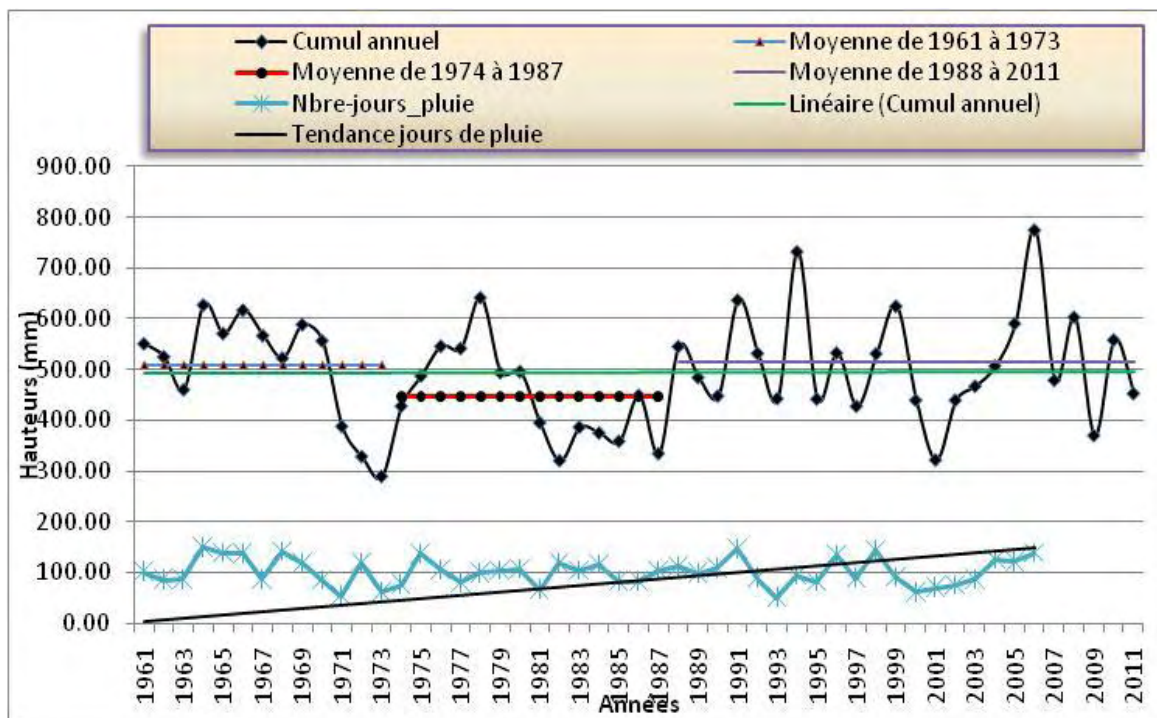


Figure 11: évolution des précipitations à la station synoptique de Birni N'konni de 1961 à 2011

Ainsi, on retient de cette station ces quelques phases :

- ❖ la première période est marquée par l'importance des années humides avec une moyenne autour de 507 mm ;
- ❖ La période sèche qui s'étale sur treize (13) ans a une moyenne pluviométrique de 447.01 mm soit une réduction de 12% par rapport à la période précédente ;
- ❖ La période 1988 à 2011 est caractérisée par un retour à des conditions plus humides qui s'est accentué après 1990. L'amélioration constatée est de 15.5% par rapport à la précédente et de 1.75% à la période 1961.

La station de Douthi quant à elle s'oppose à la précédente avec une diminution continue des précipitations. Plusieurs ruptures caractérisent la série (1961 à 2010). C'est ainsi qu'en 1969, une rupture est détectée au point de probabilité 0,1341. La moyenne au cours de cette première période est de 511,18 mm (figure 12).

La sous série 1970 à 2010 est caractérisée par deux ruptures dont une en 1973 et une autre en 1978 avec des points de probabilité respectifs de 0,0630 et 0,1989. Cette dernière rupture amorce le début d'une baisse des précipitations dans la zone. La moyenne pluviométrique au

cours de la période 1970 – 1978 est de 476,03 mm soit une baisse de 7% par rapport à la précédente (figure 12).

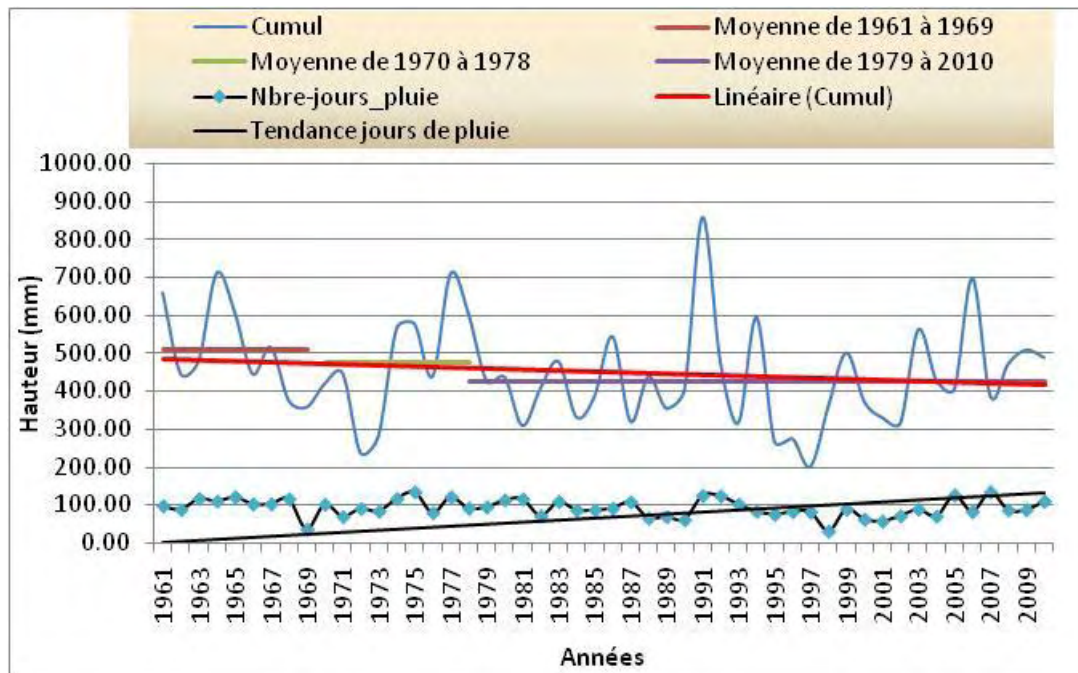


Figure 12 : évolution des précipitations à la station de Doutchi de 1961 à 2010

Enfin, depuis 1979 la pluviométrie est encore à la baisse à la station de Doutchi avec une moyenne de 427,52 mm, soit une diminution de plus de 10% par rapport à la période précédente.

Globalement dans les deux stations les différents segments de périodes, sont aussi parcourus tantôt d'années sèches, tantôt d'années humides. Celles-ci dans leurs ensembles n'entravent pas la tendance de la période.

- ❖ Certes, l'évolution interannuelle des précipitations dans les deux stations paraît similaire, mais les excédents ou les déficits restent variables entre elles. On peut constater aussi que les épisodes secs sont beaucoup plus accusés à Doutchi qu'à Birni N'konni. A cela s'ajoute une tendance à l'augmentation du nombre de jour de pluie au niveau des deux stations (figure 11 et 12).

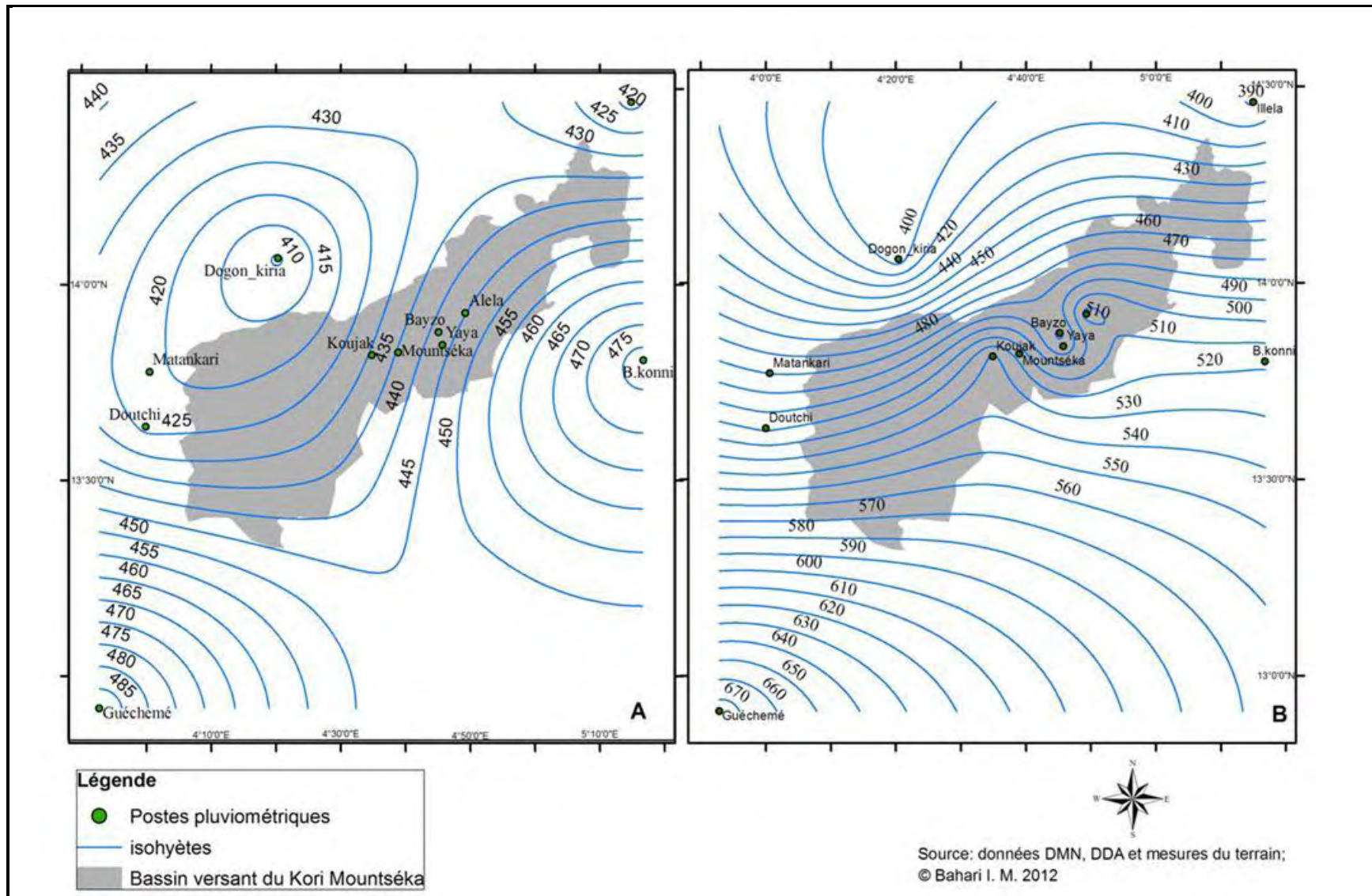
En plus du gradient Sud-Nord des précipitations, on observe également une diminution des précipitations suivant un axe Est-Ouest dans la zone d'étude (carte 11).

La répartition des moyennes des principaux postes pluviométriques de la zone d'étude de part et d'autre de l'année 1990, illustre une tendance à l'amélioration des précipitations.

Cependant, une baisse des précipitations s'observe au Nord et Nord-est du bassin versant au niveau du poste de Dogon Kiria et Illéla.

Ces résultats corroborent de manière générale au constat de Lebel et Ali (2009) cités par Descroix et al, (2012).

En effet, ces auteurs soulignent que dans la partie centrale et orientale du Sahel, une lente remontée des précipitations est observée au milieu des années 1990. Cette tendance vient combler la moitié du déficit pluviométrique observé au cours des périodes 1950-1967 et 1968-1995. Toutefois, dans la zone d'étude cette tendance est caractérisée par une forte variabilité interannuelle des précipitations. L'amélioration des précipitations observée est très influencée à partir de 1994 dans la région, puis renforcée par l'année 1998 comme souligné par Descroix et al (2012) dans une grande partie du secteur oriental du Sahel.



Carte 11: pluviométrie annuelle et réseau d'isohyètes dans la zone d'étude: A= avant 1990 ; B= tendance actuelle (1990 à 2012)

3-3-2-2 La répartition mensuelle des précipitations

L'essentiel du cumul pluviométrique annuel tombe 25 et 38 événements repartis de Mai à Octobre.

La répartition mensuelle des précipitations, reste également très irrégulière. Les pluies sont concentrées sur quelques jours, pendant les mois pluvieux. La figure 13 montre que le mois d'Août demeure le plus arrosé avec plus de 50% des précipitations. Par ailleurs, on constate que Juillet figure parmi les mois les moins arrosés et souvent nettement inférieur au mois de Septembre. Cette variation pluviométrique entre les mois détermine le régime hydrologique des mares, donc l'écoulement et de la dynamique générale du kori.

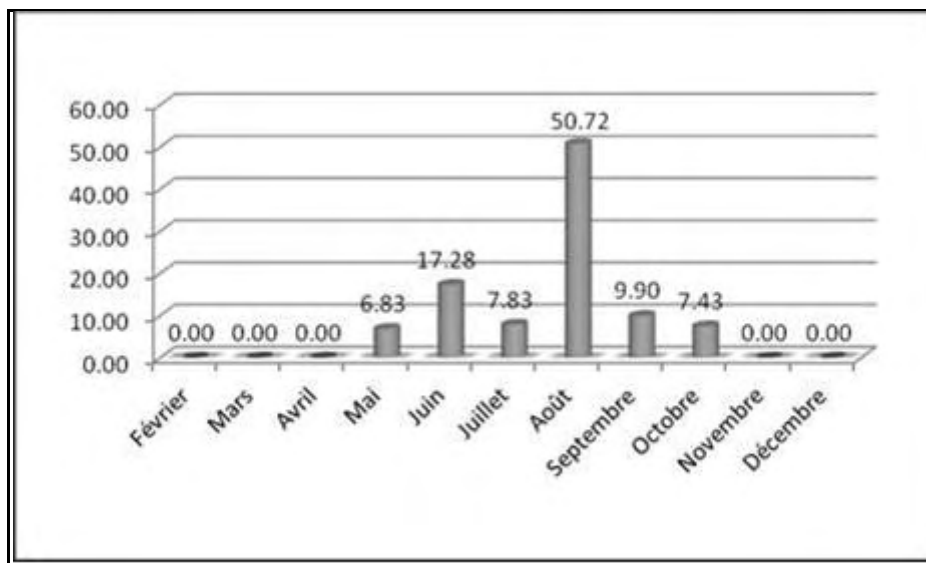


Figure 13: répartition mensuelle moyenne des précipitations sur le bassin versant de 2007 à 2012

Ces précipitations surviennent lors des événements variables avec des orages violents surtout en début de saison (photo 12). La forme de pluie dans cette zone est de type « tornade » (Casenave et Valentin, 1989). Cette caractéristique bien connue au Sahel et la zone d'étude en particulier, n'est pas sans conséquence sur la dynamique hydro-érosive dans la mesure où, la pluie et ses caractéristiques demeurent les paramètres de différenciation du degré d'érosion dans une région.



Photo 12: une vue de l'orage suivi d'une ligne de grain du 14 juin 2010

3-3-2-3 Les fréquences

En dépit de la mauvaise répartition inter et intra annuelle des pluies, l'analyse des précipitations porte aussi sur les fréquences des pluies journalières enregistrées dans la zone d'étude.

Ainsi, sur cinq (5) années de mesure, l'analyse révèle que l'essentiel des précipitations tombées dans la tranche 0 à 5 mm soit une fréquence d'apparition de 37,16%. La grande proportion de ces faibles précipitations n'est pas à négliger dans la mesure où des ruissellements ont été observés sur certains des états de surface et même hors de notre zone d'étude. Avec une fréquence de 20%, la tranche 11 à 20 mm, constitue le second groupe important des précipitations les plus enregistrées. En effet, Roose (1977) a souligné qu'une pluie de 20 mm est assez suffisante pour déclencher l'érosion. Ces hauteurs tombent dans la plupart des cas très rapprochées les unes des autres. Ce rapprochement des pluies est un véritable facteur d'érosion. Néboit (1991) souligne à cet effet que lorsque deux averses se succèdent à intervalle rapproché, la deuxième dispose d'une agressivité supérieure à sa propre énergie cinétique.

Les fourchettes des précipitations comprises entre 6 à 10mm et 21 à 30mm quant à elles, représentent respectivement 16,14% et 11, 46% des pluies enregistrées. Celles-ci viennent renforcer les précédentes malgré leurs faibles fréquences.

Quant aux fréquences très faibles, elles regroupent les précipitations comprises entre 31 à 40mm auxquelles s'ajoutent les précipitations de fréquences rares et ou exceptionnelles (>50mm).

3-3-2-4 Les intensités

L'intensité est la quantité de pluies tombées par unité de temps. Elle constitue le principal facteur d'érosion des sols. Il existe une très bonne corrélation entre l'intensité de la pluie et l'intensité du ruissellement. Celle-ci est la raison fondamentale de l'intense érosion pluviale auxquelles sont soumises les zones tropicales (Goujon, 1968).

Selon Casenave et Valentin (1989) toutes les classes d'intensité sont observables au cours d'un évènement pluvieux. Ainsi, ces auteurs soulignent que les intensités de pluies peuvent être classées de la manière suivante :

- ❖ forte à très forte, 40 à 100 mm/h, avec paroxysme à plus de 150-200 mm/h;
- ❖ moyenne, 10 à 30 mm/h;
- ❖ faible, < 10 mm/h.

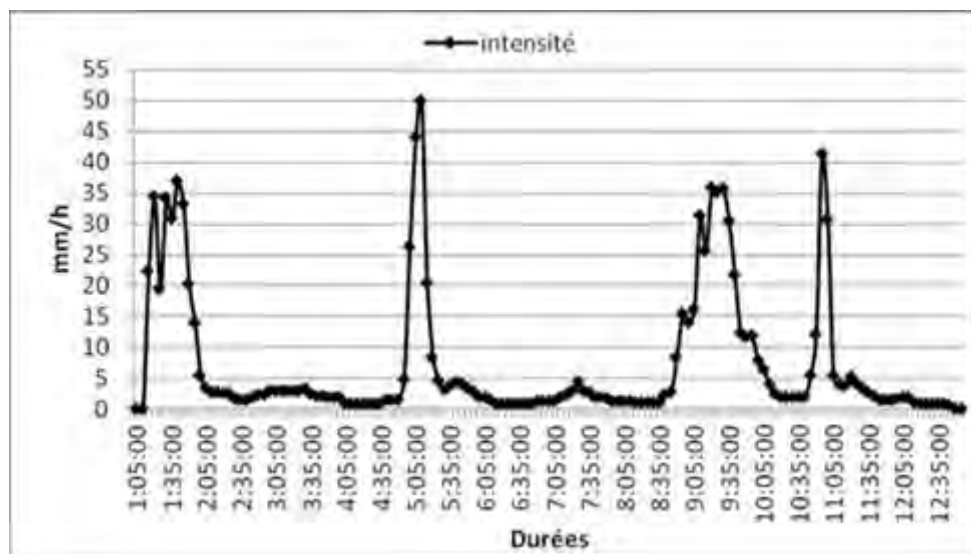


Figure 14: hyétogramme de la pluie du 10 Août 2010

La figure ci-dessus, illustre les différentes phases érosives de l'évènement pluvieux survenu le 10 Août. Ces phases ont une durée très courte (5 à 10 et souvent jusqu'à 30mn) au cours d'un évènement.

La répartition des intensités instantanées des évènements pluvieux au cours de l'année montre que les intensités maximales, sont le plus souvent le fait des maximums pluvieux. Il existe

une bonne corrélation entre les intensités maximales et maximums pluvieux (figure 15). Cette corrélation définit ainsi les pluies érosives.

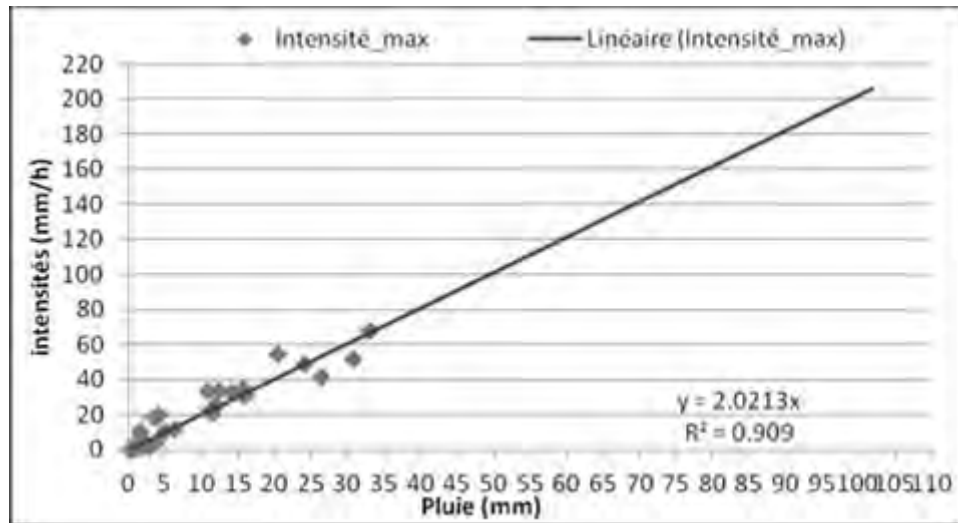


Figure 15: corrélation linéaire intensité maxi et maximum pluvieux au cours de l'année 2010.

Ainsi, les pluies inférieures ou égales à 15mm ont une intensité moyenne comprise entre 20 et 40 mm/h. Celles-ci sont d'autant plus érosives qu'elles se produisent au début de la saison des pluies et de manière rapprochée dans le temps (Courel, 1985). Au-delà de 20mm, les intensités deviennent importantes (< 40 mm/h). En effet, très peu de pluies atteignent ce seuil d'intensité maximale au cours de l'année pluviométrique.

Cependant, une pluie journalière extrême peut influencer de façon non négligeable la statistique des pluies, que celle-ci soit considérée à l'échelle journalière, mensuelle ou annuelle (Berolo, 2010). C'est le cas observé en 2010 de la pluie de 100 mm. Dans l'analyse statistique, cette pluie a considérablement modifié la bonne corrélation entre les maximums pluvieux et les intensités maximales. La corrélation qui est de 0,90 est réduite à 0,21.

3-3-2-5 Analyse des maximums pluvieux

La prise en compte des maximums pluvieux dans l'analyse de la dynamique hydrogéomorphologique actuelle est un volet qui vient appuyer la caractérisation de l'agressivité climatique de la région.

Les maximums pluvieux sont des évènements exceptionnels, de rare ampleur et ont une fréquence relativement faible au cours de l'année. Il a été évoqué ci haut que les maximums pluvieux se manifestent aussi par une forte intensité.

L'importante quantité d'eau, ainsi que la forte intensité de ces évènements sont la cause principale d'érosion observée sur le bassin versant de Mountséka.

Des études antérieures (Delhoume, 1985 ; Zahar et Laborde, 1998) ont montré qu'en régions arides et semi arides, les pluies extrêmes bien que peu nombreuses, font l'essentiel de l'érosion annuelle.

En plus, bien que l'ensemble du Sahel ait connu une baisse des pluies annuelles, l'évolution des maximums pluvieux ne semble pas avoir connue de grande modification (Mounirou, 2012). Valentin (1994) pour sa part, ajoute aussi qu'en dépit de la diminution de la pluviosité annuelle observée au Sahel depuis la fin des années 60, les pluies les plus intenses, et donc les plus érosives, n'ont pas connu la même raréfaction.

Ainsi, les pluies très intenses, s'observent aussi bien en années excédentaires qu'en année déficitaire (Courel, 1985). Cette situation explique en partie la faible corrélation (figure 16) observée à la station de Birni N'konni.

Les maximums pluvieux au niveau de cette station sont beaucoup plus accentués au cours de la période 1990 à nos jours. Cette période à l'avantage d'enregistrer des hauteurs supérieures ou égales à 100 mm.

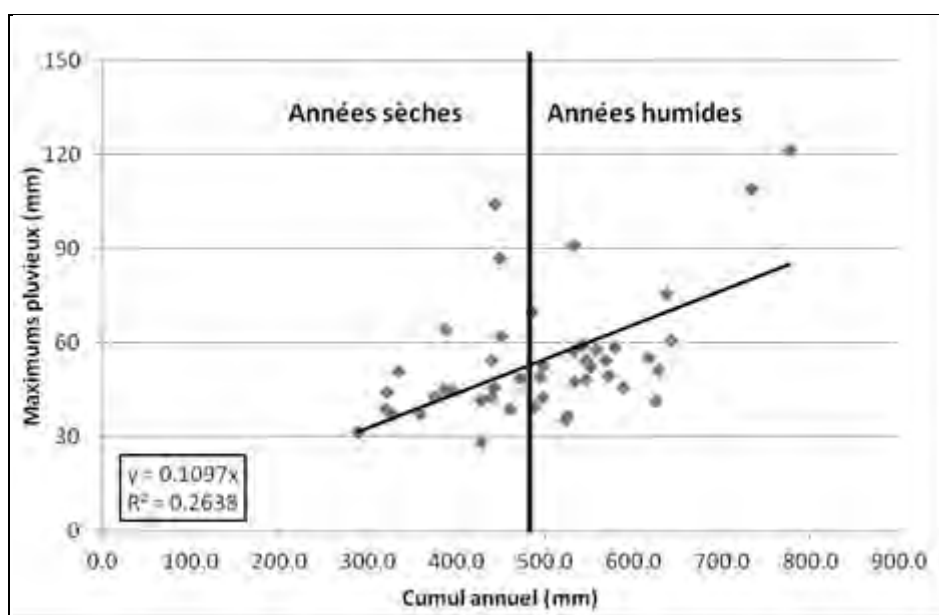


Figure 16: corrélation linéaire Cumul annuel et maximum pluvieux à la station de Birni N'konni

Malgré leurs faibles fréquences au cours de l'année, les maximums pluvieux sont responsables de la dégradation de l'environnement. De par cette caractéristique, il est un impératif de rechercher leurs périodes de retour (tableau 7).

Tableau 7: temps de retour de quelques maximums pluvieux au niveau de la station de Birni N'konni et Douchi de 1961-2011

| Période de retour (années) | Fréquences (%) | Hauteur de Pluie (mm) Douchi | Hauteur de Pluie (mm) Birni N'konni |
|----------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 0.20 | 42.15 | 38.24 |
| 2.00 | 0.50 | 53.23 | 51.33 |
| 5.00 | 0.80 | 68.13 | 69.0 |
| 20.00 | 0.95 | 87.46 | 92.00 |
| 100.00 | 0.99 | 108.9 | 117.13 |
| 5000.00 | 0.999 | 160.41 | 178 |

Sur une période 50 ans (1961-2011) au niveau de ces deux stations, les hauteurs de pluie de récurrence annuelle sont aussi importantes. Elles oscillent entre 38 à 45mm. Les pluies comprises entre 50 et 60 mm ont un temps de retour de 2 à 3 ans. Ces résultats corroborent avec ceux de Bahari, (2008) ; Bouzou et al, (2009) où la pluie décennale est égale à 75mm dans la région sur une période 45 ans (1961-2006).

Toutes ces caractéristiques pluviométriques agissent sur des formations superficielles déjà mal protégées par un couvert végétal inefficace dans la région.

3-3-3 Les formations superficielles et les sols

Les formations superficielles sont l'ensemble des roches et sols associés observables à l'interface sol atmosphère. Elles possèdent toujours des caractères hérités des roches mères, de ce fait les formations superficielles sont les produits de l'érosion (Abaché, 2007). Aussi, leur position dans l'espace, les expose généralement aux différents processus bioclimatiques et anthropiques (Campy et Macaire, 1989). Elles sont à la fois le produit et le support des processus morphogénétiques (Kankpenandja, 2011).

Les formations superficielles du bassin versant du kori Mountséka (carte 12), sont toutes faiblement consolidées. Cette caractéristique lithologique assure leur vulnérabilité au processus du ruissellement et d'érosion actuelle. La sensibilité au processus du ruissellement est aussi renforcée par les organisations pelliculaires de surface. Ces derniers désignent la partie supérieure du sol, finement stratifiée, qui subissent des transformations, sous l'effet des facteurs météorologiques ou anthropiques (Mounirou, 2012).

En effet, une des caractéristiques commune observées des formations superficielles des versants du kori Mountséka est la présence de la croûte de battance. Celle-ci imperméabilise la surface du sol et favorise le ruissellement. Casenave et valentin (1989), nous rapportent que la présence des croûtes superficielles influence l'hydrodynamique de surface car lors d'une pluie, elles réduisent l'infiltration au profit du ruissellement.

Toutefois, les différents transects effectués sur les sous bassins versants représentatifs ont permis de répertorier les organisations pelliculaires de surface les plus répandues. Ainsi, sur les revers de plateau et les affleurements rocheux, se distingue la croûte gravillonnaire. Celle-ci est constituée des blocs et galets issus du produit du démantèlement de la cuirasse ferrugineuse. L'abondance des blocs de 10 cm de diamètre (en moyenne) dans les premiers centimètres limite l'infiltration des eaux sur ces unités. Aussi, sur les vastes affleurements rocheux, à côté de la croûte gravillonnaire s'observe les croûtes de dépôts éoliens, sur lesquelles se développent un couvert herbacé très discontinue (cette association est assez répandue dans le secteur de Yaya, Hanya Sarki et le sous bassin versant d'Aléla) (Carte 12).

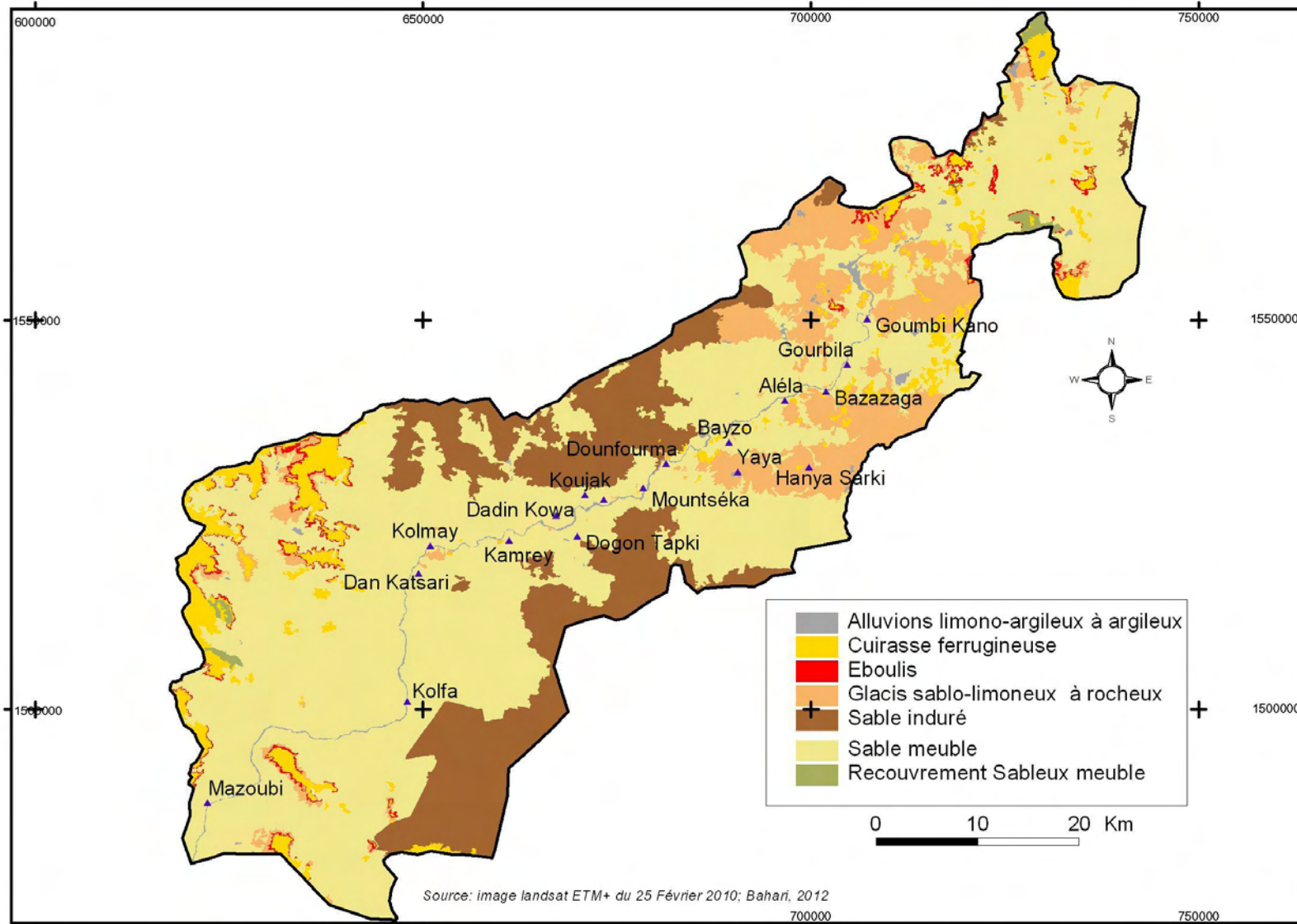
Sur les glacis, alternent la croûte de ruissellement et la croûte d'érosion. Sur ces unités sablo-limoneuses, s'observe un ruissellement important comme en témoignent les nombreuses ravines observées.

Par ailleurs, sur les formations meubles où se développent les cultures pluviales, la croûte d'érosion et la croûte de battance se prolifèrent dans les champs. La prédominance des croûtes d'érosion a permis de constater plusieurs abandons des terres cultivables dans la zone d'observation. En effet, Valentin (1998), souligne que la formation de croûtes superficielles sur les dunes fixées du Sahel, provoque un ruissellement sur les sols pourtant très sableux. La concentration de ce ruissellement développe la formation des ravines.

Aussi, quelques fragments de croûte biologique se développent sur les jachères très peu répandues. Le test d'infiltration effectué rend compte de la perméabilité modérée à rapide de l'ensemble morpho pédologique. Cependant, des variations existent suivant l'état ou le type de croûte représentative considérée.

Sur les formations indurées, plusieurs croûtes sont observées. Ainsi, se distinguent des croûtes de ruissellement, des croûtes d'érosion et des croûtes des dépôts éoliens plus répandues. La dégradation et l'état souffreteux de la végétation permet de constater sur ces unités des vastes surfaces de déflation éolienne et de ruissellement. L'infiltration est très lente sur les deux premières croûtes, tandis qu'elle est modérée sur les dépôts éoliens.

La croûte de décantation observée dans le bas fond et sur les dépôts alluviaux des cônes de déjection, est constituée des sédiments fins lités souvent craquelés. L'infiltration est très lente, bien que le fond soit souvent asséché. Selon Collinet et Casenave (1979), la croûte de décantation illustre plutôt un système endoréique. Elle manifeste ainsi une faiblesse du ruissellement et d'infiltration et provoque la sédimentation car la vitesse de ruissellement est quasi nulle.



Carte 12: les formations superficielles du bassin versant du kori Mountséka

3-3-3-1 Les caractéristiques générales

La caractérisation des formations superficielles a nécessité des prélèvements sur les faciès pédologiques les plus représentatifs du bassin versant sur une profondeur de 30cm. Le traitement a permis d'apprécier l'érodibilité des sols du bassin versant et d'en déduire l'indice de résistance. En effet, l'érodibilité d'un sol et/ou sa stabilité structurale, est un paramètre conditionné par ses propres caractéristiques physiques et chimiques. Parmi celles-ci, les plus significatives sont la texture (granulométrie) et la matière organique. Ces dernières assurent la perméabilité et la structure qui sont aussi deux autres composantes de l'érodibilité des sols.

3-3-3-2 La texture

La texture a un effet sur la résistance du sol. La proportion relative d'un type de texture, conditionne la sensibilité à l'arrachement ou à la compaction. Ainsi, plusieurs essais ont confirmé (Roose, 1994) que, les matériaux les plus fragiles ont une texture de l'ordre de 100 microns. Ce diamètre limite, coïncide à la classe des sables fins marque le seuil de résistance d'un sol. Cette limite est bornée par deux classes plus résistantes c'est-à-dire les argiles et les sables grossiers et/ou graviers.

Les sols les plus sensibles au détachement sont les sols riches en limons et/ou sables fins (Wischmeier et al, 1971). Cela est dû à la faible cohésion des particules très fines des limons. Les sables grossiers et les graviers ont tout de même une très faible cohésion des sédiments, mais ces derniers ont un diamètre moins favorable au transport par les eaux de ruissellement. Quant aux argiles, elles présentent également une forte cohésion des particules et garantissent une bonne résistance au sol.

Dans la littérature, la teneur idéale d'argile retenue est comprise entre 15% et 30-40% pour une parfaite résistance du sol. Ainsi, en-dessous de 15% d'argile, la résistance du sol devient relativement faible et facilement érodible. Au-delà d'environ 40%, le sol a tendance à être lourd, avec une forte rétention de l'eau et une structure tendant à être massive.

Ses caractéristiques intrinsèques à chaque type de sol assurent sa sensibilité à la destruction. Ainsi, six types de faciès ont été analysés (sur une profondeur de 30 cm) à l'échelle du bassin versant de Mountséka.

Les formations superficielles et les sols qui leurs sont associés, distingués sont la Cuirasse ferrugineuse et affleurement rocheux (**Caf**), les Zones d'épandages (**Ze**), les Sols Sableux des jachères à croûte Biologique (**SSbJ**), les Sols Sableux sur champs de cultures (**SSc**), les Sols dégradés des surfaces de déflation (**SDd**) et les Sols Sableux des dépôts éoliens (**Sse**).

Les résultats (figure 17) montrent que l'essentiel des sols ont une très faible teneur en argile. A l'exception des surfaces dégradées contenant 9%, la proportion d'argile tourne autour de 5%. Le taux de limon s'élève en proportion considérable à 36,96% dans les SDd, comparativement aux autres faciès où les valeurs oscillent entre 22% (Ze) et 27% (SSbJ). Quant aux sables fins, deuxième composante de la vulnérabilité des sols après les limons, restent plus importants dans les Ze et les Sse, où ils occupent 30% des échantillons. Les sables grossiers sont aussi assez remarquables sur l'ensemble des sols avec 40% à l'exception des SDd qui contiennent seulement 30%.

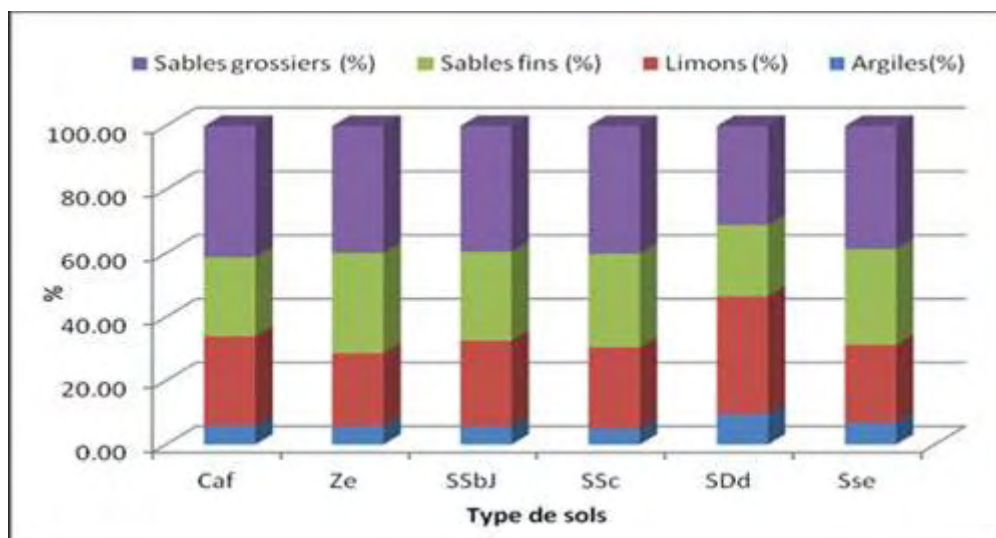


Figure 17: textures par type de sol du bassin versant Mountséka

Ainsi, les sols du bassin versant du kori Mountséka sont à texture Sablo-limoneuse. Il faut ajouter que sur les sommets des buttes et affleurement rocheux, la proportion des graviers et blocs est aussi remarquable avec plus de 60%.

Les sols sont dans l'ensemble pauvres en argile et moins résistants. Cela s'explique par leur forte proportion des limons et du sable fins additionnée. La SDd qui contient plus d'argile, est aussi la plus saturée par des sédiments limono-sableux.

Les usages actuels auxquels ils sont soumis, ne permettent pas leur possible amélioration par la matière organique.

3-3-3-3 La matière organique

Le taux de matière organique d'un sol est déterminé par la proportion du carbone qu'il contient. Cette approche est basée sur l'étroite corrélation qui existe entre le carbone et la matière organique sur sol ferrugineux en Afrique de l'ouest (Feller, 1993).

Cette composante du sol assure sa résistance face au processus de dégradation. En effet, l'augmentation de la teneur de matière organique d'un sol s'accompagne d'une amélioration de sa structure, d'une bonne infiltration de l'eau, de l'accroissement de sa capacité de rétention en eau ainsi que son pouvoir de résistance à l'érosion (Ben Hassine et al, 2008). L'érosion hydrique est un facteur de dégradation des sols. Celle-ci s'accompagne également de la dégradation du taux de matière organique. La valeur seuil de la teneur en matière organique, varie entre 1,5 et 2% de carbone chez les experts, soit 2,5 et 3,5% de Matière organique. Pour sa part, Duchaufour (1991) cité par Ben Hassine et al, (2008), situe le seuil de dégradation de matière organique à 2%. Valeur en dessous de laquelle un sol est classé pauvre en matière organique.

Les résultats d'analyse du carbone des sols prélevés sur le bassin versant de Mountséka révèlent une très faible teneur en matière organique (figure 18).

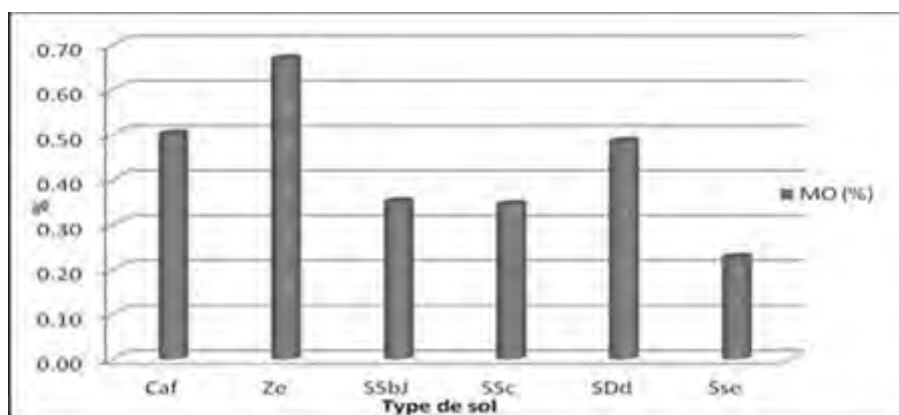


Figure 18: taux de matière organique des sols du bassin versant de Mountséka

Ainsi, en dépit de la faiblesse de la matière organique observée dans tous les sols, le plus faible taux se situe dans les Sse suivi des sols cultivés et les sols des jachères.

Khalili et al, (2012) nous rapportent ainsi que lorsque la matière organique des sols céréaliers se trouve à un niveau très faible, ils sont exposés à la dégradation par érosion hydrique. Aussi lorsque la pente devient forte, cela favorise un ruissellement efficace. Cette situation due à une utilisation intensive du sol, se traduit aussi par la diminution de la stabilité structurale et l'augmentation de la sensibilité à l'érosion.

3-3-3-4 Le facteur K à l'échelle du bassin versant

L'érodibilité des sols varie de manière générale d'un secteur à un autre à l'échelle même du bassin versant. Cette variabilité est fonction du type de formation superficielle et des différents usages des sols dominants.

L'indice d'érodibilité des sols (K) calculés à partir des échantillons, classe *les sols du bassin versant du kori Mountséka parmi les très érodibles et instables*. En effet, l'indice K sur les sols tropicaux ferrugineux cultivés en Afrique de l'ouest varie de 0,2 à 0,3 (Roose, 1994). Ces valeurs sont bien plus satisfaisantes que celles de nombreux sols lessivés des régions tempérées où K varie 0,2 à 0,7.

Le tableau 8 indique l'érodibilité des sols pour l'ensemble du bassin versant Mountséka. Elle varie entre 0,42 à 0,53. Les fortes valeurs comme le traduit l'indice, correspondent à une forte érodibilité. Ces fortes valeurs au-delà de ce que Roose (1994) a trouvé pour les sols tropicaux ferrugineux de l'Afrique de l'Ouest, se justifie par leur grande pauvreté en argile et en matière organique. Dans ces conditions, la valeur K augmente.

Cette appréciation de Roose (1994) explique les valeurs K mesurées sur le bassin versant de Mountséka.

Cependant, les valeurs de K ne sont pas homogènes suivant les mêmes types de sols à l'échelle du bassin versant entier. Ainsi, dans le tableau 8, l'on peut constater aussi que les sols cultivés du terroir du Mountséka sont plus érodibles par rapport au secteur du sous bassin de Koujak et d'Aléla. Ce dernier, en dépit de ses grandes proportions des affleurements rocheux, il présente les alluvions les plus instables que ceux de Koujak, où l'essentiel des sols

vulnérables se trouve au niveau des zones d'épandages et des surfaces de déflation. Il faut souligner que le sous bassin koujak a aussi la particularité de reposer sur un substrat sableux important.

Cette variabilité de la sensibilité des sols à l'érosion est sans doute liée aux modes d'usages des terres et/ou à la nature du substrat.

Tableau 8: résultats de l'indice K calculé sur le bassin versant du kori Mountséka

| Formations superficielles | Tozo | Aléla | Koujak | Bassin versant principal |
|--|-------------|--------------|---------------|---------------------------------|
| Cuirasse ferrugineuse et affleurement rocheux | 0.36 | 0.47 | 0.41 | 0.42 |
| Zones d'épandages | 0.54 | 0.46 | 0.58 | 0.53 |
| Sols Sableux des dépôts éoliens | 0.49 | 0.52 | 0.47 | 0.50 |
| Sols Sableux des champs de cultures | 0.49 | 0.45 | 0.45 | 0.46 |
| Sols dégradés des surfaces de déflation | 0.57 | 0.43 | 0.53 | 0.51 |
| Alluvions du kori | 0.47 | 0.50 | 0.48 | 0.49 |

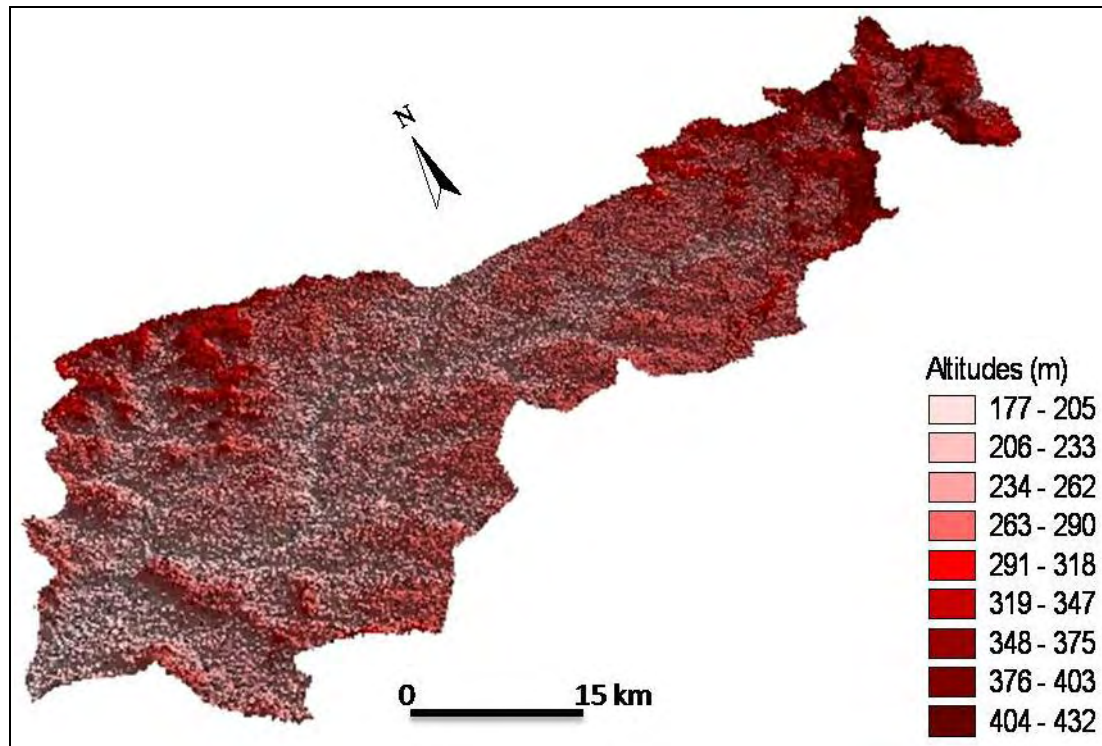
3-3-4 Formes de terrains et les facettes d'érosion

L'Ader-Doutchi-Maggia est un ensemble morphologique dominé par des plateaux culminant entre 500 et 600m d'altitude sur l'axe Tahoua, Keïta – Birni N'Konni. Le bassin versant de Mountséka, situé à l'ouest, se trouve au contrebas de cet ensemble avec quatre niveaux d'altitudes. Les sommets des plateaux situés à l'extrême ouest et Est du bassin versant, occupent les altitudes maximales avec 300-350m. Ce premier niveau est faiblement incliné avec des pentes inférieures à 1% et coïncide avec l'exutoire des principales vallées de l'Ader (carte 13).

Ensuite, le second niveau se situe entre les altitudes 250 et 300m, où deux sous classes sont aussi distinguées. Ainsi, de 300 à 270 m, l'on observe les hauts glacis qui jouxtent

directement les hauts sommets. Leur forme est relativement convexe. A cela, s'ajoute l'autre classe comprise entre 250 à 270 m concave, des sommets des dunes.

Ce niveau, occupe l'essentiel des terrains sur une bonne partie médiane et aval du bassin versant.



Carte 13: modèle numérique de terrain du bassin versant du kori Mountséka

Les altitudes 230 à 250m couvrent le troisième niveau, de forme convexe et communique directement avec le fond de la vallée relativement plat avec moins de 200m d'altitude.

Cette répartition des altitudes commande la répartition des pentes et détermine les facettes d'érosion.

La pente est sans doute le paramètre le plus puissant de l'érosion. Mieux, cette puissance dans le processus de ruissellement et d'érosion, est influencée aussi par les types de pente. Wischmeier, (1974) cité par Kankpenandja, (2011), a souligné qu'à pentes égales, la pente convexe est plus favorable à l'érosion que la pente concave. Par ailleurs, la présence de pente concave assure le piégeage des sédiments dans un paysage (Roose, 1994).

La répartition de ce paramètre en cinq classes (tableau 9) est fondée dans le but de ressortir les proportions du terrain où sont situées nos parcelles. Le taux d'érosion mesuré sur celles-ci permettra de comprendre la contribution de ces terrains dans la dynamique érosive du bassin versant.

Les calculs de pente effectués donnent pour l'ensemble du bassin, une pente moyenne de 8,5% et un écart type de 5,37%. Les cinq classes choisies sont tout au moins observables partout à l'échelle du bassin. Seulement, les pentes faibles comprises entre 0 à 2% occupent 5,11% du bassin versant, soit 257,94 Km².

La classe de 2 à 5% sur laquelle est située notre station expérimentale occupe 21,15% du bassin versant. Il faut le rappeler ici que des études antérieures (Mollenhauer, 1980 ; PNUE/PAM/PAP, 2000 ; cités par Elbouqdaoui, et al, 2005) ont montré que l'érosion devient active sur des pentes supérieures à 3%. Par ailleurs, Fournier (1960) cité par Elbouqdaoui, et al, (2006) considérait aussi que les pertes en sol pouvaient être importantes même sur des pentes inférieures à 3% comme les glacis de 2% au Sahel.

Cette portion (2 à 5%) est de type convexe, comparativement à la classe 5 à 10%, bien qu'elle couvre la majeure partie (39,44%) du bassin versant. A cela l'on ajoute, une autre classe de pente relativement forte (22,38%), à forte de type convexe (< 15%). Cette dernière classe, s'observe outre sur les talus mais aussi au niveau de certain secteur (par exemple à Bayzo) à proximité de la vallée et surtout lié à des affleurements rocheux.

Tableau 9: tableau de répartition des pentes sur le bassin versant du kori Mountséka

| Classes de pente (%) | Surface (Km²) | Proportion du bassin versant (%) |
|-----------------------------|---------------------------------|---|
| 0 à 2 | 257,94 | 5,11 |
| 2 à 5 | 1067,45 | 21,15 |
| 5 à 10 | 1990,62 | 39,44 |
| 10 à 15 | 1129,33 | 22,38 |
| < 15 | 601,69 | 11,92 |

Ainsi, la répartition des altitudes et la configuration des terrains déterminent les facettes d'érosion. Celles-ci associées aux classes de pente font du bassin versant de Mountséka une portion où la pente influe peu sur la dynamique hydro-érosive. Les faibles dénivelées entre les niveaux identifiés caractérisent l'ensemble du bassin d'un relief peu accidenté.

Conclusion partielle

Le bassin versant du kori Mountséka a connu une remarquable évolution de son couvert végétal. Seuls quelques vestiges existent dans un état très dégradé et qui subissent la pression du surpâturage. Au prix de cette éradication quasi-totale de la végétation, on peut citer la pression humaine et l'évolution générale du climat. Celui-ci se caractérise par une tendance à l'amélioration des précipitations même si de fortes variations inter et intra annuelles sont importantes.

Ainsi, la dynamique hydrogéomorphologique actuelle du bassin versant du kori Mountséka, est une réponse d'une ancienne occupation de l'espace. L'exemplarité de cette occupation, accentue la vulnérabilité des facteurs et la modification du couple ruissellement-érosion.

Chapitre 4: Le fonctionnement hydrogéomorphologique du kori Mountséka

Les vallées sèches sont exclues du champ réservé au domaine d'hydrologie. Cependant, leur fonctionnement hydrogéomorphologique propre mérite un suivi tout particulier. Le contexte actuel de ces vallées, se caractérise par une rupture d'équilibre des facteurs fédérateurs. Ce qui sans doute est à l'origine de la fonctionnalité sectorielle de leur organisme drainant. Le cas de Mountséka même s'il reste le prototype dans cette nouvelle dynamique, n'est pas le seul à l'échelle du Sahel.

4-1 Les caractéristiques morphologiques du kori Mountséka

Le kori Mountséka est un cours d'eau de vallée sèche. Il appartient au bassin versant du Dallol Maouri. Tous fossilisés par des alluvions hérités de la fin du Quaternaire.

Des relevés effectués dans le fond du kori, (bien que peu nombreux) ont permis de déterminer la texture des matériaux qui conditionnent la dynamique fluviale actuelle du kori.

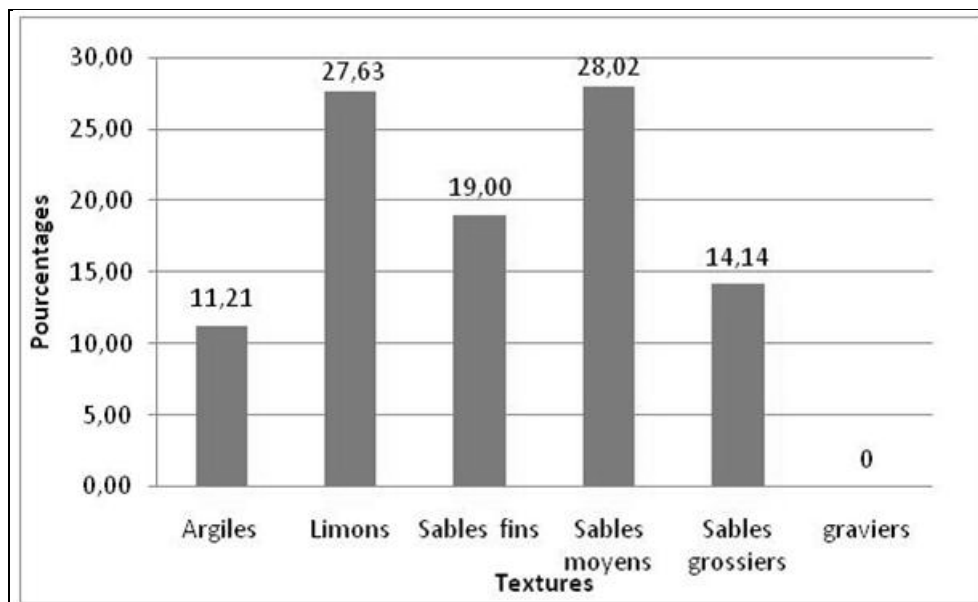


Figure 19: proportion granulométrique des alluvions du kori Mountséka sur un tronçon de la partie centrale

La figure 19 illustre que le fond de ce kori est constitué des sédiments sablo-limoneux à argileux. Cette caractéristique favorise la dynamique morphologique du kori.

Le kori Mountséka coule pendant la courte saison des pluies. Cependant, il faut retenir que l'écoulement s'effectue dans le seul lit mineur, mais de façon controversé par rapport aux écoulements des cours d'eau de même nature.

Il se caractérise également par un profil en long irrégulier, caractéristique des cours d'eau jeunes (figure 20).

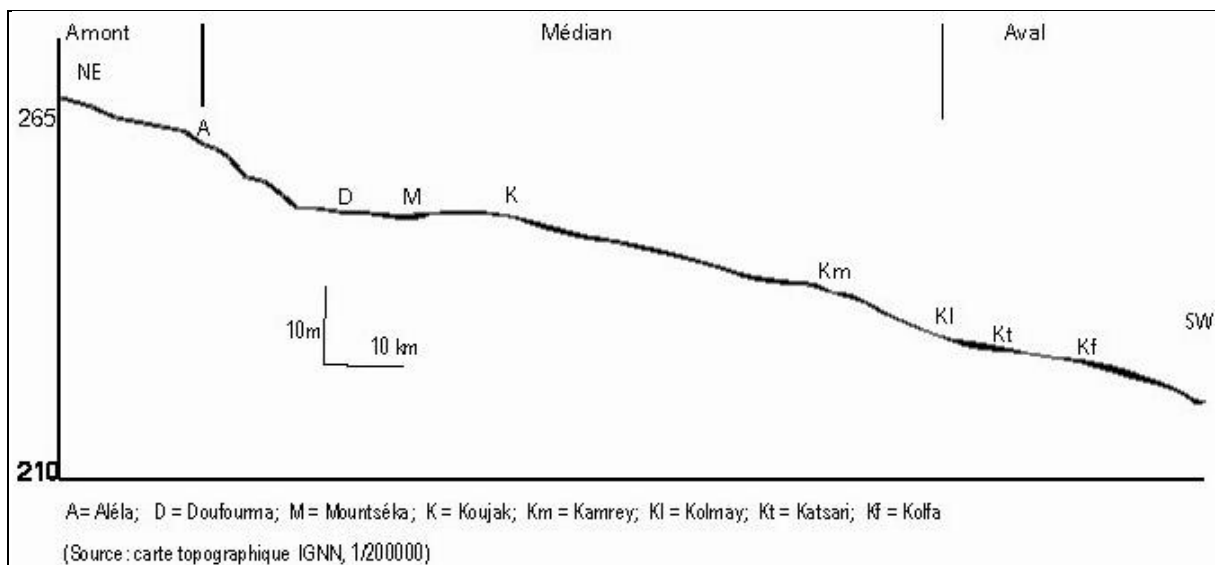


Figure 20: profil en long du Kori Mountséka

La pente longitudinale de ce kori est très faible dans les trois parties du profil. Ainsi, la partie amont draine le tronçon allant de Goumbi Kano à Aléla. L'inclinaison du cours d'eau se situe autour de 1,49 à 0,28 ‰. Ce secteur amont de la vallée, est caractérisé par un encaissement du kori avec une dénivelée supérieure à 30m.

Sur son cours moyen, le kori Mountséka traverse un secteur marqué par une pente relativement forte de 1,81‰ avant de fléchir (0,12‰) au voisinage de Mountséka. Toujours dans cette partie, la pente s'est faiblement accentué au fur et à mesure après la ligne Koujak-Dogon Tapki jusqu'à Kamrey où elle varie respectivement de 1,13 à 1,18‰. Le kori présente dans cette partie une largeur comprise entre 150 à 200m suivi des berges moins élevées (dénivelée : 15- 20m).

Dans sa zone aval, qui débute à partir de Kolmay en passant par Katsari et Kolfa selon notre découpage, le kori Mountséka présente un profil légèrement incliné avant de se jeter dans le

Dallol Maouri qu'il alimente. Le fond devient plus plat et moins encaissé avec 200 à 400m de largeur et une dénivelée variable de 10 à 15m.

L'observation directe du terrain confirme cette morphologie. Le fond du kori Mountséka se caractérise par la présence des secteurs de contre-pente ou verrous (zone de rétrécissement du lit) par endroit associés à des cônes de déjection des tributaires actifs. Ces seuils naturels, renforcent l'irrégularité de son profil et rendent plus complexe l'écoulement du kori.

Les modes du fonctionnement hydrogéomorphologique des cours d'eau des vallées sèches sont commandés par les sédiments de fond de vallée, qui se trouvent aujourd'hui remobilisés. Nombreux sont des facteurs qui, expliquent les processus de mobilisation de cette charge solide transportée par les cours d'eau (Bravard et Petit, 1997).

Des irrégularités de fond suite à l'érosion et l'accumulation des sédiments par les cours d'eau, s'expliquent par les variations de débits (liquides et solides) influencées par des pulsations climatiques et l'intervention humaine (Loup, 1974) dans les bas-fonds.

Le secteur médian sur lequel est basé l'essentiel de notre suivi hydrogéomorphologique de ce kori, se trouve le plus irrégulier du profil bien que l'échelle choisie rend illisible les caractéristiques du kori.

Cette morphologie a longtemps fait de ce kori un cours d'eau endoréique parcouru par une série de mares à régime saisonnier.

4-2 Aperçu sur l'endoréisme

L'endoréisme est l'une des caractéristiques hydrologiques des régions sèches. Les quelques écoulements observés des koris secondaires se concentrent et disparaissent pour l'essentiel dans des mares dont une partie s'évapore et l'autre recharge la nappe phréatique. Ces deux mécanismes, intègrent les vallées sèches désormais dans la détermination des bilans hydrologiques.

Le fonctionnement actuel du kori Mountséka nous impose un recours aux archives (images satellites) et à l'entretien pour retracer la dynamique d'écoulement du kori. Pour mener harmonieusement cette tâche, deux périodes se distinguent avec des caractéristiques bien définies. Le choix de l'année 1990 est justifié dans notre approche méthodologique.

4-2-1 Avant 1990

Il ressort des témoignages des personnes ressources que, cette période est marquée par quelques mares semi permanentes situées dans l'axe principal du kori. Parmi ces mares, l'on peut citer Goumbi Kano, Gourbila, Aléla, Bayzo, Dounfourma, Mountséka et Kanguiwa et Kamrey. Celles-ci sont toutes situées de l'amont au secteur médian du bassin versant.

Sur l'image satellite, certaines des mares (kanguiwa et Kamrey) ne figurent pas pour des raisons liées à la date de prise de vue. Aussi, il semble qu'elles avaient un régime très réduit. L'espace inter-mare est parcouru par une formation ligneuse assez dense qui sert de refuge pour une faune aussi diversifiée mais aussi à des cultures pluviales par endroit. Ce type de végétation particulière, attribuée aux forêts galerie (Roussel, 1999), occupent l'essentiel du réseau hydrographique du Niger central, plus ou moins fossile dans la première moitié du 20^e siècle. Des reliques d'arbres existent encore dans le bas-fond (photo 13 et 14).

Cette période se caractérise dans son ensemble par une stabilité morpho dynamique des vallées sèches.



Photo 13: relique de rônier dans le Bas fond *Photo 14: tronc d'Accacia albida dans le bas fond Mountséka*

Ensuite, vint la grande phase d'extension des terres de culture qui s'amorce après les années 70 et qui s'est renforcée au cours des années 1980 suite aux deux grandes sécheresses climatiques qui ont bouleversé le Sahel, occasionnant ainsi le phénomène de défrichement massif.

Cette situation a réduit la végétation des versants et celle des bas-fonds au profit des mises en cultures intensives. En effet, la présence de nombreuses reliques de *Faidherbia albida*, (plante non hygrophile) témoigne ainsi que les bas-fonds ont été pendant longtemps sans eaux.

4-2-2 De 1990 à nos jours

Cette période est marquée par une extension des mares dans l'axe de drainage. Le régime de mares précédentes augmente également. En effet, pendant que les mares se pérennisent (Kamrey), certaines sont aujourd'hui ensablées (Aléla) et d'autres menacées de disparition (Dounfourma, Mountséka, Gourbila).

Ainsi, la première période se caractérise par une série de mares indépendantes. Elle traduit une relative stabilité du système et l'endoréisme du kori Mountséka.

L'intervention de l'homme à travers ces diverses activités conjuguées aux caractéristiques actuelles des précipitations ont profondément modifié ce système. La conséquence première qui découle de cette rupture est l'augmentation du ruissellement et de l'érosion des sols. Ces deux processus ont assuré le colmatage des sédiments ayant abouti d'une part à l'exhaussement du fond du kori et au changement du régime des mares d'autre part.

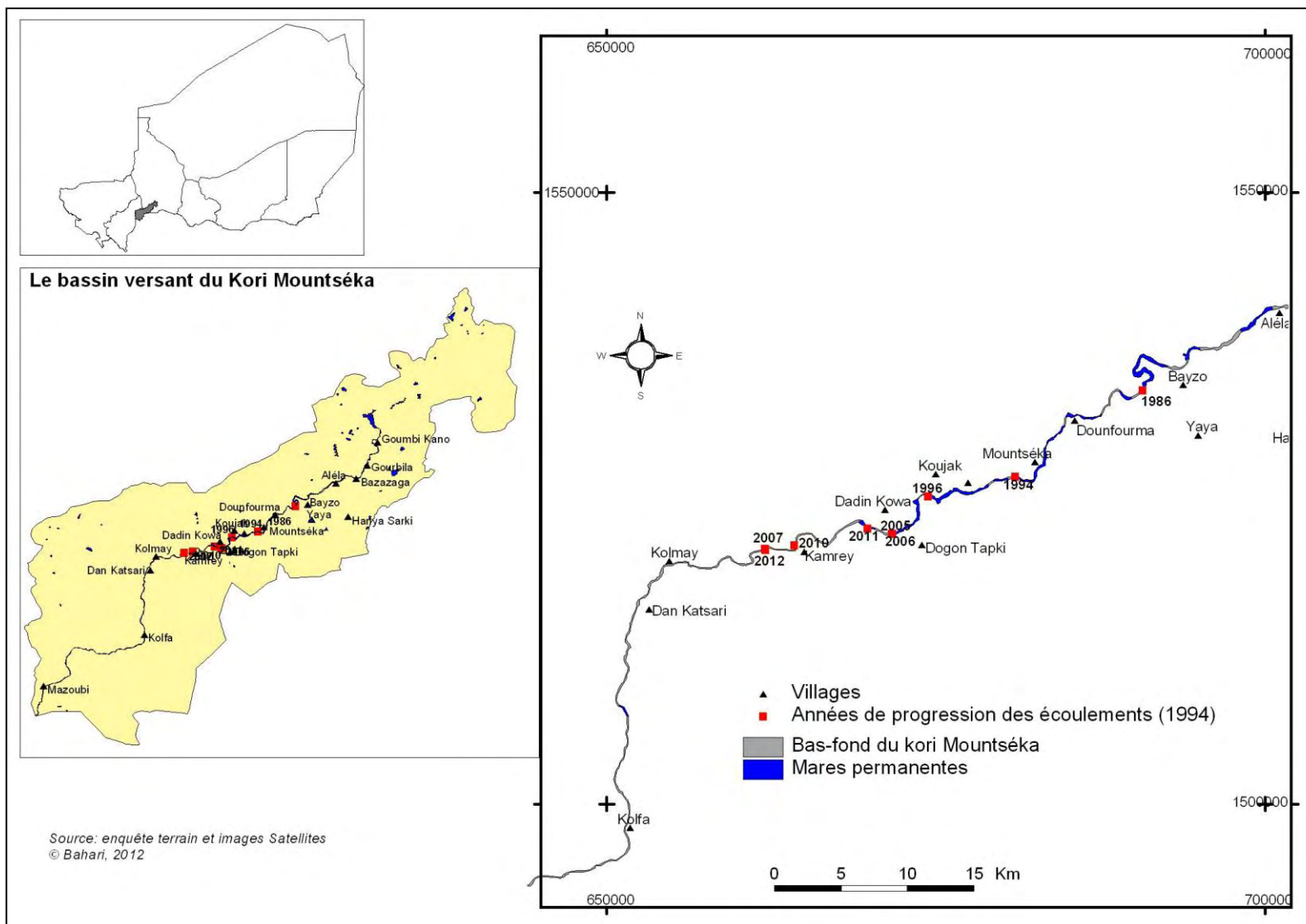
4-3 Contexte actuel : les leçons tirées de l'observation

La reprise de fonctionnalité du kori Mountséka depuis 1994 (Bahari, 2008) pose des interrogations pertinentes sur l'origine du phénomène et les modalités d'écoulement. L'autre question de base est la progression des écoulements. Ainsi, de 1994 à nos jours, le kori Mountséka coule pendant la saison des pluies sur près de 70 km de l'amont à la latitude de Kamrey (carte 14).

Cette longueur d'écoulement actuel du kori Mountséka est le résultat de la fonctionnalité progressive des écoulements. En effet, en 1986 l'écoulement du kori Mountséka se situait à la latitude du village de Bayzo. Cet écoulement a atteint progressivement le village de Mountséka en 1994, puis le village de Koujak en 1996.

En 2005 et 2006, l'écoulement du kori Mountséka, atteint le village de Dogon Tapki, Dadin Kowa et depuis 2007, l'écoulement du kori s'estompe à la latitude du village de Kolmay (Bouzou et al, 2009).

Ainsi, durant les trois années d'observation (2010 -2012), le kori Mountséka fonctionne sur le même tronçon, mais de façon irrégulière. A l'exception de l'année 2011 où l'écoulement s'est arrêté à Dadin kowa, le kori Mountséka coule jusqu' à la mare de Maïguizé, située entre le village de Kamrey et Kolmay.



Carte 14: situation actuelle de la progression du kori Mountséka

Cet écoulement commandé par les seuils naturels, est particulièrement complexé par ces derniers. Tout d'abord, il faut souligner que l'écoulement ou du moins la crue du kori Mountséka n'est pas événementielle. Ce que nous considérons comme crue à cet effet, est la période susceptible de donner le large plan d'eau continu. Cependant, cette situation nait lorsque la série de mares le long de l'axe principal s'interconnectent et donnent lieu au large et long plan d'eau de l'amont jusqu'à l'aval.

Le ruissellement de surface pendant la courte saison des pluies, est la seule source d'alimentation en eau des mares interdépendantes.

Retenons aussi que la période des hautes eaux est très aléatoire. A titre d'exemple en 2010, année humide au niveau de notre station, la crue a été observée le 9 septembre contrairement à 2011 où elle a été observée le 17 Août. Cette dernière crue était sectorielle du fait de la faiblesse des débits écoulés.

L'onde de cette crue est pour nous le premier facteur qui peut être à l'origine de la progression des écoulements de ce kori. Elle est exclusivement fonction de la pluviosité annuelle. A titre illustratif, la première lame atteint le village de Mountséka en fin de saison des pluies (Octobre 1994).

Pour considérer la date de la crue, ce nouveau pont-barrage (photo 15) est notre repère.



Photo 15: les hautes eaux du kori Mountséka en 2011

La leçon fondamentale tirée à ce niveau est la régression de la période des hautes eaux du kori. En plus, le kori Mountséka connaît sa plus grande progression pendant les années exceptionnellement pluvieuses.

L'interprétation préliminaire possible semble que la période de crue du kori Mountséka, est fonction des conditions suivantes :

- ❖ *L'écoulement du kori est fonction du régime hydrologique des mares au cours de l'année.*
- ❖ *Certes l'écoulement du kori est sans doute lié exclusivement au coefficient d'écoulement annuel mais aussi au coefficient de ruissellement mensuel.*
- ❖ *Le remplissage des mares est aussi lié à l'importance des maximums pluvieux générateurs d'un ruissellement important au cours de l'année.*
- ❖ *Et enfin l'écoulement du kori est fortement lié au l'évolution des charges sédimentaires déposées dans le kori.*

En effet, l'importance des apports colluvionnaires latéraux, semble être renforcer d'une part par l'irrégularité du bas fond, l'obstruction et l'installation des mares d'autre part. De ce fait, cette double dynamique favorise non seulement l'exhaussement du lit du kori à certains endroits, mais aussi la création des petits seuils et mouilles.

4-4 Le fonctionnement du kori Mountséka à travers la typologie des mares

Ce sont essentiellement des mares installées dans l'axe de drainage de la vallée fossile. Ces mares de bas fond (Desconnets et al, 1993) peuvent être déterminantes dans le processus de réalimentation de la nappe donc du bilan hydrologique et de la gestion des ressources en eau à l'échelle régionale.

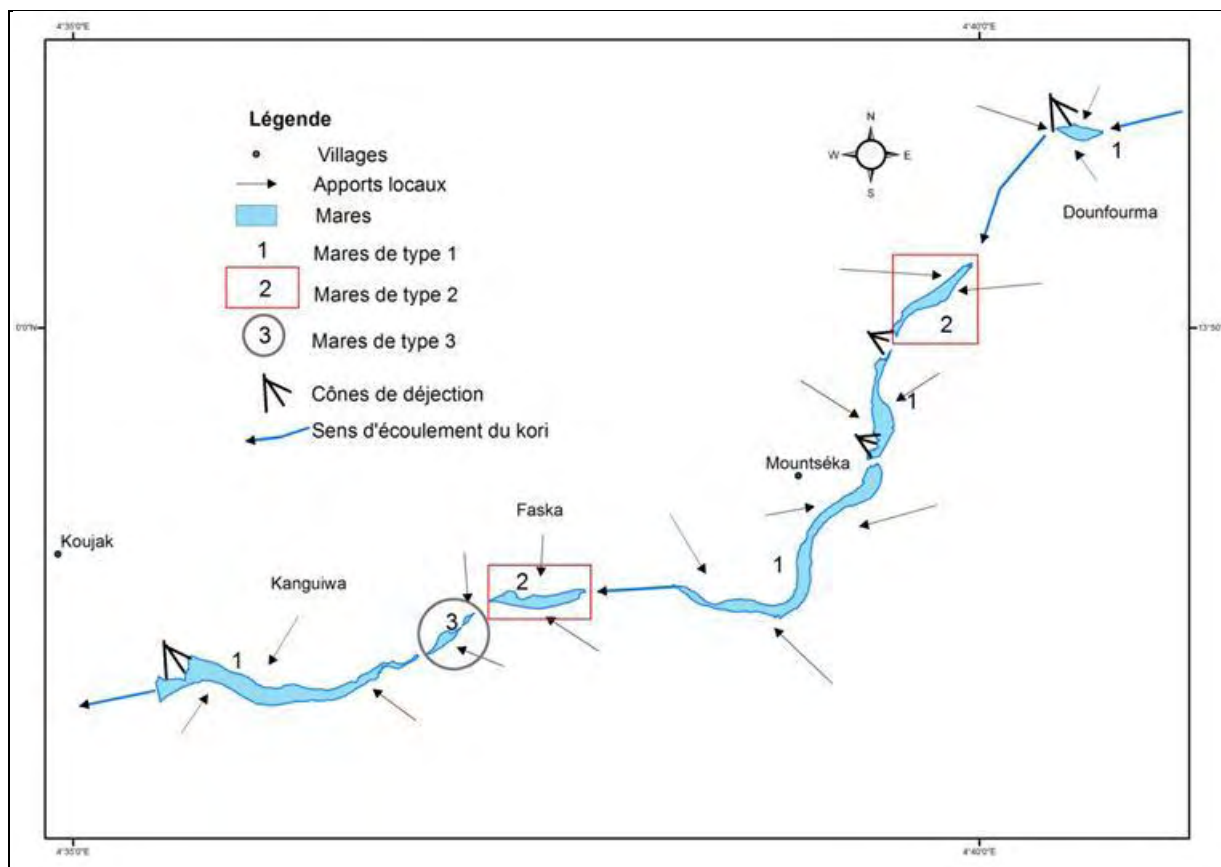
Le tableau 10 présente les superficies des mares sur un tronçon de 13,5 km entièrement dans la partie médiane du bassin versant de Mountséka. Cette situation est celle de juin (2011), c'est-à-dire au début de la saison des pluies. Après la saison des pluies toutes ces mares s'unissent pour donner le large écoulement du kori.

Tableau 10: répartition des superficies de mares permanentes et semi permanentes du tronçon Dounfourma à Koujak. (DF= Dounfourma ; M2= Mountséka ; KK= Kanguiwa-Koujak ; F3= Faska)

| Noms | N° de type | Superficies/ha |
|---------|------------|----------------|
| Mare_M3 | 2 | 9,32 |
| Mare_M1 | 1 | 11,32 |
| Mare_M2 | 1 | 31,23 |
| Mare_DF | 1 | 4,15 |
| Mare_F1 | 2 | 9,36 |
| Mare_F2 | 3 | 0,36 |
| Mare_F3 | 3 | 2,40 |
| Mare_KK | 1 | 36,86 |

L'observation directe a permis de classer de ces mares en fonction de leurs régimes et de leurs extensions. Nous distinguons à cet effet trois niveaux qui reçoivent dans un premier temps les apports du ruissellement local :

- **Les mares de type 1** : ce sont des mares très anciennes (d'avant 1990), lesquelles par suite de la reprise d'écoulement ont leurs volumes augmentés. Elles font de manière générale le cycle de l'année malgré le prélèvement pour l'alimentation du bétail, les besoins domestiques et l'irrigation.
- **Les mares de type 2** : celles-ci ont vu le jour suite à la dynamique actuelle du kori (après 1990). Elles sont de plus en plus permanentes avec aussi une assez bonne extension.
- **Les mares de type 3**: tout comme celles du 2^{ème} niveau, ces mares sont très récentes, et semi permanentes. Elles ont une superficie plus réduites que les précédentes (carte 15). Le remplissage de celles-ci est rapide surtout avec les premiers évènements pluvieux en début d'hivernage.



Carte 15: situation des mares de Doufourma à Koujak en Juin 2011

En dehors des apports du ruissellement de leurs systèmes endoréique (Desconnets et al, 1993) qui les alimentent, ces mares une fois remplies, s'interconnectent de manière suivante :

- ❖ dans un premier temps, les mares de type 3 se vidangent dans celles du 2^{ème} type, elles même dans celles du type 1.

Le déstockage de ces deux premiers niveaux se fait dans le sens inverse de l'écoulement du kori principal. En effet, les secteurs où ces trois niveaux sont remarquables sont caractérisés par des seuils naturels associés à des cônes de déjection.

Ce phénomène d'interconnexion de mares est observable pendant la période allant du début d'hivernage (Mai-Juin) jusqu'à Juillet lorsque les apports sont essentiellement locaux. Aussi cette période à l'avantage d'enregistrer des maximums pluvieux sources d'un ruissellement important.

- ❖ Dans un deuxième temps, il faut attendre que les mares de type 1 (plus encaissées et plus étendues) se remplissent pour qu'il y ait interconnexion de toutes les mares afin de produire l'écoulement du kori Mounséka, entendu par-là : **la crue**.

Ainsi, la reprise d'écoulement du kori Mountséka par coalescence de mares, traduit-elle la fin d'endoréisme au Niger central ?

4-5 Le rôle des cônes alluviaux dans la création et la disparition de mares

D'importants cônes de déjection s'observent actuellement dans le fond du kori principal de Mountséka. La présence des cônes alluviaux à l'exutoire, est un véritable signe de dégradation des bassins versants. Cet état de fait est ainsi à corrélérer avec les multiples mares qui se succèdent. Les cônes alluviaux contribuent à la disparition des mares à travers l'ensablement d'une part. D'autre part, ces édifices constituent des seuils tendant à morceler ou à individualiser des mares. La dynamique actuelle des vallées sèches se caractérise pour l'essentiel suivant cette configuration dans leurs fonds.

Les **cônes alluviaux ou cônes de déjection**, sont des corps sédimentaires de l'ordre du kilomètre en forme d'éventail déposés en milieu continental. C'est une forme d'accumulation dont la surface à l'aspect d'un segment de cône qui s'élargie vers l'aval (Baali et al, 1996).

Les sédiments constitutifs sont disposés en bancs d'épaisseurs variables, traduisant ainsi la dynamique d'écoulement du cours d'eau. En outre, notons que ces microformes sont azonales (Salomon, 2007) et sont caractéristiques des cours d'eau de forte énergie.

Les variations du débit et de la charge du cours d'eau seraient les principaux facteurs à l'origine des cônes de déjection. L'accumulation sédimentaire des cônes résulte des crues fréquentes et intenses qui fournissent des sédiments abondants.

Cependant, les cônes alluviaux sont aussi continuellement remaniés en fonction des conditions climatiques. Le climat est alors le principal facteur de contrôle de la dynamique des cônes alluviaux.

L'augmentation tout comme la rétraction des sédiments sur les cônes se justifie selon Ballandras, (2002) par une combinaison de plusieurs facteurs parmi lesquels :

- ✓ le climat à travers l'intensité et la fréquence des crues qui fournissent l'essentiel de la charge solide ;
- ✓ l'homme par ses actions de défrichement plus ou moins prononcé des bassins versants avec pour conséquence l'accroissement et l'efficacité des crues liquides.

A travers les processus de dépôt et de surcreusement, processus qui sont la règle au niveau des cônes alluviaux, les cônes contribuent à l'exhaussement des lits des cours d'eau et à l'ensablement des fonds de mares.

Par ailleurs les cônes alluviaux constituent des lieux privilégiés de stockage de l'information concernant l'évolution de leur bassin versant. Peu étudiés, ces formes dynamiques présentent un risque naturel puisqu'ils évoluent principalement lors de pluies diluviennes (Caron, 2009).

Ainsi, quelques cônes de déjection ont été suivis (tableau 11) avant et après la saison des pluies afin de mieux comprendre leur évolution.

Tableau 11: caractéristiques des cônes suivis

| Cônes | Pentes (%) | Surface (m²) | Longueur (m) |
|------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|
| Koujak | 0,93 | 63 219,04 | 207, 6 |
| Tozo | 0,81 | 9 329,98 | 112,29 |
| Doufourma | 0,04 | 18 002,07 | 99,85 |

Les caractéristiques présentées dans le tableau 11 illustre que, le cône koujak est le plus important du secteur. Parmi ces caractéristiques, la surface est l'un des paramètres de leurs différenciations. Celle-ci dépend fortement de la largeur disponible dans le fond de la vallée principale (Salomon, 2007). La pente quant à elle renseigne sur la nature granulométrique des sédiments déposés sur le cône alluvial.

4-6 La dynamique des cônes alluviaux et du fond du kori

4-6-1 L'évolution des cônes alluviaux

Au cours de l'année 2011 et 2012, des levés topographiques ont été effectuées sur trois (3) cônes alluviaux précédemment présentés. En effet, ces cônes (figures ci-dessous) sont alimentés par des koris d'importance variable présentés dans le chapitre 2.

Ces koris évoluent sans cesse suivant les caractéristiques du climat actuel. Ils sont les principaux pourvoyeurs des sédiments à l'ensablement des mares et l'exhaussement des lits des cours d'eau.

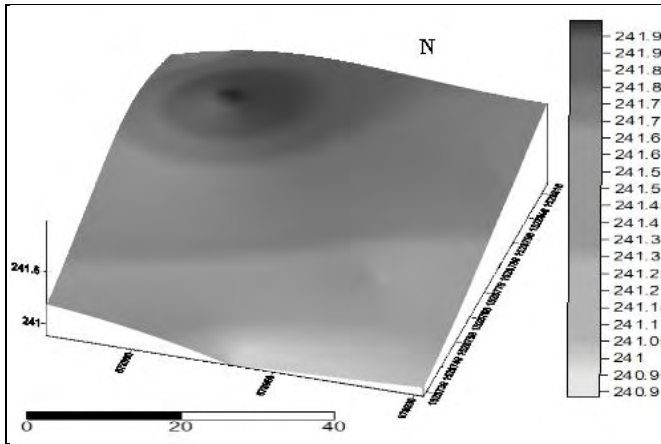


Figure 21: MNT du cône du Kori Tozo en Mars 2011

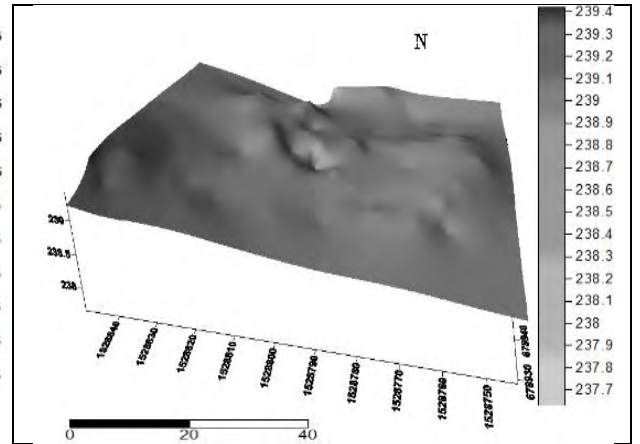


Figure 22: MNT du cône du Kori Tozo en Mars 2012

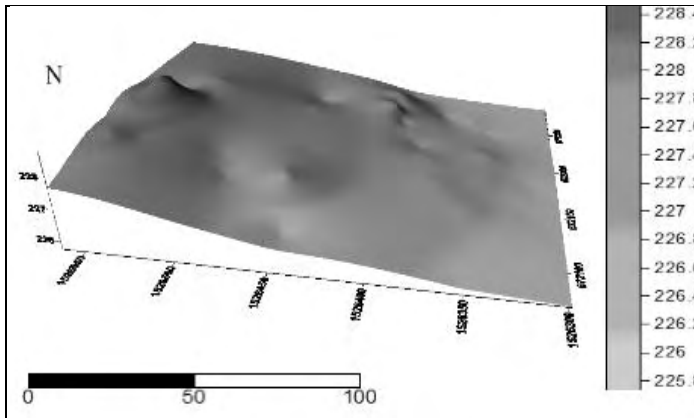


Figure 23: MNT du cône koujak en Mars 2011

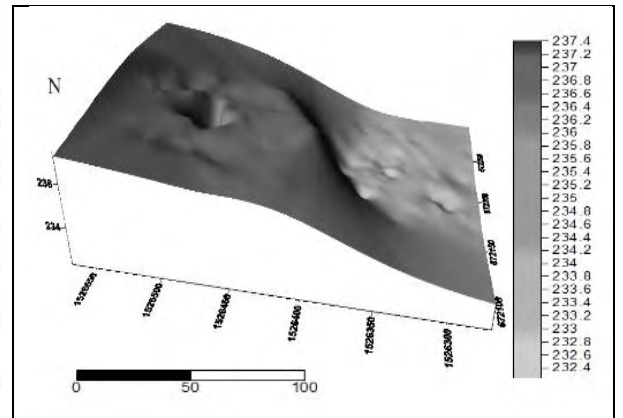


Figure 24 : MNT du cône koujak Mars 2012

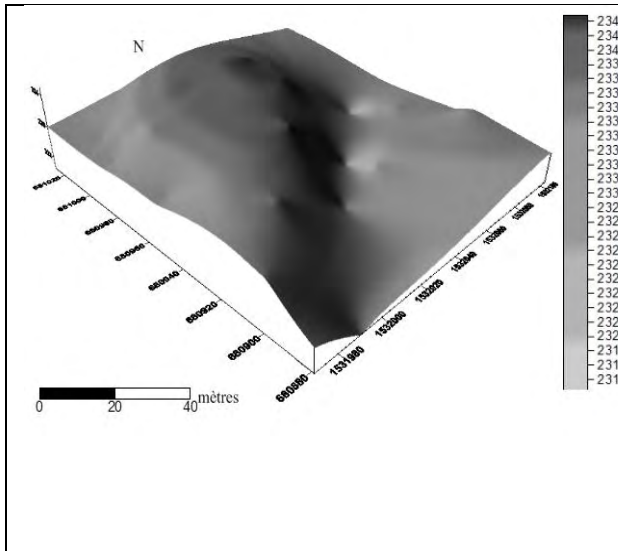


Figure 25: MNT du cône Dounfourma en Mars 2011

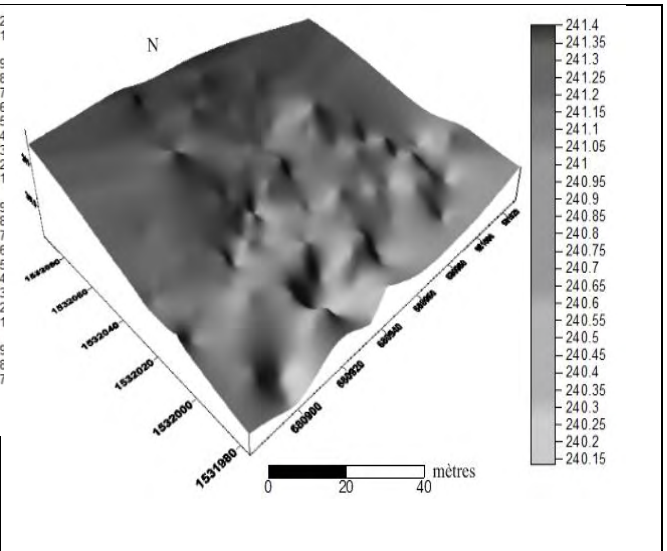


Figure 26: MNT du cône Dounfourma en Mars 2012

Les résultats de l'analyse topographique montrent qu'une importante charge sédimentaire a été déposée sur tous les cônes à l'exception de Dounfourma au cours de l'année 2011-2012 (tableau 12).

Tableau 12: évolution des charges sédimentaire entre 2011 et 2012

| Cônes | Volumes (m ³) | | Bilan sédimentaire (m ³) |
|------------|---------------------------|-------------|--------------------------------------|
| | 2011 | 2012 | |
| Koujak | 12924390.41 | 14845388.80 | 1920998.40 |
| Tozo | 1661183.29 | 2226180.37 | 564997.08 |
| Dourfourma | 4624172.67 | 4334454.77 | -289717.90 |

Le bilan sédimentaire est obtenu en faisant la différence entre les deux situations (Mars 2011 et Mars 2012) sur chaque cône.

Entre les deux périodes, le volume sédimentaire déposé sur le cône du kori Tozo s'élève à 564997.08 m³. Le plus important dépôt s'observe sur le cône koujak avec 1920998.40 m³. Ces bilans sédimentaires positifs illustrent la vigueur de ces deux koris.

Contrairement à ces deux derniers, le cône Dounfourma a enregistré un déficit sédimentaire au cours de la même période.

L'évolution sédimentaire de ces cônes alluviaux tient à la grande contribution des berges des koris dans la production des sédiments (Mamadou, 2012). Ces berges sont le plus souvent dépourvues de fourrés ripicoles sur presque toute la zone intermédiaire et aval des koris. C'est également dans ces secteurs que s'observe un important le recul des berges. La présence d'un fourré ripicole assez fourni le long du kori du cône Dounfourma explique le déficit sédimentaire.

Les fourrés ripicoles assurent la régulation de la vitesse d'écoulement et la stabilité des berges. Les observations du terrain nous ont permis de constater le rôle de cette unité d'occupation des sols.



Photo 16: type du fourré ripicole le long d'un petit kori sur le bassin versant de Mountséka.

La photo 16, illustre la fonction des fourrés ripicoles. Ainsi, on peut observer sur la rive droite de ce kori une certaine irrégularité du fourré qui s'accompagne d'un dégagement et d'une instabilité de la berge. Par contre, la présence du fourré ripicole fourni sur la berge gauche assure ainsi sa protection.

Les sédiments charriés par les koris sont déposés sur les cônes alluviaux, où ils contribuent peu à peu l'ensablement des mares et à la surélévation du lit du kori.

4-6-2 La bathymétrie de quelque mares

Le long du kori Mountséka, deux mares de type 1 ont fait l'objet d'un suivi par bathymétrie. Sur une longueur de 3,28 km, ces mares ont été choisies d'une part par leur proximité et leur régime permanent et d'autre part parce qu'elles constituent la source d'approvisionnement en eau pour l'irrigation dans les jardins au bord du kori et les besoins domestiques.

La mare située au Nord du pont barrage reçoit des apports du kori Tozo qui se jette par son cône et aussi des apports d'amont. La mare au Sud du pont barrage quant à elle ne reçoit que peu d'apports latéraux.

Avant la saison des pluies (début juin), les profondeurs varient entre 0,7 à 2,1m avec une moyenne de 1,30m (carte 16A). Cette période est marquée par la faiblesse des profondeurs.

A certains endroits et surtout à la confluence des koris secondaires – kori principal, les cônes alluviaux sont bien dégagés (photo 17 et 18).



Photo 17 : lobe du cône alluvial bien dégagé dans le kori principal en juin

Photo 18: bancs alluviaux dans le fond du kori principal en juin

En fin de saison (fin octobre) les profondeurs varient entre 1,03 à 3,15m (photo 19) avec une moyenne de 2 m (carte 16B). Les cônes alluviaux sont sous l'eau et la navigation est possible sur un long tronçon à l'exception des secteurs de rétrécissement du lit.

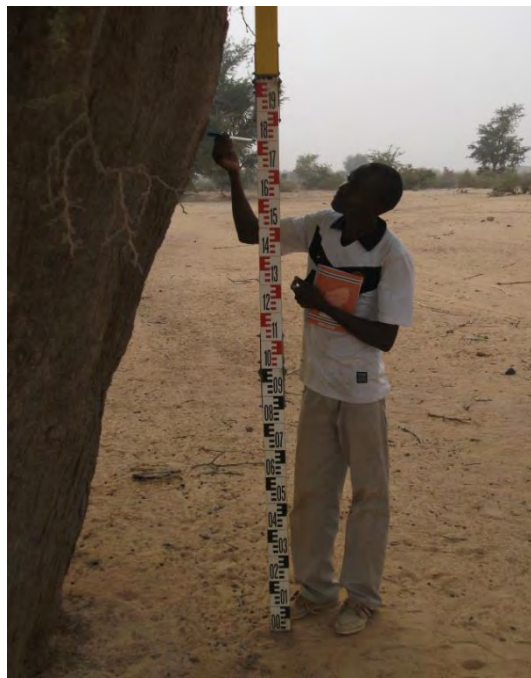
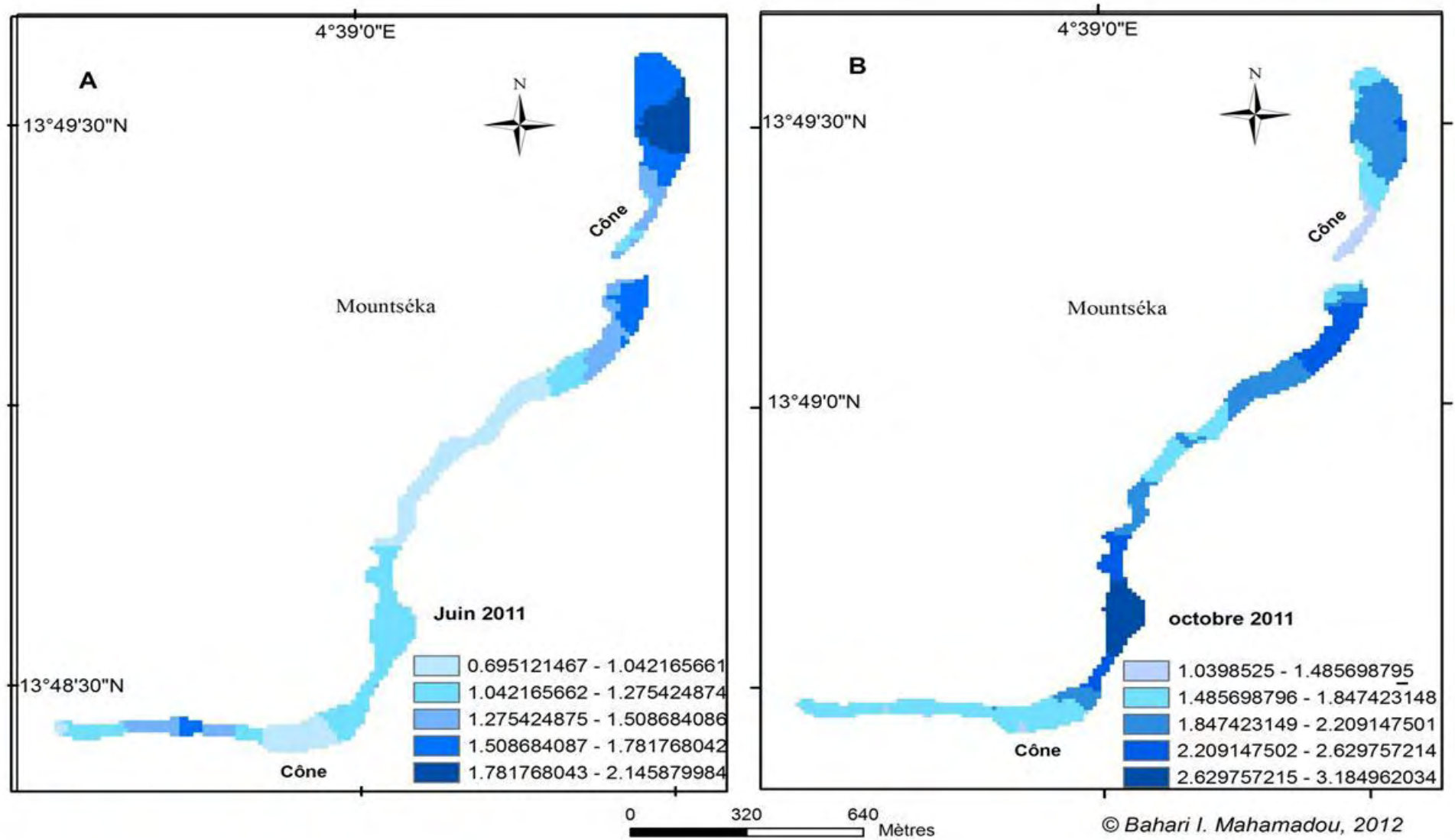


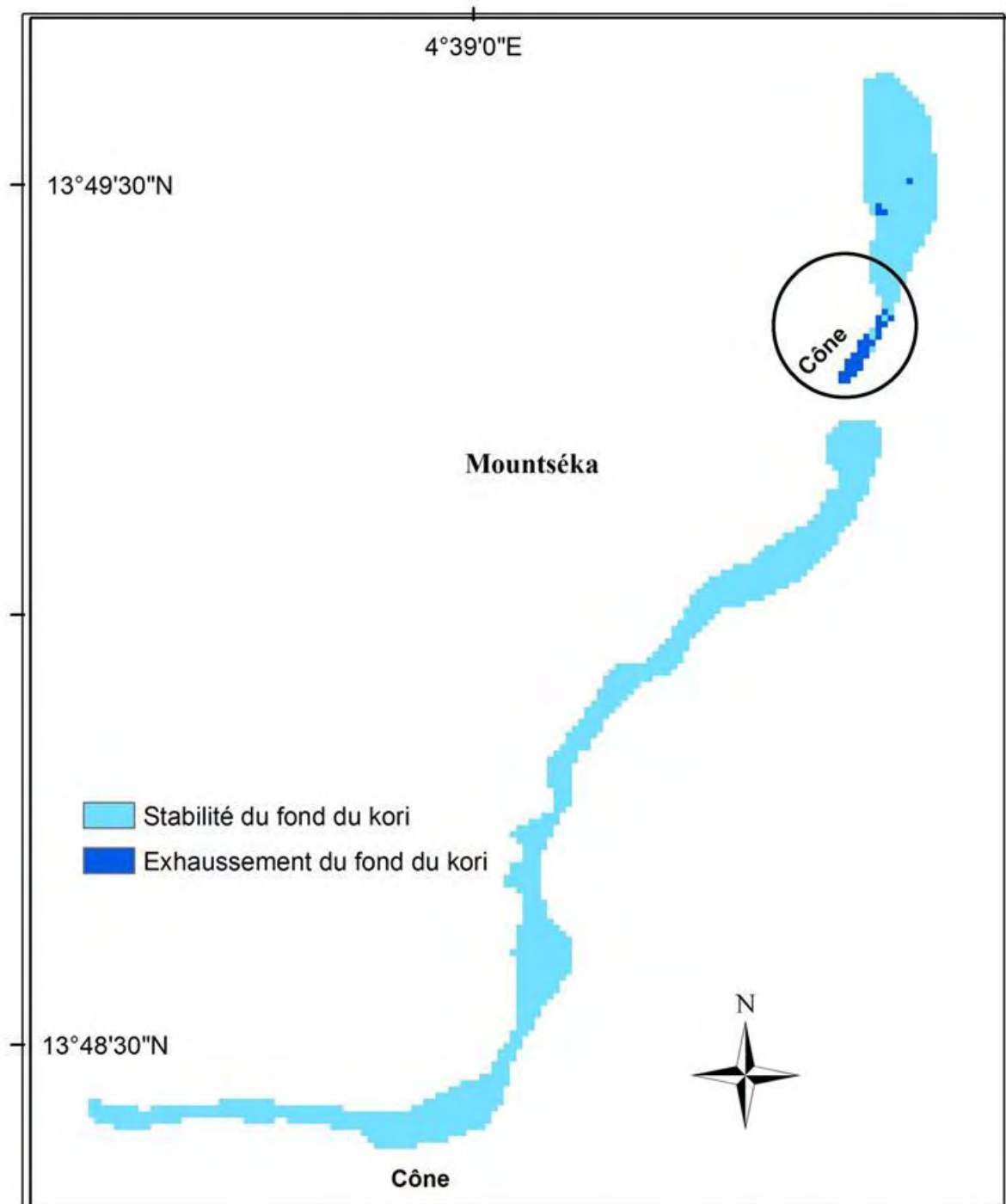
Photo 19: trace de la crue en 2010: 1,80m de profondeur dans un secteur rétrécie du kori principal, près du village de Mountséka



Carte 16: bathymétrie de deux mares sur un tronçon du Kori Moundséka : profondeurs en Juin(A) et en Octobre (B) 2011

4-6-3 Exhaussement du fond du kori

Les bilans sédimentaires positifs de ces quelques cônes, ont pour conséquence une accumulation des sédiments dans le lit des cours d'eau soit de façon ponctuelle ou uniforme.



© Bahari I. Mahamadou, 2012

Carte 17: ensablement des mares et exhaussement de leurs fonds

Cela se confirme grâce au croisement des deux couches bathymétriques du kori autour de Mountséka (carte 17). Les résultats révèlent le constat suivant :

- ❖ le cône du kori Tozo situé au Nord-Est du village Mountséka *s'est élargi dans le fond du kori Mountséka, occupant ainsi 0,45 ha* ;
- ❖ Cette progression correspond à *un volume sédimentaire de 400,25 m³ sur les 564997.08 m³ déposé sur le cône au cours de la même année* ;
- ❖ Ceci a entraîné *un exhaussement du talweg de 8,70 cm*.

Une telle dynamique hydro sédimentaire, a pour conséquence le comblement du lit du kori et aussi la modification des régimes des mares voire leur disparition complète. Cette dynamique actuelle autour du village de Mountséka à travers cet exemple, semble prévaloir dans la partie amont aux alentours d'Aléla où on assiste actuellement à la disparition des mares.

Nous pouvons ainsi dire que l'année 1994, marque la fin de l'exhaussement du lit dans la partie amont et le début dans le secteur médian.

Le kori Mountséka à travers ce contexte, est un exemple remarquable de dégradation fluviale et d'instabilité hydrographique dans le secteur amont et médian.

Le fonctionnement hydrogéomorphologique de ce type de cours d'eau, largement répandu au Sahel nigérien, pose une nouvelle problématique de la gestion des ressources naturelles. Il est de ce fait opportun d'agir le plus vite sur le bassin versant afin de réduire la production de sédiments.

La dynamique érosive actuelle est responsable de la disparition des mares et de la turbidité des eaux. Ce paramètre rend difficile l'exploitation rationnelle des eaux du kori.

Le modèle de fonctionnement hydrogéomorphologique des vallées sèches (figure 27) est régi par la dynamique de l'ensemble du bassin versant. A ce niveau la pluie et le couvert végétal constituent les facteurs clés. L'amélioration sensible des précipitations conjuguées à l'extension des sols nus suite à la saturation d'occupation du sol, ont occasionné une augmentation du ruissellement et une intense érosion.

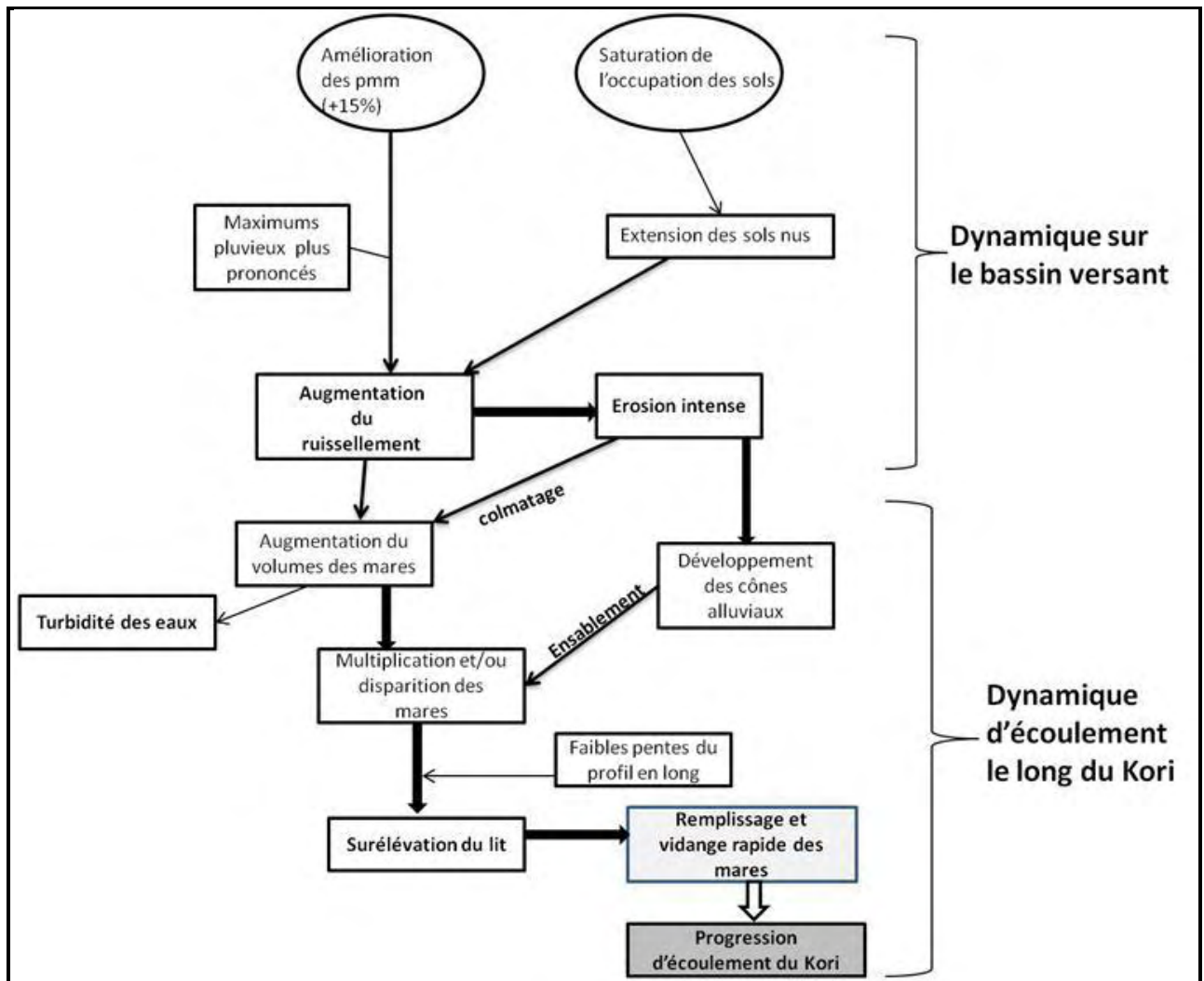


Figure 27: modèle de fonctionnement hydrogéomorphologique actuel des vallées sèches à travers l'exemple du kori Mountséka

Cette manifestation sur les versants se traduit dans le fond de la vallée par une augmentation du volume des mares et un développement des cônes alluviaux. Le colmatage des sédiments fins par érosion en nappe, a ainsi dégradé la qualité des eaux d'où leur forte turbidité.

A travers le processus d'ensablement, le développement des cônes alluviaux a entraîné la disparition des mares mais aussi a augmenté leur nombre.

La faiblesse des pentes du profil du kori combinée aux dépôts alluviaux a ainsi facilité un exhaussement du lit du kori principal.

Pour un secteur donné, la conséquence de tous ces processus est le remplissage mais aussi et surtout la vidange rapide des types de mares pendant les premières grandes pluies. L'importance des maximums pluvieux au cours de l'année et surtout en début de saison est très remarquable dans cette phase du fonctionnement hydrogéomorphologique. Le résultat final de toutes ces phases est la continuité des écoulements.

Ainsi convenons-nous avec Roussel et Luxereau (1997) de ce qu'ils ont qualifié de « *migration de mares* ». Ce déplacement des mares dans l'axe de drainage, est la résultante de la dynamique érosive actuelle à travers les mouvements des koris et le développement des cônes alluviaux.

Ainsi, la dynamique des écoulements du kori Mountséka et des mares en particulier est concomitante à la dynamique des cônes alluviaux.

4-7 Les scénarii possibles : la migration des mares ou la continuité des écoulements du kori Mountséka

Le contexte morphogénique qui se manifeste sur les versants ainsi que la dynamique d'écoulement actuel dans le bas fond, renvoie à élaborer quelques scénarii.

Retenons que :

- ❖ selon les projections climatiques pour le Sahel en général et le Niger en particulier, on assiste à une amélioration tout comme une baisse des précipitations (Abdou, 2008, Amoukou, 2009) ;
- ❖ la prolifération des surfaces dénudées suite à la disparition continue du couvert végétal et de l'encroûtement des surfaces cultivées ;
- ❖ à cela s'ajoute la fréquence des maximums pluvieux, peu nombreux mais qui font l'érosion annuelle.

Il faut s'attendre à une recrudescence de la dynamique érosive sur le bassin versant. Ce premier scénario aura comme suite, le développement des cônes alluviaux et l'exhaussement du fond du kori. Cela renforcera davantage le phénomène de « *migration de mares* ».

A cet effet, plusieurs mares vont disparaître dans le secteur médian, où la dynamique est encore active. Cependant, deux à trois mares seront encore permanentes du fait des aménagements (mare de Mountséka au sud du pont barrage), ou de la configuration du terrain (mare de Bayzo) et probablement la mare de Koujak. Cette dernière mare, reste encore très profonde dans sa partie centrale.

Un deuxième scénario est de déboucher sur une relative stabilité de la dynamique érosive et par conséquent des bilans sédimentaires négatifs des cônes alluviaux. Cette situation verra le retour de la période de crue c'est-à-dire en fin de saison (octobre) des pluies.

La réalisation de ce scénario, ne serait possible qu'avec un aménagement des principaux sous bassins versants tributaires dans la dynamique actuelle du kori Mountséka. L'indicateur en terme d'aménagement sur lequel il y a lieu d'agir est le maintien des berges à travers la reconstitution des fourrés ripicoles.

Conclusion partielle

Ce nouveau comportement hydrologique des cours d'eau des vallées sèches est une conséquence de l'héritage physique et des mutations socio écologiques auxquelles leurs bassins versants sont soumis. Ces mutations ont entraîné une évolution spectaculaire de l'occupation des sols, caractérisée par une extension des surfaces dénudées sur les bassins versants. Avec le nouveau régime des précipitations au Sahel et particulièrement au Sahel nigérien, ces cours d'eau endoréiques fonctionnent de manière sectorielle. Cette situation de plus en plus généralisée dans ce contexte de récente et forte variabilité climatique, entrave la circulation des biens et des personnes suite aux dommages que connaissent les infrastructures routières sous dimensionnées.

En plus, ce nouveau comportement des cours d'eau endoréique à l'avantage de donner des ressources en eau de surface de plus en plus disponibles mais aussi menacées d'ensablement à travers la dynamique érosive toujours active.

Les processus qui se produisent sur ces bassins versants méritent encore plus des études approfondies (perception paysanne) afin de concilier les besoins des populations et les types d'aménagements possibles des bassins versants.

Chapitre 5 : Ruissellement, érosion et lutte antiérosive dans le bassin versant de Mountséka

Ce chapitre présente les résultats de mesures de ruissellement et d'érosion effectuées pendant trois (3) ans sur parcelle expérimentale. Il rapporte aussi les résultats de la mise en pratique de la RUSLE sur le bassin versant de Mountséka. A travers ce modèle de prévision des risques de perte en terres, les terrains les plus exposés au danger d'érosion hydrique ont été localisés. Aussi, dans ce chapitre, des mesures antiérosives nécessaires ont été proposées afin de réduire les pertes en terre et rétablir l'équilibre écologique du bassin versant.

5-1 Présentation des parcelles expérimentales

Les mesures du ruissellement et d'érosion sont effectuées suivant un dispositif constitué de parcelles expérimentales. Elles sont installées sur le sous bassin versant du kori Tozo. Au total on dénombre quatre parcelles (avec une répétition) dont trois sont représentatives des types d'occupation du sol et des états de surface du bassin versant de Mountséka (tableau 13). La quatrième parcelle est de type standard. Celle-ci est régulièrement travaillée afin d'empêcher la formation de la croûte de battance.

Ce choix répond au souci de comparer le comportement de chaque parcelle à une même averse, mais aussi d'apprécier la contribution des principaux états de surface et type d'occupation dans la dynamique hydro érosive du bassin versant de Mountséka.

Toutes les parcelles présentent une faible teneur en argile, en matière organique et une proportion considérable de limons et de sables fins sur près d' $\frac{1}{4}$ des échantillons.

Cette caractéristique granulométrique des sols des parcelles atteste ainsi leur fragilité au processus du ruissellement et d'érosion. La pente au niveau des parcelles reste faible (2%) à laquelle s'ajoute un couvert végétal saisonnier sur les parcelles de mil et jachère. L'essentiel de cette végétation est composé d'un tapis herbacé.

Tableau 13: caractéristiques pédologiques des parcelles expérimentales

| Parcelles | Argiles(%) | Limons(%) | Sables fins(%) | Sables gros. (%) | MO (%) | Structure |
|--------------|------------|-----------|----------------|------------------|--------|-----------|
| Mil (P1) | 6,64 | 29,69 | 27 | 36,67 | 0,21 | massive |
| Jachère (P2) | 6,41 | 28,43 | 28 | 37,16 | 0,39 | massive |
| Sol nu (P3) | 6,05 | 25,77 | 32,12 | 36,06 | 0,16 | massive |

5-2 Le ruissellement et l'érosion sur parcelle

Le ruissellement est l'écoulement des eaux à la surface du sol (Nicolas, 2010). Il est aussi défini comme étant la fraction de pluie qui ne s'infiltré pas (Bouzou, 1988). En général, on distingue deux types de ruissellement :

- ❖ le ruissellement par refus d'infiltration suite à l'excès d'intensité de la pluie face à l'infiltration appelé également le ruissellement *hortonien* et
- ❖ le ruissellement par refus d'infiltration lié à la saturation de la surface du sol communément appelé le ruissellement *hewlettien*.

Le premier cas est typiquement observé sur les versants des régions arides et semi arides soumis au phénomène de battance (Nicolas, 2010).

Ce type a fait l'objet d'expérimentation dans une station installée depuis 2010. Cette expérimentation a pour but de mettre en évidence les effets de l'utilisation du sol et des pratiques culturales sur la production du ruissellement et au détachement des particules (Gauché, 2006).

La station est située sur un glacis où, le ruissellement caractéristique est en nappe, qui dure très peu autant que la pluie qui le génère. Il faut noter que le ruissellement diffus ne peut éroder que si le sol a été préalablement battu et que si les agrégats ont été détruits (Guillobez, 1990). Quant au ruissellement concentré dans les ravines et les koris, il est accidentel, brutal et/ou saisonnier.

L'érosion hydrique des sols s'effectue aussi en deux phases (Fox et al, 2006). La première phase s'effectue par le déplacement des particules préalablement séparées par la battance de la pluie (érosion pluviale). Celle-ci, est difficile à mesurer. La seconde phase se produit lorsque le ruissellement s'accumule, pour provoquer l'arrachement et le déplacement des sédiments. Ainsi, le terme érosion est utilisé au sens strict, tel que Roose (1981) l'a défini comme étant le flux de particules solides arrachées à la surface du sol en tonnes par hectare et par an, à travers le ruissellement, lequel constitue le flux liquide qui transporte ces particules.

Le ruissellement et l'érosion sont deux processus fortement influencés par la répartition des précipitations annuelles. Au cours des trois (3) années de mesure, nous avons enregistré une pluviométrie moyenne à excédentaire (2010), suivie d'une année sèche (2011) et une année excédentaire en 2012. Cette variation explique le comportement hydro érosif du bassin versant en général et de nos parcelles en particulier.

Sur toutes les parcelles, le KRAM est assez important (20 et 60%). Il est à souligner aussi que le K_{rmax} est compris entre 20 et 90% selon les états de surface et/ou type d'occupation du sol. Il survient lors des événements pluvieux supérieurs ou égaux à 20 mm au cours de la saison. Ces événements ont l'avantage d'engendrer des crues torrentielles et un ravinement intense.

Par ailleurs, notons que sur les sols des régions semi arides, le ruissellement dépend surtout de l'intensité de la pluie, de la lame précipité et de l'humidité des sols avant la pluie (Khalili et al, 2012). Seules les deux premières variables ont été déterminées à partir de nos mesures.

5-2-1 Pluie et intensité limite au ruissellement

Au cours des observations, il a été remarqué que toutes les pluies ne participent pas au ruissellement. Cependant, il existe une pluie-seuil au ruissellement. Cette pluie correspond à la quantité d'eau infiltrée ou accumulée en surface avant le déclenchement du ruissellement (Casenave et Valentin, 1989). Elle varie en fonction de l'état d'humectation initial du sol mais aussi du type d'occupation du sol et de la période au cours de la saison.

L'intensité limite du ruissellement quant à elle, est associée à un sol préalablement sec et correspond à l'intensité de la pluie au-delà de laquelle il y a toujours du ruissellement (Chevalier, 1982 cité par Mounirou, 2012).

La figure 28 illustre un exemple des conditions de ruissellement sur les sols nus. En effet, nous constatons que seulement 5 mm avec une intensité max de 11 mm/h suffisent pour générer un ruissellement sur la parcelle nue. Ces résultats corroborent aux travaux de Bouzou (1988), où ces conditions suffisent pour assurer le ruissellement et l'érosion dans l'Adar. Aussi, dans l'ouest nigérien, Peugeot (1995) a observé une intensité 7mm/h et une pluie limite de 5mm sur la parcelle nue de plateau. Une intensité de 18mm/h avec 7 et 8mm suffisent pour que le ruissellement s'observe respectivement sur la jachère et la parcelle mil.

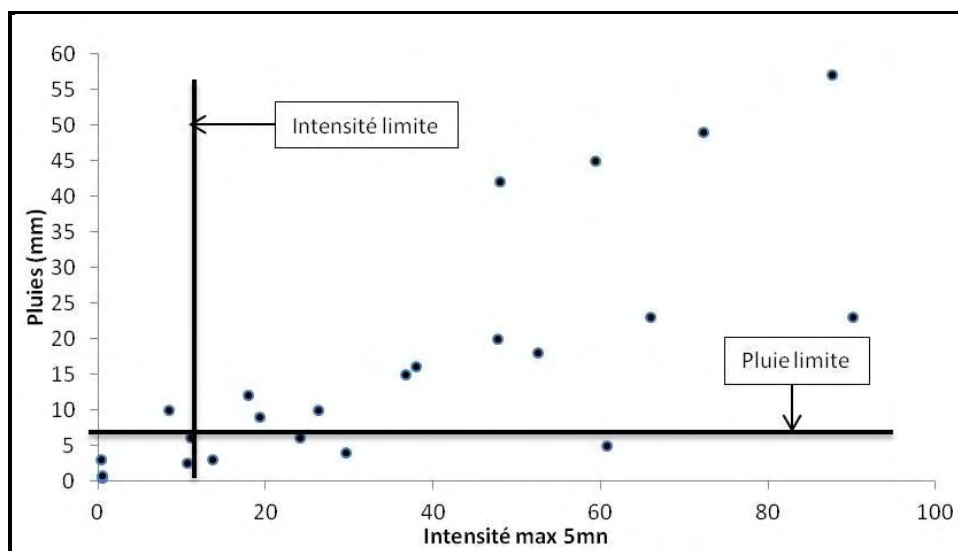


Figure 28 : pluie d'imbibition et intensité limite au ruissellement sur la parcelle nue

Sur les autres parcelles (culture, jachère...) de notre dispositif expérimental, le ruissellement s'observe sous une pluie et une intensité définies dans le tableau ci-dessous.

Tableau 14: intensité et pluie limite au ruissellement sur les parcelles à Mountséka

| Parcelles | Intensité limite (I_i) mm/ h au pas de 5mn | Pluie d'imbibition (P_i) mm |
|------------------|---|------------------------------------|
| Mil | 35,3 | 17,5 |
| Jachère | 16,9 | 11 |
| Croûte d'érosion | 11 | 5 à 6 |
| Standard | 26,4 | 10 |

L'intensité et la pluie limite au ruissellement sur les sols cultivés semblent les plus élevées. Celles-ci varient aussi au cours de la saison culturale.

5-2-2 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle cultivée

Sur la parcelle cultivée, le KRAM varie entre 13 et 17 % au cours de la période d'observation (2010 à 2012). Cette modeste contribution des terres cultivées au ruissellement, s'explique par la nature sableuse du sol qui exige les caractéristiques des pluies évoquées ci haut. A ce propos, Khalili et al (2012) nous rapportent dans une étude des sols cultivés qu'en début de pluie l'intensité des pluies doit dépasser le seuil de 45 mm/h pour engendrer un ruissellement. Tandis qu'après un labour cette valeur tourne autour de 65 mm/h.

Aussi, des études antérieures (Lamachère, 1991 ; Faran, 2000) ont montré aussi que les effets du sarclage augmentent l'infiltration au profit du ruissellement. Cependant nos observations révèlent que les effets du sarclage sont très temporaires. Cette situation confère aux sols cultivés un coefficient de ruissellement aussi important.

En effet, au cours de l'année 2010, sur 37 événements pluvieux enregistrés, 19% ont ruisselé sur la parcelle cultivée. Celle-ci a ruisselé un peu plus en 2011, avec 28% des 27 événements pluvieux.

De manière générale, le coefficient de ruissellement sur cette parcelle est médiocre en dépit de quelques pics observés (figure 29) lors des événements exceptionnels au cours de la saison.

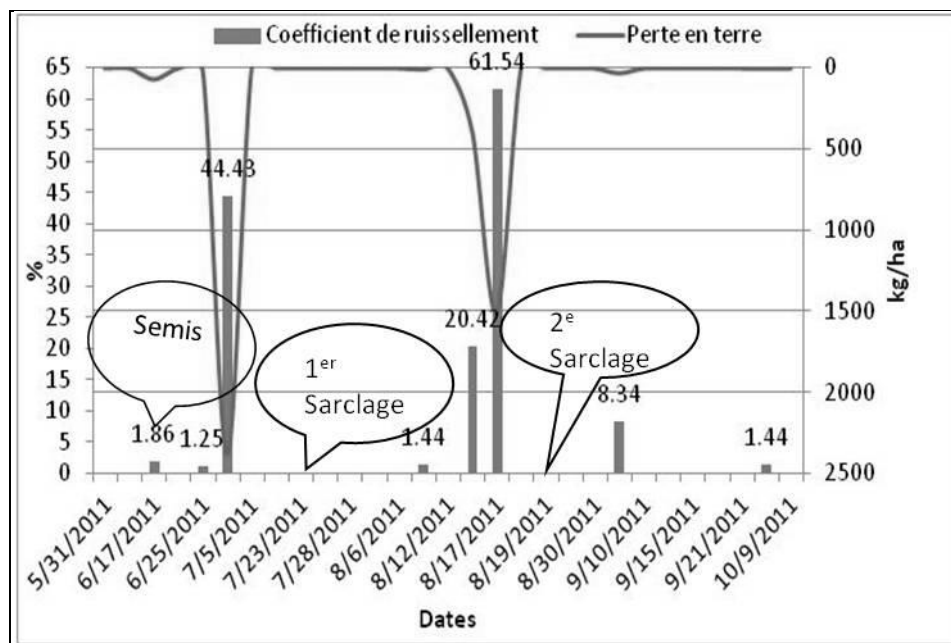


Figure 29 : coefficient de ruissellement et érosion sur la parcelle cultivée en 2011

La figure 29 montre que malgré le développement des plants et le premier sarclage, la parcelle cultivée continue de ruisseler. Cela s'observe en cas de pluie exceptionnellement forte. Celle-ci réduit la capacité de stockage d'eau du sol, et entraîne sa saturation rapide (Roose, 1994). Ainsi, le ruissellement pourrait augmenter sur la parcelle labourée au point d'emporter l'horizon travaillé (moins cohérent) dans les champs. Par exemple, pendant le mois d'Août, la parcelle cultivée a connu le Kr max de 61,54% enregistré le 17 Août 2011 (figure 29) consécutivement à une pluie du 15 Août, toutes de 49 mm. Cependant, après le 2^e sarclage cette parcelle ruisselle très peu.

De même les pertes en terre sur cette parcelle sont aussi négligeables et sont l'œuvre des pluies exceptionnelles et surtout en début de saison (figure 29). En effet, les forts taux de ruissellements n'occasionnent pas toujours de fortes pertes en terre en milieu cultivé (Boli et Roose, 1998). Sur cette parcelle, l'efficacité érosive du ruissellement est affaiblie par la grande infiltration des sols (Malan Abdou, 2007).

Les taux d'érosion sont élevés en début de saison jusqu'à 2380 kg/ha. Tout comme le ruissellement, les pertes en terres décroissent au fur et à mesure que la saison culturale se prolonge.

Ainsi, la figure 30 illustre une bonne corrélation entre le couple ruissellement-érosion sur la parcelle cultivée.

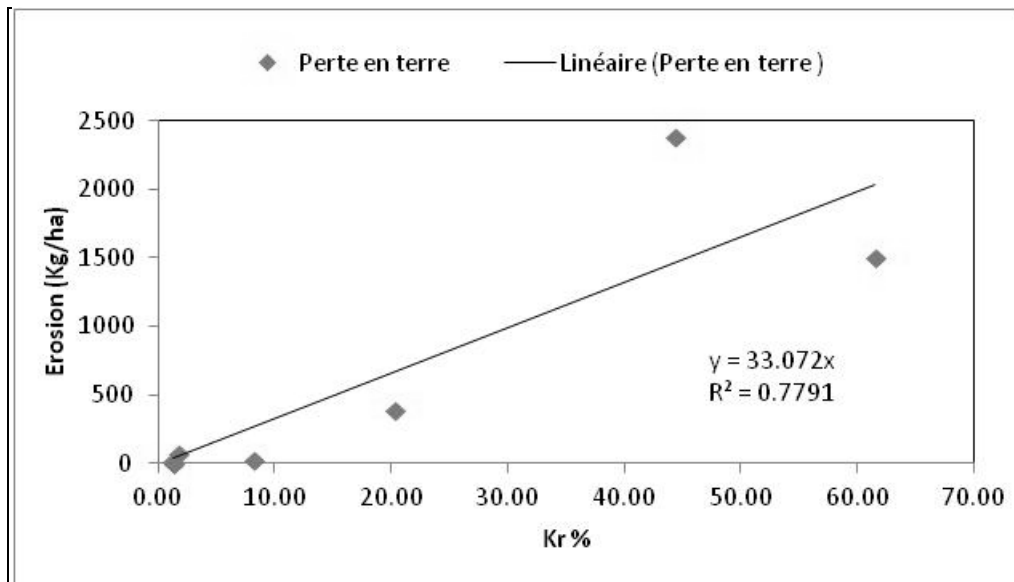


Figure 30: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle cultivée en 2011

5-2-3 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle mise en jachère

Sur la jachère aussi, le KRAM varie entre 21 et 25% au cours des observations. A l'échelle de l'évènement, les coefficients sont très importants (< 30%) pendant le mois d'Août. Cela est dû à l'importance des maximums pluvieux mais aussi au caractère rapproché des évènements pluvieux.

En ce sens, nous convenons avec Faran (2000), que le coefficient de ruissellement croît du début de l'hivernage jusqu'à la 2^e décennie du mois d'Août.

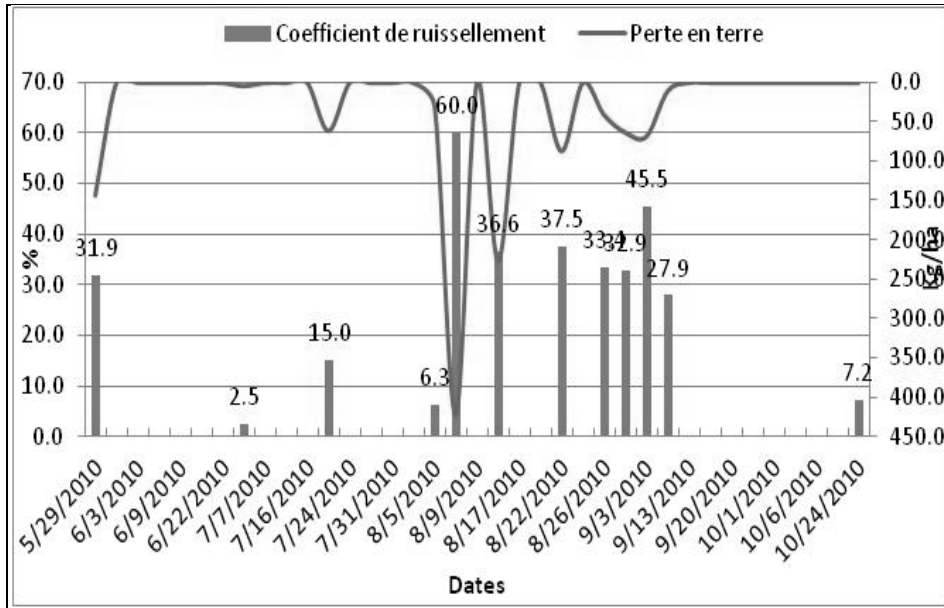


Figure 31: coefficient de ruissellement et érosion sur la jachère en 2010

Seulement les pertes en terre ne calquent pas cette augmentation du ruissellement. Ainsi, les pertes en terres sur les jachères la plus importante, s'élèvent à 422 kg/ha et se réduisent progressivement au cours de la saison (figure 31). Cette réduction est suite aux effets de la couverture herbacée estimée à près de 80% sur la parcelle après la 2^e décade du mois d'Août. En effet, il faut souligner que l'herbe protège plus que l'arbre contre le détachement des particules du sol. Cette interférence du tapis herbacée semble affaiblir la corrélation du couple ruissellement-érosion (figure 32) sur cette parcelle.

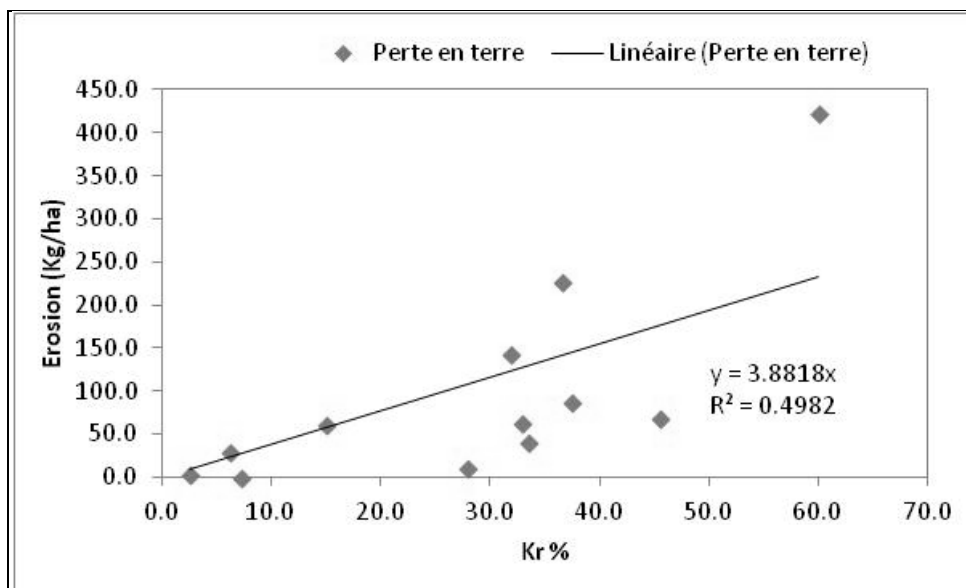


Figure 32: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle jachère en 2010

5-2-4 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle nue : la croûte d'érosion

La parcelle nue se caractérise par un faciès induré et peu filtrant. Cette caractéristique résulte du tassement du sol et de la fermeture des pores dus à la battance. Elle est la parcelle la plus ruisselante. Plus de 52% des pluies ont ruisselés avec des coefficients assez importants.

Le KRAM est plus fort sur les croûtes d'érosion quelle que soit l'année au cours de nos observations. Avec une moyenne autour de 60%, la parcelle nue ruisselle 3 fois plus que la parcelle cultivée et 2 fois plus que la jachère. A l'échelle de l'évènement, les coefficients de ruissellement sur les croûtes d'érosion sont très forts (figure 33). Le Kr max oscille entre 70 à près de 90% selon l'année. Ces valeurs proviennent surtout des évènements pluvieux dont la hauteur est supérieure ou égale à 20 mm.

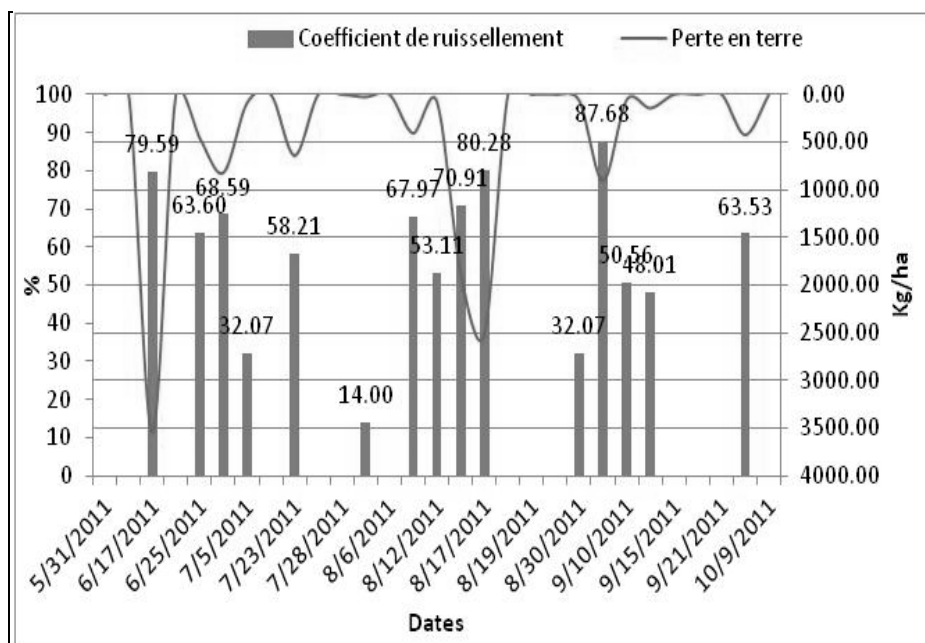


Figure 33: coefficient de ruissellement et érosion sur croûte d'érosion en 2011

Les pertes en terres sur cette parcelle sont de loin les plus élevées de toute l'expérimentation. Elles peuvent atteindre 3500 kg/ha par évènement (figure 33).

Certes, le ruissellement et l'érosion sont importants sur la parcelle nue, néanmoins, leur corrélation est relativement faible (figure 34). Cependant, les pertes en terres sont d'autant plus significatives avec les hauteurs des pluies où la corrélation est beaucoup plus acceptable ($r^2 = 0,77$).

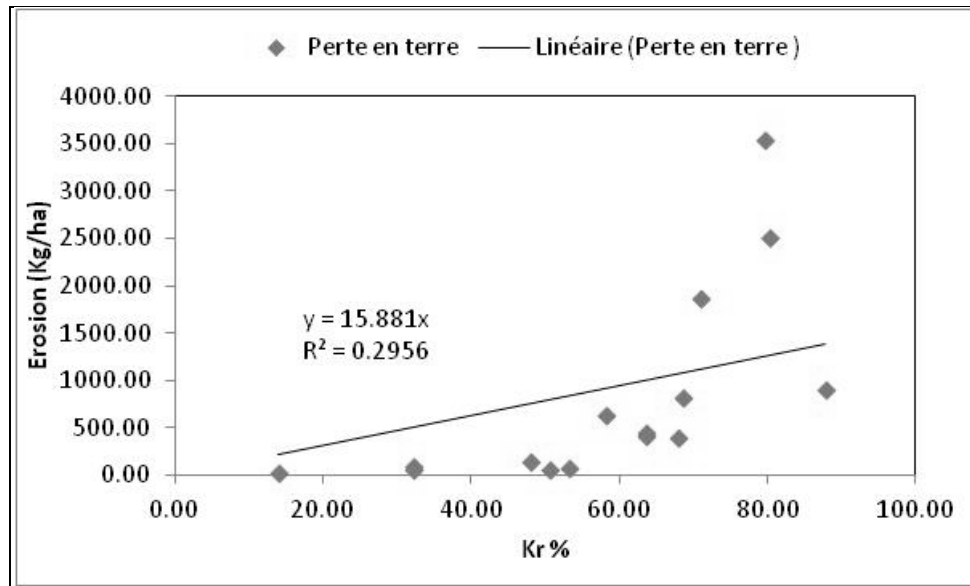


Figure 34: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle nue en 2011

5-2-5 Le ruissellement et l'érosion sur la parcelle standard : parcelle Wischmeier

Cette parcelle se distingue des précédentes. En effet, la parcelle nue standard ou parcelle de Wischmeier est régulièrement remuée après chaque évènement pluvieux. Ce traitement permettra de la maintenir nue mais aussi d'empêcher la formation de la croûte de battance. Du fait de ce traitement, cette parcelle ruisselle moins que la jachère et est comparable à la parcelle cultivée. Le KRAM, varie entre 12 et 24% au cours de la période d'observation.

Le Krmax peut atteindre 40 à 45% selon les évènements. Il est le plus souvent observé en début de saison lors des évènements exceptionnellement fort et pendant le mois d'Aout (figure 35). En effet, au cours de ce mois le sol est constamment humecté pour que même des pluies de faible quantité puissent ruisseler sur cette parcelle.

Les pertes en terres sont aussi importantes. Au cours de l'année 2010, la plus grande perte en terre s'élève à 3100 kg/ha suite à un évènement pluvieux de 103 mm enregistré le 10 Aout. Mais tout comme la parcelle cultivée, la parcelle standard dispose d'une capacité d'infiltration élevée. Cela entrave l'efficacité du ruissellement à éroder les sédiments plus incohérents. Ce comportement de la parcelle standard vis-à-vis du couple ruissellement-érosion définit leur faible corrélation observée (figure 36).

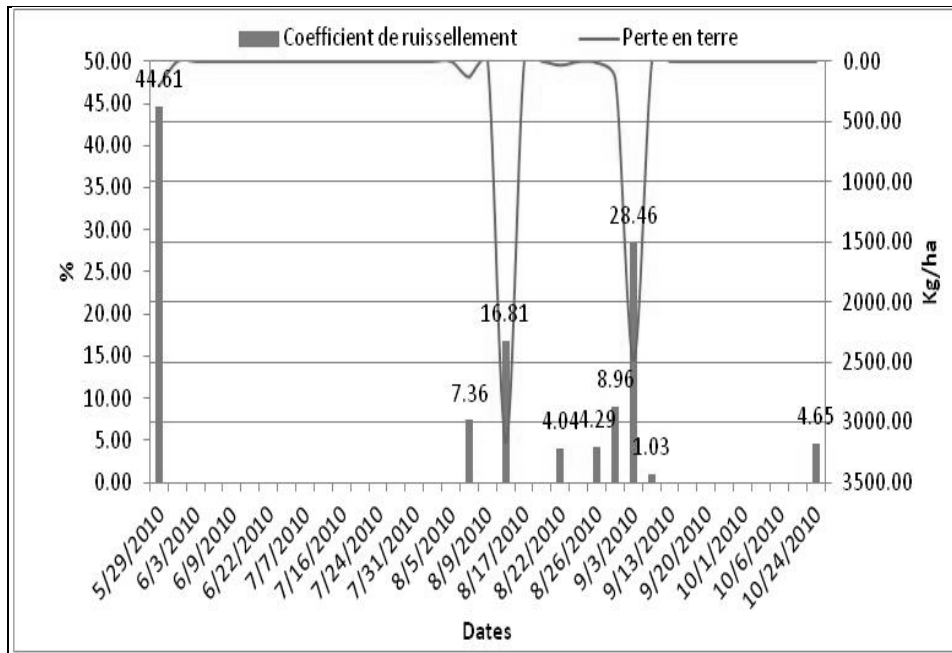


Figure 35: coefficient de ruissellement et érosion sur parcelle standard en 2010

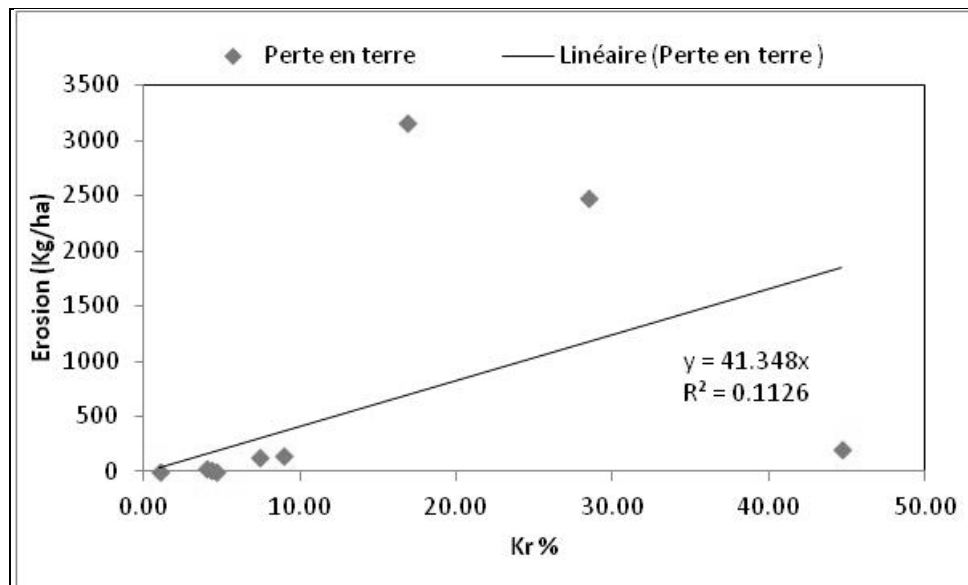


Figure 36: corrélation du couple ruissellement-érosion sur la parcelle standard en 2010

A l'exception de la parcelle cultivée, partout les forts ruissellements s'accompagnent d'une perte en terre considérable. Celle-ci est du reste inférieure à celle obtenue par d'autres travaux établis sous les mêmes états de surface (Malan Abdou, 2007 ; Moussa Noma, 2010 ; Abba, 2012).

En effet, en plus de la pluviosité, la pente des parcelles est un bon indicateur de différenciation du taux d'érosion. L'érosion est ainsi une fonction croissante avec l'inclinaison des versants (De Noni et al, 2001).

Notons que le ruissellement et l'érosion sont deux processus très liés. L'un étant la conséquence de l'autre. Cependant, les deux phénomènes ne sont pas au même niveau de complexité sur les différents états de surface (Boli et Roose, 1998). En effet, le ruissellement s'observe et reste vigoureux pratiquement tous les mois avec des maximums centrés en Août. Tandis que l'érosion perd sa virulence dès la mi-août comme c'est le cas observé par Roose (1967) au Sénégal. C'est pourquoi leur relation varie d'un état de surface à un autre au cours de la même année.

Tableau 15: synthèse des résultats du ruissellement et des pertes en terres de 2010 à 2012

| Etats de surface | Période d'observation | Kram (%) | Pertes en terres (t/ha/an) | Epaisseurs décapées (mm/ha) |
|-------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Mil | 2010 | 17,47 | 0,36 | 0,024 |
| | 2011 | 12,89 | 0,33 | 0,022 |
| | 2012 | 18,78 | 0,69 | 0,046 |
| Jachère | 2010 | 21,72 | 0,48 | 0,032 |
| | 2011 | 24,57 | 0,35 | 0,023 |
| | 2012 | 25,77 | 0,36 | 0,024 |
| Croûte ERO | 2010 | 58,55 | 1,21 | 0,08 |
| | 2011 | 57,67 | 0,88 | 0,05 |
| | 2012 | 58,50 | 1,01 | 0,067 |
| Standard | 2010 | 11,9 | 1,1 | 0,07 |
| | 2011 | 18,18 | 0,67 | 0,04 |
| | 2012 | 23,9 | 0,98 | 0,065 |

Globalement durant la période, les résultats de mesure du ruissellement et d'érosion sont simplifiés dans le tableau 15.

Ces résultats de l'érosion en nappe mesurée sur parcelle sont peu visibles à l'échelle de l'année. Cependant, l'effet cumulé de ce type d'érosion, entraîne la dégradation ou la

disparition de l'horizon humifère en quelques années. A cet effet, Roose, (1994) souligne qu'une perte en terre de 1,5 t/ha/an, correspond à 0,1 mm d'épaisseur du sol perdue.

Ainsi sur nos parcelles, de 2010 à 2012, une épaisseur totale de **0,175 mm** a été décapée sur la parcelle standard. Au cours de la même période **0,197 mm** ont disparu sur la croûte d'érosion. Quant à la parcelle cultivée et la jachère ont perdu respectivement **0,092 et 0,079 mm** d'épaisseur.

Ces valeurs cumulées bien que sensiblement faibles sont significatives car elles constituent les parts nutritives perdues des sols. La conséquence de ces pertes se matérialise soit par des plages claires aux endroits les plus décapés, soit par l'apparition des blocs en surface (Roose, 1994). Avec une telle dynamique, on assiste progressivement à des sols de plus en plus improductifs sur les versants.

Sans amélioration, on assistera à une perte d'**1mm/ha** de sol sur les croûtes d'érosion dans 15 ans. Dans les mêmes conditions, cette épaisseur sera perdue en 32 et 37 ans respectivement sur les cultures et les jachères.

5-3 L'érosion linéaire

Ce type d'érosion se produit à travers le ravinement. Le ravinement est un mécanisme d'incision des formations superficielles et des roches sous l'effet du ruissellement concentré. Il représente, par les matériaux qu'il produit, une source importante de sédiments dont la contribution peut être supérieure à celle de l'érosion aréolaire (Mathys et Poesen, 2005). Cette forme d'érosion est sans doute très fondamentale dans la dynamique érosive des bassins versants et le développement des cônes alluviaux.

Le tableau 16 présente le recul annuel de quelques ravines situées sur différents type de terrain dans la zone. En 2009 toutes les ravines ont évolué significativement avec des valeurs maximales sur les croûtes d'érosion. Tandis qu'en 2010, l'évolution des ravines fût perturbée à cause du changement intervenu dans l'occupation du sol. Parmi les perturbations constatées figurent, les champs de culture mis en jachère et des ramifications sur lesquelles nous n'avons pas pu déceler des évolutions conséquentes.

Tableau 16: évolution verticale des ravines de 2009 à 2011

| Occupation du sol | Jachère | | Croûte ERO | | Culture annuelle | | |
|--------------------------|----------------|------|-----------------------|----|-------------------------|-----|------|
| | R1 | R2 | R3 | R4 | Nr1 | Nr2 | Nr3 |
| Ravines | R1 | R2 | R3 | R4 | Nr1 | Nr2 | Nr3 |
| Recul 2009 (m) | 0,5 | 1,4 | 5 | 3 | 1,95 | 1,2 | 0,63 |
| Recul 2010 (m) | Inchangée | 1,5 | Ramifications | – | Ramifications | – | – |
| Recul 2011 (m) | 2,40 | 6,06 | 9,80 et ramifications | – | 2,18 | – | – |
| Moyenne | 0,96 | 2,98 | 4,93 | – | 1,37 | – | – |

Au cours de l'année 2011 des évolutions remarquables ont été observées. Le recul maximal, est centré au niveau de la ravine située sur la croûte d'érosion. En effet, la réduction du nombre des ravines suivies fait suite aux perturbations évoquées ci haut mais aussi à l'affleurement de la cuirasse au niveau de la R4.

Ainsi, au bout de trois (3) années de suivi, l'évolution régressive des ravines la plus importante s'observe au niveau des croûtes d'érosion avec une moyenne de près de 5 m/ an. Cette ravine (photo 20), dispose des caractéristiques présentées dans le tableau 17. Ensuite sur les jachères, les ravines ont une évolution annuelle moyenne de 1,97 m. Par ailleurs, la ravine située sur les terres cultivées a connu le recul le plus faible (1,37m/an), même si cette évolution est supérieure à celles des ravines situées sur le bassin versant de Boubon. Sur ce dernier, Moussa Noma, (2010) souligne un recul de tête de ravine en moyenne de 1.24 m/ an.



Photo 20 : une vue de la ravine R3 sur le sous bassin versant de Koujak

En plus de l'évolution régressive des ravines, l'érosion linéaire a été quantifiée sur la base du volume sédimentaire excavé à partir des caractéristiques moyennes de chaque ravine (tableau 17).

Les résultats expriment ainsi la vigueur et la contribution du ravinement dans la dynamique hydro érosive du bassin versant de Mountséka.

Tableau 17: synthèse d'érosion linéaire des ravines

| Ravines | Largeur moyenne (m) | Profondeur moyenne (m) | Recul annuel moyen (m) | Masses sédimentaires érodées (m³) | Pertes en terres (t/ha) |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--------------------------------|
| R1 | 0,90 | 1,60 | 0,96 | 1,38 | 1,80 |
| R2 | 2,10 | 0,25 | 2,98 | 1,56 | 2,03 |
| R3 | 1,25 | 2,05 | 4,93 | 12,63 | 16,42 |
| Nr1 | 1,55 | 1,18 | 1,37 | 2,51 | 3,26 |

La masse sédimentaire estimée varie de 1,38 à 12,63 m³. La ravine située sur la crête d'érosion (R4) figure la plus érosive. L'importance de la masse sédimentaire érodée par cette ravine s'explique d'une part par la nature de son état de surface mais aussi sa tête est la plus profonde. En effet, plus la tête de la ravine est profonde, plus la chute d'eau est importante et le recul s'accélère (communication personnelle Bouzou).

Les ravines situées sur les cultures et les jachères ont quant à elles aussi évidées des sédiments importants.

Sans les comparer, ces résultats bruts sont assez significatifs et illustrent la dynamique du ravinement sur le bassin versant du kori Mountséka.

5-4 La turbidité

La turbidité des rivières dépend des processus d'érosion qui se développent dans le bassin versant (Papasov, 1970). Elle est définie comme étant la teneur en MES transporté par un liquide. Les exploitants des eaux du kori Mountséka ont très tôt souligné la mauvaise qualité des eaux. En raison de cette augmentation des matières en suspension, des prélèvements d'eau après chaque évènement pluvieux à une profondeur de 20 cm ont été effectués.

Ainsi après traitement, il ressort que la concentration en charge solide est comprise entre 0,5 et 6,5 g/l en moyenne (**figure 37**).

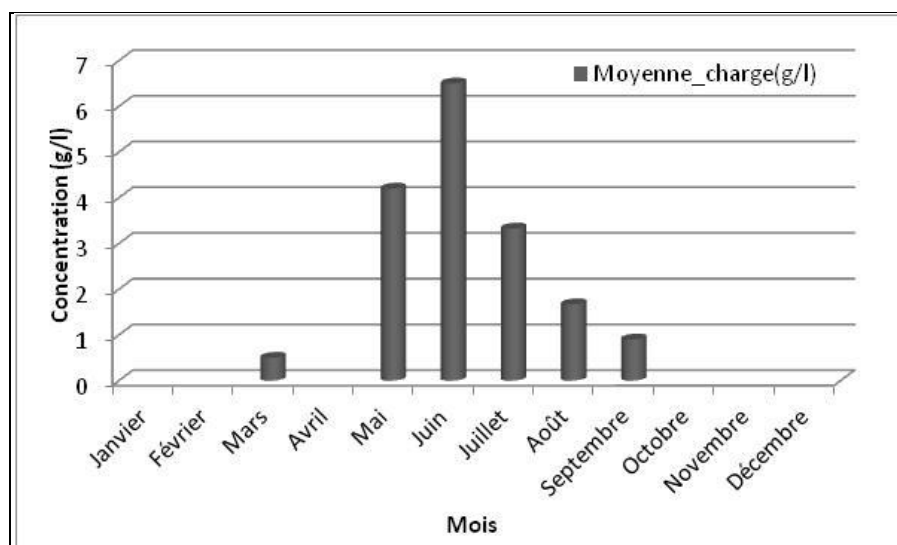


Figure 37: concentration moyenne des MES de 2010-2012

Cette turbidité varie en cours de saison. Elle constitue un bon indicateur en termes de dégradation spécifique du bassin versant. Elle est très élevée en Mai et Juin, avec respectivement 4 et 6,5 g/l. par la suite, elle décroît progressivement avec 0,8g/l au mois de septembre. Les fortes valeurs en début de saison s'expliquent par l'absence voire la faiblesse du couvert végétal mais aussi et surtout de la pression humaine sur des sols fragilisés.

L'importance de la couverture végétale rend compte de la faiblesse des MES au cours de la saison.

Ces résultats semblent très élevés par rapport aux valeurs de charge en suspension obtenues par Faran (2000) au cours de deux années de prélèvement sur les koris dans le Zarmaganda (tableau 18). Là aussi, la forte teneur des MES s'observe en juin et en juillet du fait de la nudité des versants.

Tableau 18: charge en suspension des koris dans le Zarmaganda (Source: Faran, 2000)

| | 1995 | 1996 |
|------------------|-------------|-------------|
| Juin | 0,33 | 0,36 |
| Juillet | 0,31 | 0,29 |
| Août | 0,20 | 0,22 |
| Septembre | 0,18 | 0,20 |

La forte turbidité des eaux du kori Mountséka constitue à cet effet un défi majeur pour toutes questions de mise en valeur des eaux. Cependant l'aménagement du bassin versant à travers des techniques antiérosive adaptées pourra rendre ces eaux plus exploitables et améliorer la diversité des cultures de contre saison dans la région.

A l'issue de cette analyse, il ressort qu'une importante érosion hydrique menace les sols du bassin versant du kori Mountséka. Celle-ci est la résultante du fort taux de ruissellement des états de surface dénudés. La manifestation des processus d'érosion au cours d'une année, se résume à seulement quelques évènements pluvieux de grande ampleur. Les résultats de l'érosion linéaire montrent que sur les mêmes conditions (états de surface, pente), cette dernière est plus importante dans la production des sédiments que l'érosion en nappe. Ainsi nous convenons avec plusieurs chercheurs (Mathys et Poesen, 2005) sur la contribution du ravinement dans la dynamique érosive des bassins versants malgré la faiblesse des références dans ce domaine. L'ensemble de la manifestation hydro érosive est à l'origine de la charge en suspension des eaux du kori.

5-5 La spatialisation de l'érosion : application de la RUSLE

5-5-1 Principe

La spatialisation de l'érosion est depuis quelques décennies une démarche onéreuse pour la mise en place des programmes de gestion intégrée et de protection des ressources naturelles. Cette démarche aussi simple et pratique grâce à l'utilisation des modèles de prévision s'applique à l'échelle régionale ou un pays entier (Van der Knijff et al, 2000 ; Khatouri, 2003 ; Morschel et Fox, 2004 ; Cheikha et Gueddari, 2008).

Ainsi, les résultats se présentent sous forme des cartes de répartition du risque d'érosion.

Le cas traité dans ce travail, est la mise en pratique du modèle de perte en terre mis aux points par Wischmeier et Smith (1958), modifié, puis révisé par Renard et al, (1997) : la RUSLE. Ce modèle de prévision de pertes en terre par excellence est basé sur cette expression mathématique, applicable aujourd'hui sous l'environnement SIG:

$$A = 2.24 [R. K. LS. C. P]$$

Chacune de ces variables représente un facteur prépondérant dans les pertes en terre. A l'origine, cette équation (USLE) est conçue pour tout simplement prédire l'érosion en nappe. Son utilisation de plus en plus grandissant, a vu la nécessité d'intégrer des indices afin de modifier certains des facteurs tenant compte de l'érosion linéaire (*gullies erosion*) ainsi que sa mise en pratique sur d'autres contrées de la planète.

L'application de ce modèle est une nécessité sur le bassin versant du kori Mountséka. En effet, ce bassin comme souligné ci-haut est soumis à une crise érosive.

5-5-2 La description des paramètres nécessaires à l'application de la RUSLE

Les facteurs analysés précédemment font l'objet d'une codification dans cette partie. En effet, les valeurs attribuées sont toutes calculées ou déduites à partir des études entreprises dans des conditions similaires à la zone d'étude. Ainsi, les facteurs sont en couche matricielle, c'est-à-dire présentant un caractère spatial.

5-5-2-1 La végétation et usage des sols

Les usages et l'occupation des sols sont représentés par le sous modèle C de l'équation. Le **facteur C** correspond ainsi au facteur de culture (végétation) et de gestion des sols en termes

de prévention des pertes de terre. Il est sans unité. Wischmeier et Smith, (1978) le considère comme étant le ratio de perte en terre sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en terre correspondante sur un terrain en jachère. En effet, l'indice C dépend principalement du pourcentage de couverture végétale et de la phase de croissance pour les plantes cultivées.

Dans la mesure où l'on parle de la couverture et de la biomasse, le NDVI est un bon indice de l'état du couvert végétal. Il est le plus utilisé en télédétection pour caractériser la biomasse à l'échelle de la région. Néanmoins, des raisons concourent à la faiblesse de cet indice pour remplacer le facteur C de la RUSLE :

- ❖ C'est un facteur de la RUSLE influencé par plusieurs variables (Renard et al, 1997 ; Wall, G.J. et al, 2002 ; USDA-ARS, 2008) telles que le travail précédant du sol, les résidus de cultures, la biomasse du sol, la rugosité du sol ainsi que l'humidité. Parmi toutes ces caractéristiques, le NDVI ne fournit que la biomasse vivante du sol.
- ❖ Les valeurs du facteur C sont toutes positives et varient de 0 à 1, tandis que celles du NDVI sont comprises entre -1 et 1 avec des valeurs faibles pour les sols nus. Ce qui est contraire à la notion de l'indice C.
- ❖ Dans les régions arides et semi-arides semi où la végétation est clairsemée, le NDVI pose le problème de précision dû à l'influence du sol (Huete, 1988 cité par Kefi et Yoshino, 2010).

Dans ses travaux, De Jong (1994 ; 1998) cité par Van der Knijff et al, (2000), a tenté de corrélérer l'indice C au NDVI à partir des images Landsat TM. Il ressort de ces travaux cette fonction linéaire :

$$C = 0.431 - 0.805 * NDVI$$

Cette fonction a un coefficient de corrélation de -0.64, ce qui illustre l'absence totale d'une liaison entre les deux indices.

Van der Knijff et al, (2000), souligne aussi que les valeurs de C issues de ce calcul sont faibles. En plus, cette fonction semble incapable de calculer les valeurs de C supérieures à 0.431. Ainsi, les sols nus dont l'indice C correspond à 1, ne sont pas pris en compte.

A la lumière de toutes ces insuffisances, malgré aussi toute sa qualité pour donner une indication de la présence ou non de la végétation, *l'utilisation du NDVI pour les études de l'érosion hydrique reste encore une problématique posée.*

Pour cette étude, l'indice C est déterminé de façon empirique (tableau 19). Des travaux établis en Afrique de l'Ouest (Roose, 1977 ; 1994 ; 1999), et ailleurs (Stone et Hilborn, 2000 ; Mushtak et Xiaoling, 2005) ont montré que les valeurs du facteur C varie en fonction de la

densité de la couverture végétale. Cette dernière, plus elle est dense, plus l'indice C prendra des valeurs faibles. C est égal à 1 sur un sol nu et à 0 sur sol entièrement couvert.

Tableau 19: répartition des valeurs moyennes de l'indice C sur le bassin versant

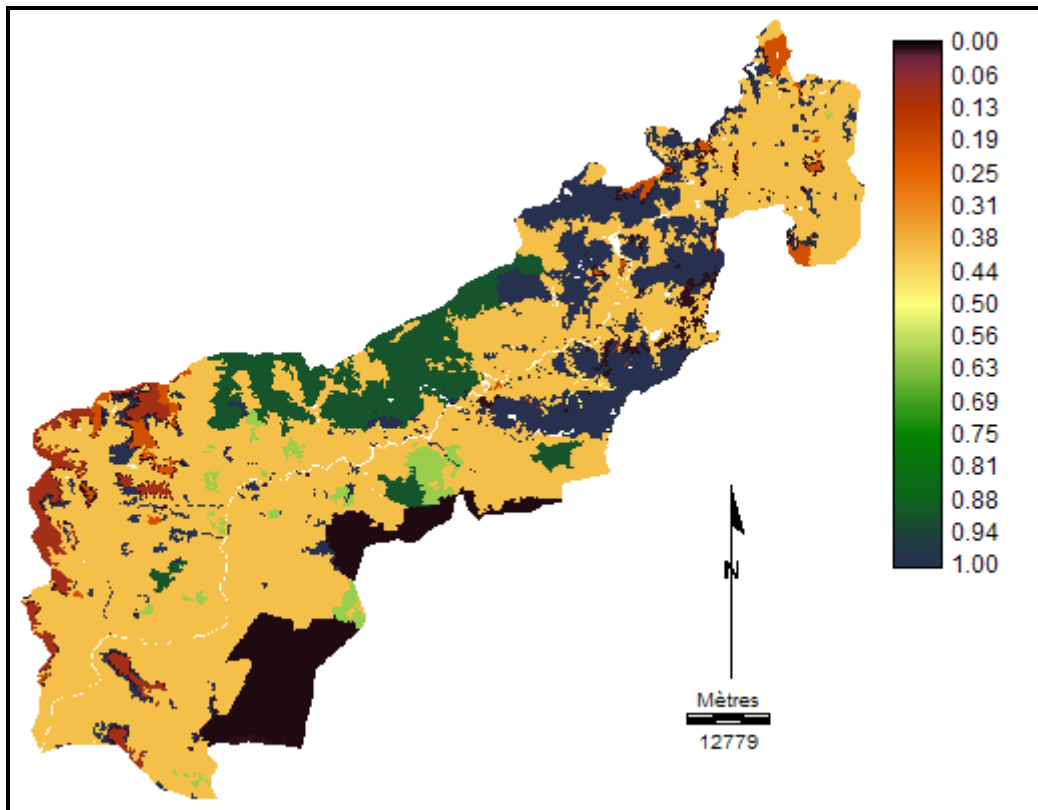
| Unités | Indice C | Unités | Indice C |
|--------------------------|----------|------------------------------|----------|
| Fourré régulier | 0,001 | Brousse tigrée très dégradée | 0,2 |
| Broussailles | 0,013 | Culture | 0,4 |
| Brousse tigrée régulière | 0,01 | Steppe dégradée | 0,6 |
| Fourré dégradé | 0,1 | Jachère | 0,6 |
| Steppe régulière | 0,01 | Steppe très dégradée | 0,9 |
| Brousse tigrée dégradée | 0,1 | Sols nus | 1 |
| Fourré très dégradé | 0,5 | | |

Ces valeurs proposées pour les différentes classes d'occupation et d'usages des sols du bassin versant du kori Mountséka tiennent pour une large part de leurs degrés de protection de la couverture du sol.

Sur la base des mêmes types d'occupation des sols Bouzou et al, (**soumis**), distinguent quatre (4) degrés de protection. Dans ce travail, ces degrés se structurent comme suit :

- ❖ **Fortement protecteur** : dans ce groupe, l'indice C est compris entre 0.001 à 0.013. Les unités d'occupation des sols sont constituées d'un couvert végétal relativement dense.
- ❖ **Moyennement protecteur** : cette classe associe des couverts dégradés avec un indice de 0.1
- ❖ **Peu protecteur** : les valeurs sont comprises entre 0.2 à 0.6. Il s'agit des formations végétales très ouvertes auxquelles s'ajoutent les terres cultivées.
- ❖ **Non protecteur** : cette classe quant à elle, est constituée des sols nus et affleurements rocheux, où le couvert végétal est souffreteux ou même inexistant. L'indice C a les valeurs les plus élevées.

Ainsi, la spatialisation du facteur C est effectuée sur le support le plus récent de ce travail (carte 18). L'imagerie satellitaire de la période 2010, a permis dans un premier temps de donner un aperçu de l'état d'occupation et des usages du sol actuel du bassin versant. Certes, tous les types d'occupation ne figurent pas à cause de l'état actuel du bassin versant néanmoins, elle favorisera la simulation en vue de tenter la reconstitution de certaines unités disparues sur le bassin versant.



Carte 18: répartition du facteur de protection et de gestion du sol

5-5-2-2 La topographie

Le **facteur topographique LS** de l'équation est obtenu à partir du MNT. Il est également sans unité et contribue de manière fondamentale dans la précision et la validité des résultats.

Le MNT utilisé dans ce travail a été téléchargé sur le site USGS (www.gdem.aster.ersdac.or.jp). Avec une résolution de 30m, ce MNT est assez apprécié pour caractériser l'altitude moyenne. En effet, cette résolution est aussi significative pour un terrain à l'image du bassin versant du kori Mountainséka, caractérisé par un relief faible dans son ensemble.

Le facteur LS représente un rapport des pertes de terre sous des conditions « standard » (pente de 9% et une longueur de 21.8 m). Il demeure le plus complexe des facteurs de la RUSLE. Sa détermination sous l'environnement SIG, a suscité plusieurs auteurs (Mitasva, et al, 1999 ; Ahiekpor, 2011 ; Mounirou, 2012) à appliquer des formules plus simplifiées tendant à extrapoler ou à uniformiser les pentes. Cette procédure n'est sans pas conséquence sur les résultats dans la mesure où, elle masque certaines caractéristiques topographiques du

paysage. Elle se limite tout simplement à évaluer l'influence du facteur topographique sur l'érosion des parcelles agricoles supposées homogènes.

Pour un bassin versant, où l'on distingue une diversité des unités topographiques, un effort doit être fourni afin de minimiser les marges d'erreurs dans les calculs.

Dans le cas précis, la pente et sa longueur sont évaluées séparément avec le maximum de rigueur, sur la base des relations établies par Wischmeier et Smith comme suit :

$$L = (\ell/21.8)^m$$

Où

L : facteur de l'équation

ℓ : est la longueur de la pente en mètre et

m : est une variable dépendante de la pente du terrain.

Cette variable intègre le rapport entre l'érosion en nappe et le ravinement et est déterminée sous cette expression :

$$m = \beta / (1 + \beta) \text{ ou } \beta = [(\sin(\theta) / 0.0896) / (3.0\sin(\theta)^{0.8} + 0.56)]$$

avec (θ) la pente exprimée en degré.

Les valeurs de cet exposant sont comprises entre 0 et 1 (USDA-ARS, 2008). Lorsque « m » s'approche de 0, l'érosion en nappe est plus importante. Par contre la valeur rapprochée de 1 indique l'influence du ravinement.

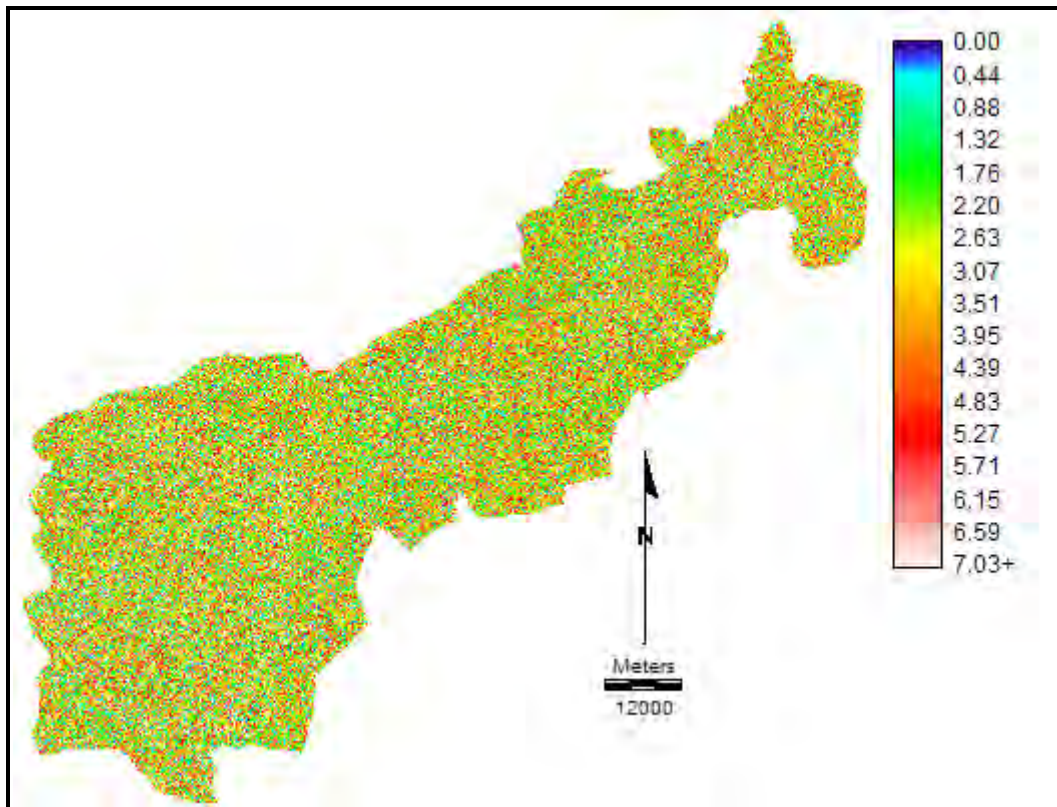
Quant à la pente S, elle est donnée par les expressions suivantes tout en tenant compte des pentes inférieures ou supérieures à l'inclinaison standard.

$$\text{Pour les pentes sont inférieures à 9\%, } S1 = 10.8 \sin(\theta) + 0.03$$

$$\text{Pour les pentes supérieures à 9\% } S2 = 16.8 \sin(\theta) - 0.5$$

Les deux sous-ensembles de S, sont ensuite additionnés pour englober les types de pentes à l'échelle du bassin versant.

Le facteur S est compris également entre 0 et 1. En effet, la valeur 1 correspond à la pente de 9% (USDA-ARS, 2008). Les pentes inférieures à 9% ont une valeur inférieure 1, tandis que les valeurs supérieures à 1 correspondent quant à elles aux pentes supérieures à l'inclinaison standard.



Carte 19: spatialisation du facteur topographique LS

Les deux sous modèles sont ensuite combinés pour donner le facteur LS de l'équation. Ainsi, plus le facteur LS est important, plus les risques d'érosion sont élevés. De manière générale, il varie de 0.1 à 5 et peut atteindre jusqu'à 20 en région de montagne (Roose, 1994).

A l'issue du calcul de l'indice LS sur le bassin versant du kori Mounséka, les résultats montrent le bassin versant du kori Mounséka est peu accidenté. Les valeurs de LS sont comprises entre 0 et 7. Celles-ci correspondent aux régions de plaine. Les classes comprises entre 2 et 6 de l'indice LS, occupent près de 80% du bassin versant, avec un maximum centré dans la classe 3 (carte 19).

5-5-2-3 L'érosivité des pluies

Le **facteur R** de l'équation représente l'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier. Il est égal au produit de l'énergie de la pluie par son intensité maximum en 30 minutes. Il est calculé pluie par pluie. Cet indice est exprimé en MJ.mm/ha.h.an.

Par ailleurs, le facteur R, a subi plusieurs reformulations afin d'intégrer certaines conditions bioclimatiques.

Deux des indices d'érosivité ont été retenus, parmi lesquels un servira aux calculs du risque d'érosion sur le bassin versant de Mountséka.

En effet, retenons que tous les indices traduisent la relation linéaire entre la hauteur des pluies et leurs énergies cinétiques. Ainsi, plus il pleut, plus les risques d'érosion sont élevés.

D'une part, les travaux de Roose (1977) en Afrique de l'Ouest, dégagent que sur dix années de mesure, l'indice R s'obtient sur la relation suivante :

$$\mathbf{Ram = P / 2}$$

Où P représente la précipitation moyenne annuelle sur dix ans.

Cette formule permet ainsi de calculer l'érosivité annuelle moyenne de façon satisfaisante sans aucun recours aux intensités. En zone tropicale sèche cet indice varie de 200 à 600 (Roose, 1981).

D'autre part, en s'appuyant sur les travaux de Fournier, Arnoldus a proposé depuis 1980 l'Indice de Fournier – Arnoldus (IFA) sous l'expression suivante :

$$\mathbf{(IFA) = \sum pi^2 / P}$$

Où pi est la précipitation mensuelle et P représente la pluviosité annuelle.

Cet indice est plus approximatif avec l'indice d'érosivité de Wischmeier avec lequel ils sont bien corrélés (Ferro et al, 1991).

Les résultats des calculs de ces deux indices sur les principaux postes pluviométriques du bassin versant du kori Mountséka (tableau 20), montrent que le potentiel érosif du climat augmente avec la pluviosité annuelle.

Tableau 20: indice d'érosivité des pluies sur le bassin versant du kori Mountséka

| Stations | Période | Pluviosité moyenne annuelle | Ram (Roose, 1977) | IFA (Arnoldus, 1980) |
|----------------------|------------|-----------------------------|-------------------|----------------------|
| Doutchi | 1961- 2010 | 448.94 | 224.47 | 88.93 |
| Birni N'konni | 1961- 2010 | 494.63 | 247.31 | 106.28 |
| Illéla | 1961- 1990 | 417.62 | 208.81 | 102.55 |
| Mountséka | 2007-2011 | 499.42 | 249.71 | 149.17 |
| Bayzo | 2007-2011 | 433.26 | 216.63 | 120.40 |

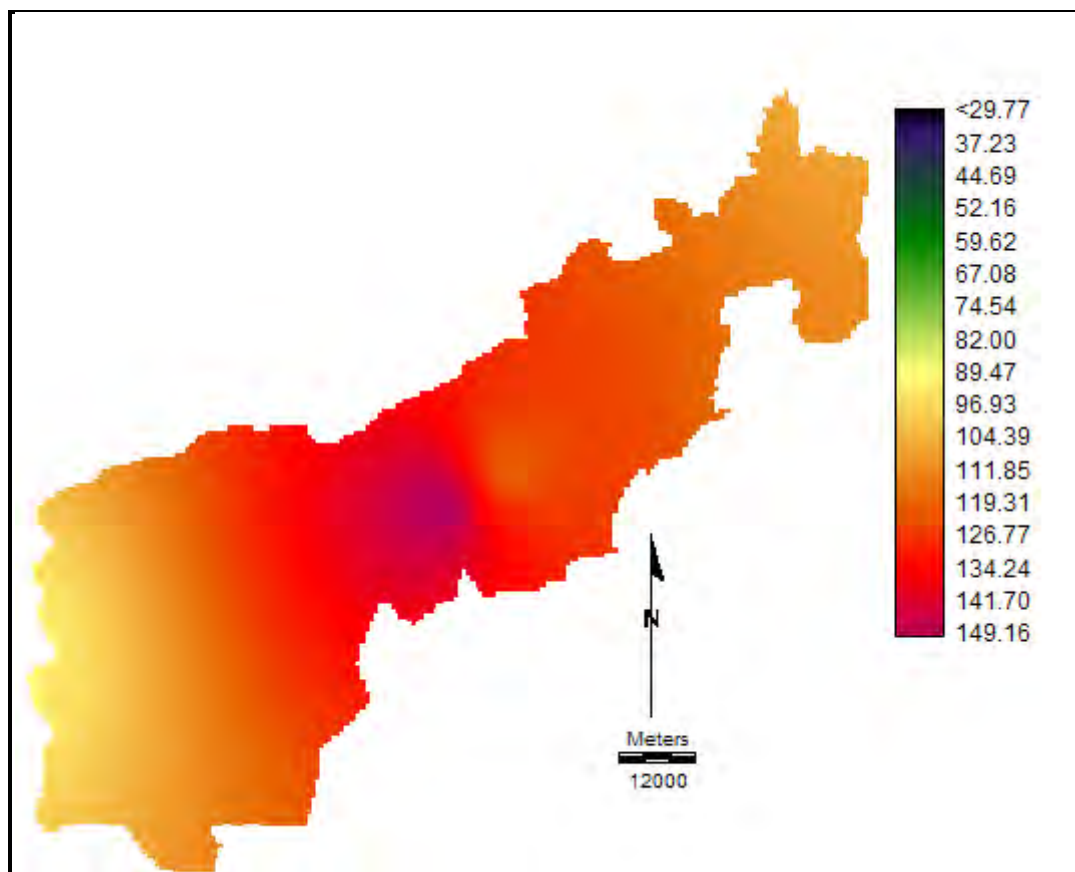
Le Ram est moyen sur l'ensemble des stations. Il est compris entre 208 points plus au Nord et Nord- Est à près de 250 points plus au Sud.

Selon les critères de classification de IFA, (Deyanira et al, 2005 ; Elbouqdaoui et al, 2005 ; 2006), toutes les stations pluviométriques de la zone d'étude ont un risque d'érosivité modéré à l'exception de la station de Douchi où l'indice est faible.

L'un dans l'autre, les deux indices paraissent satisfaisants. Certes le Ram est un bon indicateur de l'agressivité climatique, néanmoins, ces fortes valeurs nous obligent à adopter IFA dans les calculs du risque d'érosion.

Cet indice (IFA) donne non seulement une répartition mensuelle d'érosivité des pluies, mais aussi, il constitue un bon indice pour corrélérer les pertes en terre et la dégradation spécifique du bassin versant à travers la turbidité des eaux.

Grâce aux techniques d'interpolation fondées sur des méthodes géostatistiques communément appelées *krigeage*, l'indice R est spatialisé à l'échelle du bassin versant de Mountséka (carte 20). Cette technique permet ainsi de mesurer la corrélation entre des données liées à l'espace et donc prédire des valeurs de points non renseignés. (Joliveau 2003 cité par Renaud, 2004).



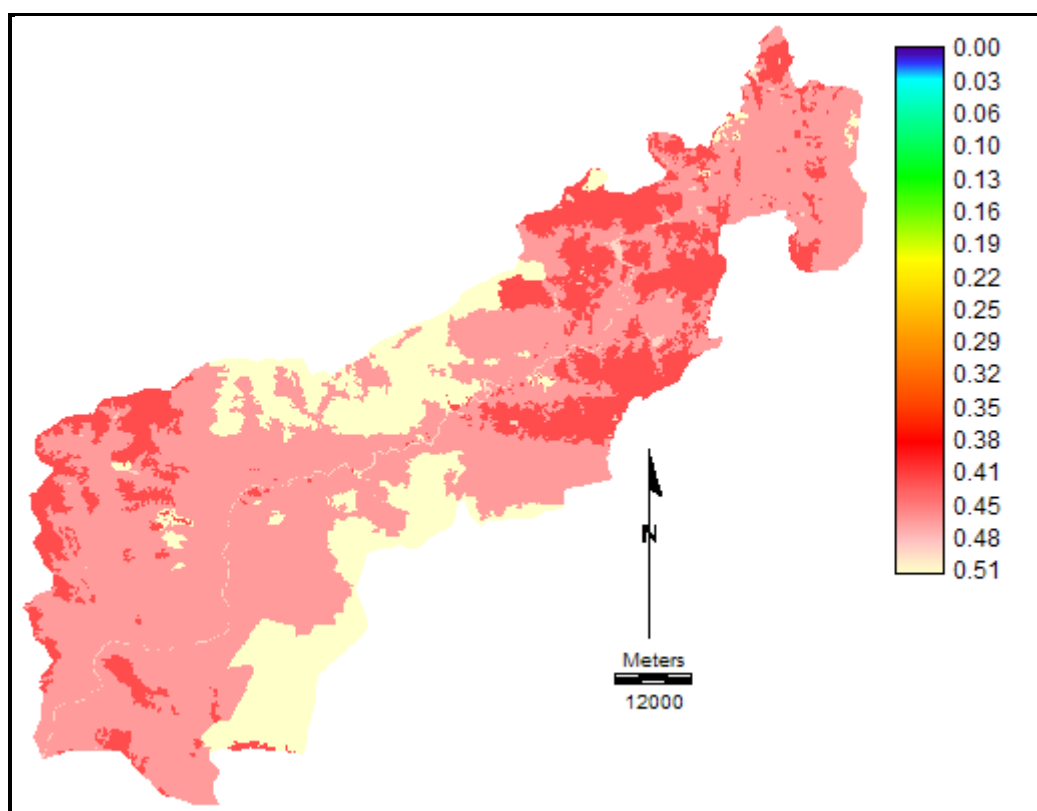
Carte 20: spatialisation de l'indice d'érosivité de Fournier-Arnoldus (IFA)

Les fortes valeurs bien qu'aussi modérée, situées au centre du bassin versant se justifient à la densité du réseau d'observation pluviométrique installé.

5-5-2-4 L'érodibilité des sols

L'indice d'érodibilité des sols est calculé à partir des caractéristiques des sols sous la formule donnée par Renard et al, (1997). Les valeurs de l'**indice K** calculées par les américains, varient de 0.1 à 5. Selon l'échelle de l'indice K adoptée en Tunisie, les valeurs de K varient de 0.05 pour les sols très peu érodibles à 0.6 pour les sols très fortement érodibles (Goujon, 1968).

Ainsi, les valeurs de l'indice K sur le bassin versant de Mountséka se classent parmi les sols à érodibilité moyenne à très forte. Celles-ci se répartissent comme suit : le long de la toposéquence, les sols moyennement érodibles se trouvent sur les lithosols des sommets des plateaux, des buttes et des glacis avec $0.3 \text{ t}^*\text{h}/\text{MJ}/\text{mm}$. Les sols ferrugineux tropicaux sont fortement érodibles avec des valeurs comprises entre 0.4 et 0.5 t.h/MJ/mm. Cette dernière classe reste très dominante aussi bien sur les glacis que sur les sommets des dunes, où se pratiquent l'essentielle des cultures pluviales (carte 21).



Carte 21: formations superficielles et spatialisation de l'indice d'érosivité des sols

5-5-2-5 Les pratiques de soutien

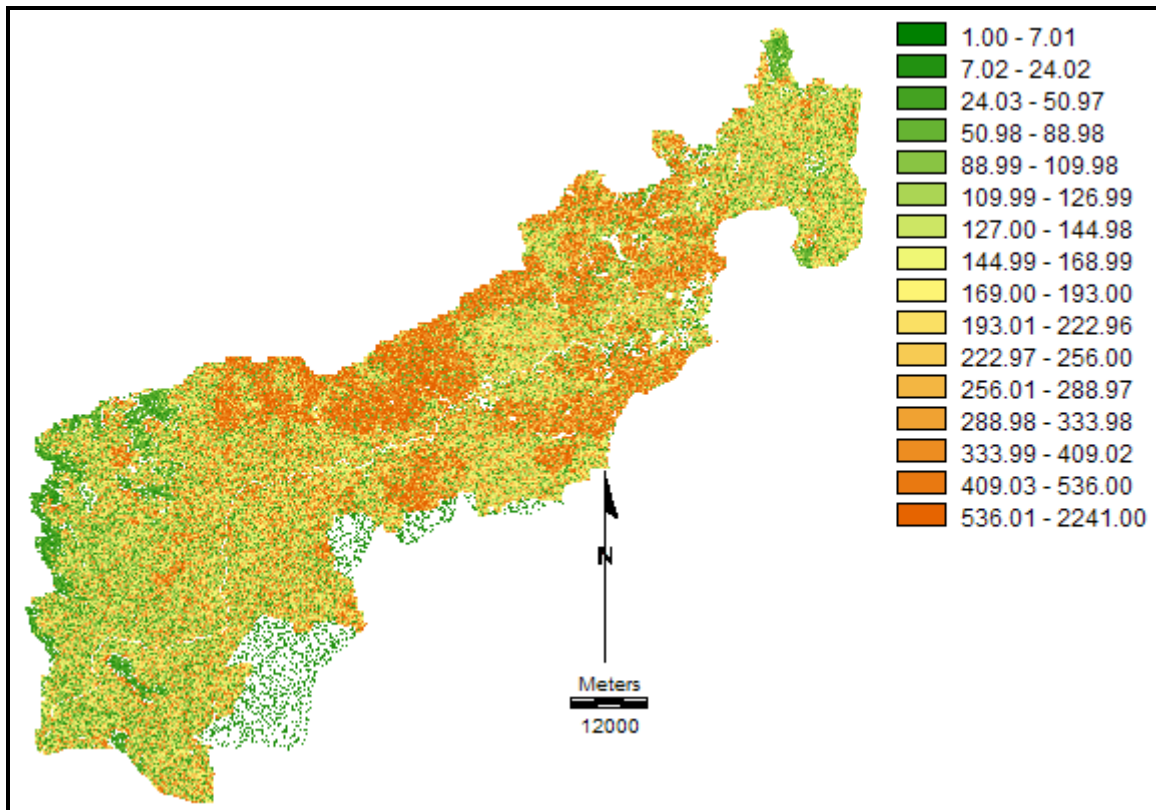
Les pratiques de conservation des sols ont un effet direct sur les risques de perte en terre. Cette mesure est représentée par le **facteur P** dans l'équation. En effet, l'absence de pratiques de conservation dans les zones agricoles, correspond à attribuer la valeur 1 à toute la surface du bassin versant.

5-5-3 Le calcul du risque d'érosion et analyse des résultats à l'échelle du bassin versant du kori Mountséka

Le croisement des couches précédemment décrites, permet de spatialiser le risque d'érosion à l'échelle du bassin versant. Cette approche bien que qualitative (Batti, 2005), mais aussi quantitative permet une évaluation rapide des risques d'érosion (El Garouani, 2007 ; 2008).

Les valeurs du risque d'érosion calculé sont exprimées en tonne par hectare par an (t/ha/an). Elles varient de 1 t/ha/an à 2241 t/ha/an comme valeur maximale (carte 22). Les valeurs obtenues, suivent la répartition des différentes classes d'occupation des sols du bassin versant du kori Mountséka.

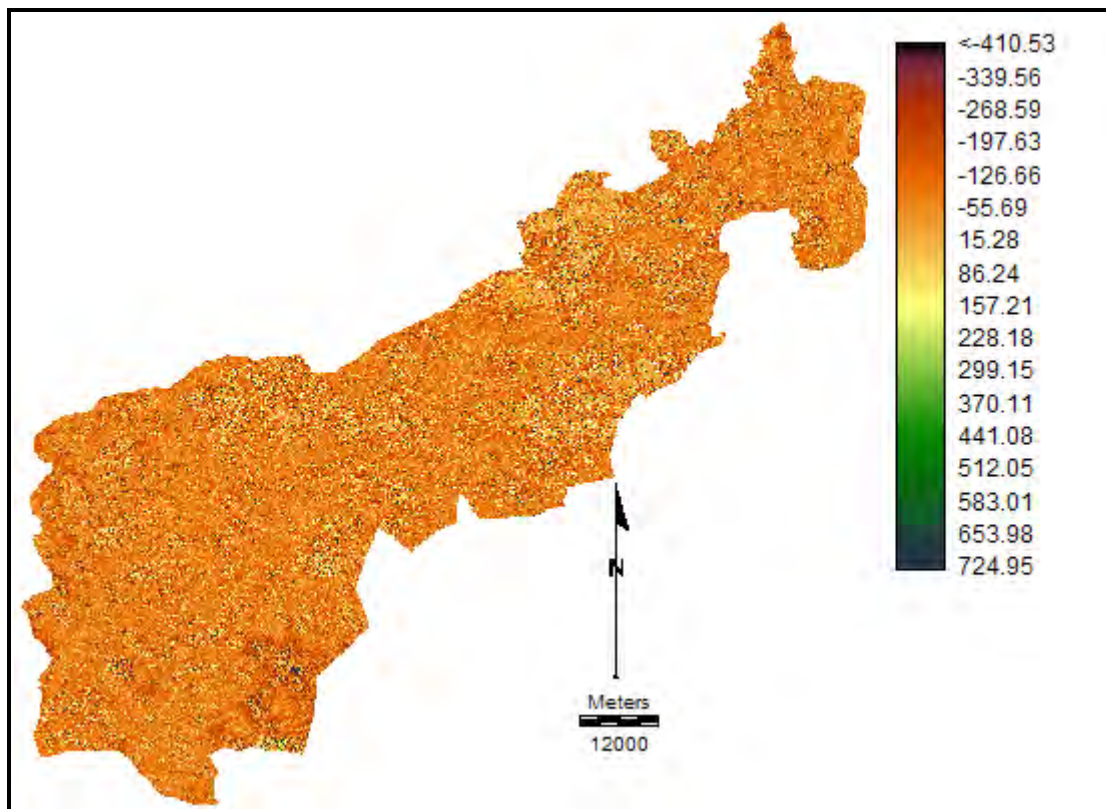
Les faibles risques d'érosion s'observent pour l'essentiel sur les sommets des plateaux et dans les steppes arbustives régulières. Les zones de cultures ont un risque d'érosion relativement élevé. Les steppes très dégradées, se présentent tout comme les sols nus avec les risques d'érosion les plus élevés.



Carte 22: spatialisation du risque des pertes en terre (t/ha/an) sur le bassin versant du kori Mountséka

Ainsi, cette figure illustre l'ampleur des pertes en terres et localise harmonieusement les secteurs les plus exposés au risque d'érosion et où une intervention est prioritaire (Fox et Morschel, 2004).

Les pertes en terres nettes (carte 23) sont aussi déterminées. A l'échelle du bassin versant l'évaluation de l'érosion nette et la sédimentation montre que seulement 16,24 % du bassin versant sont érodés. La plus grande partie (83,76 %) est soumise à la sédimentation.



Carte 23: pertes en terre nette(t/ha/an) sur le bassin versant du kori Mountséka

A cet effet, l'érosion nette prédite varie de 1 à 724 t/ha/an avec une moyenne de 128,17 t/ha/an. Le taux le plus important s'élève à 78 t/ha/an soit une proportion de 23 % de la superficie érodée (figure 38). A cela, il faut noter une part considérable des faibles portions du bassin versant qui enregistrent des taux d'érosion plus moins importants.

La sédimentation qui domine l'ensemble du bassin versant quant à elle, varie entre -411 à -5 t/ha /an avec une moyenne de 110, 55 t/ha/an (figure 39).

L'ampleur de la sédimentation et de l'érosion sur le bassin versant du kori Mountséka est inquiétante. Certes l'érosion est en effet liée à la grande proportion des sols sableux, néanmoins les types de pentes dominants favorisent la sédimentation constatée.

Par ailleurs, l'irrégularité du climat est aussi un facteur à l'origine du phénomène d'accumulation des sédiments (Colombani et al, 1984), soit dans le réseau de drainage, soit le plus souvent sur les versants.

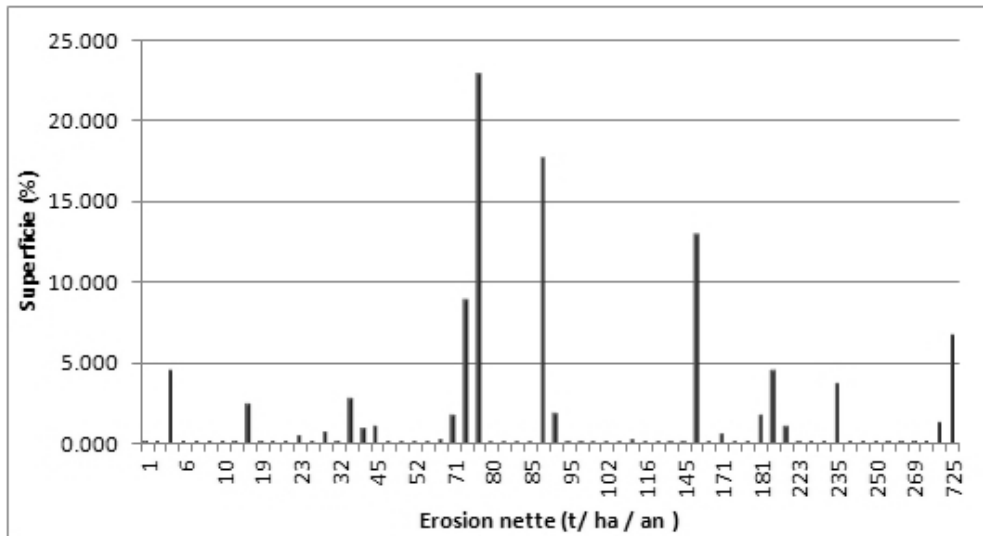


Figure 38 : répartition des taux d'érosion nette sur le bassin versant du kori Mountséka

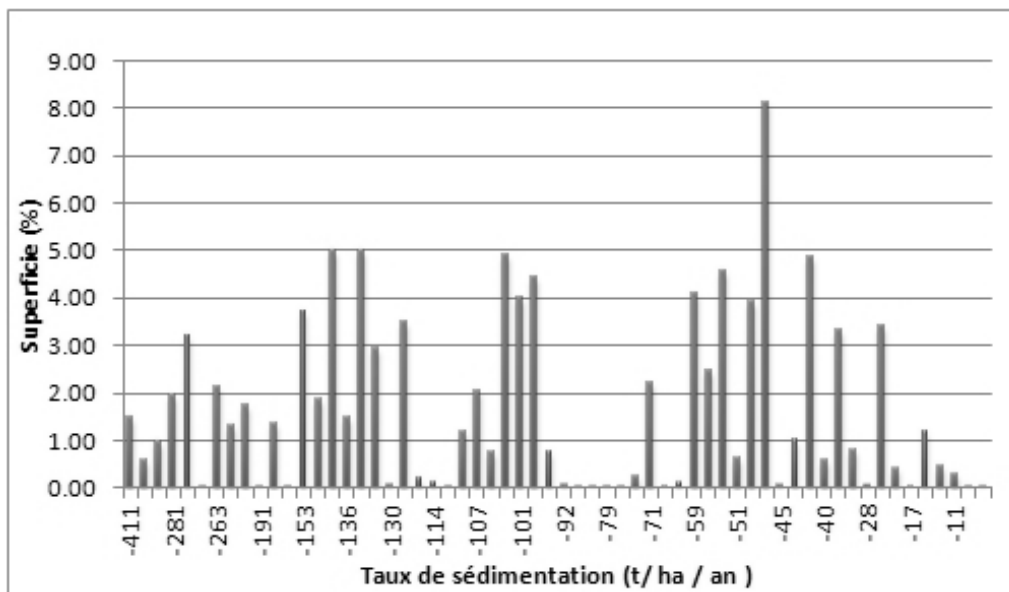


Figure 39: répartition du taux de sédimentation sur le bassin versant du kori Mountséka

Sur la base du seuil de tolérance (1 à 12 t/ha/an) de la classification des pertes en terres, cinq classes de risque sont distinguées sur le bassin versant de Mountséka.

Les risques d'érosion faibles, occupent des faibles portions du bassin versant (tableau 21). Les risques d'érosion élevée sont aussi moins répandus (3,65%). La grande partie du bassin versant est soumise à un risque d'érosion grave (>34 t/ha/an) soit un décapage de 2,27 mm de sol par an.

Les risques d'érosion sur le bassin versant de Mountséka sont plus alarmants que ceux présentés par Abba (2012) dans un milieu où l'occupation de l'espace est aussi récente.

Tableau 21: classification des pertes en terres du bassin versant Mountséka

| Classes de risque | Classe de perte en terre (t/ha/an) | Proportion du bassin versant (%) |
|--------------------------------|---|---|
| Très faible (tolérable) | < 7 | 4,66 |
| Faible | 7 à 11 | 0,04 |
| Modéré | 11 à 23 | 3,13 |
| Élevé | 23 à 34 | 3,65 |
| Grave | >34 | 88,51 |

Ainsi, avec un risque d'érosion grave de 88,5%, le bassin versant du kori Mountséka est soumis à une crise érosive généralisée.

Celle-ci est la résultante de l'état actuel de tous les facteurs évoqués ci haut, mais qui interviennent selon un ordre d'importance sur le bassin versant.

5-5-4 Hiérarchisation des facteurs de l'érosion

La distribution inégale des pertes en sol dans un bassin versant résulte de la variabilité spatiale des principaux facteurs dans le processus d'érosion (Sadiki et al, 2004).

L'influence des différents facteurs dans les processus d'érosion sur le bassin versant de Mountséka est appréciée sur la base des régressions linéaires. L'érosion calculée représente la variable dépendante de chaque facteur pris indépendamment.

Les résultats de l'analyse nous ont permis d'hiérarchiser les facteurs d'érosion sur le bassin versant de Mountséka comme suit :

- ❖ Le facteur C constitue le premier facteur de contrôle d'érosion avec un coefficient de corrélation (r^2) de 0,79
- ❖ Le facteur topographique LS tient la seconde place avec un coefficient de corrélation (r^2) de 0,77. En effet, pris indépendamment, l'inclinaison des pentes influence plus l'érosion que la longueur avec des coefficients de corrélation (r^2) respectifs de 0,66 et 0,62.

- ❖ En fin, avec un coefficient de corrélation (r^2) de 0,64, l'érodibilité des sols K se classe devant l'érosivité des pluies avec une corrélation (r^2) de 0,62.

Cette dernière place du climat, s'explique par le caractère moyen de l'agressivité du climat calculée sur une période plus ou moins longue. Cependant, à l'échelle de l'évènement, l'énergie du climat assure le processus de l'érosion.

D'autre part, l'énergie du climat joue avec la végétation un rôle antagoniste sur l'érosion (Colombani et al, 1984). En effet, l'érosion est une fonction croissante de la hauteur de pluie annuelle. Cette fonction est par ailleurs anéantie par la végétation qui pour sa part, est une fonction décroissante de l'érosion. Il faut noter aussi que, la végétation est elle-même une fonction croissante de la pluie.

Ainsi, le rôle du climat dans le processus d'érosion est masqué par le rôle protecteur de la couverture végétale. Celle-ci est d'autant plus abondante pendant la période où la pluviosité annuelle assurant l'érosivité du climat est importante.

Les résultats de cette classification s'opposent à ceux de Bouzou et al (2011) dans un autre système endoréique, où la sensibilité à la battance constitue le premier facteur d'érosion hydrique des sols. Certes la démarche suivie semble très différente, néanmoins les résultats sont aussi significatifs. Par ailleurs dans l'aire « *Ayi noma* », Abba (2012) a trouvé une corrélation significative ($r^2 = 0,93$) entre l'occupation des sols avec les risques d'érosion. Il souligne à cet effet le rôle prépondérant de l'occupation du sol et de l'emprise humaine sur les risques d'érosion.

5-5-5 La simulation des facteurs à l'échelle du bassin versant

L'intérêt de l'application de la RUSLE réside de la simulation des facteurs qu'elle offre afin de proposer des mesures les mieux adaptées pour réduire l'érosion.

La précédente classification des facteurs de l'érosion montre qu'on peut agir sur le facteur C pour d'avantage réduire les pertes en terre. Etant donné que le facteur C est de loin le premier facteur sur ce bassin versant, les actions à mettre en œuvre pour améliorer ce facteur passent par l'augmentation de la couverture du sol à travers le reboisement.

Cette intervention doit concerner en premier lieu, les sols nus et les steppes arbustives très dégradées. Ces unités figurent parmi les classes du risque d'érosion grave. L'intervention sur

ces unités permettra de reconstituer ne serait-ce qu'une végétation éparsée de steppe arbustive dégradée.

L'amélioration du couvert végétal sur des sols nus et encroûtés, passent nécessairement par des ouvrages anti érosifs donc du facteur P.

Sur de vastes étendues de sols nus, les banquettes et les demi-lunes semblent les mieux adaptées ($P = 0.2$). Aussi, en préconisant des cultures en courbes de niveau ou en bandes alternées ($P = 0.5$), ces mesures vont sensiblement réduire les pertes en terres sur les espaces cultivés.

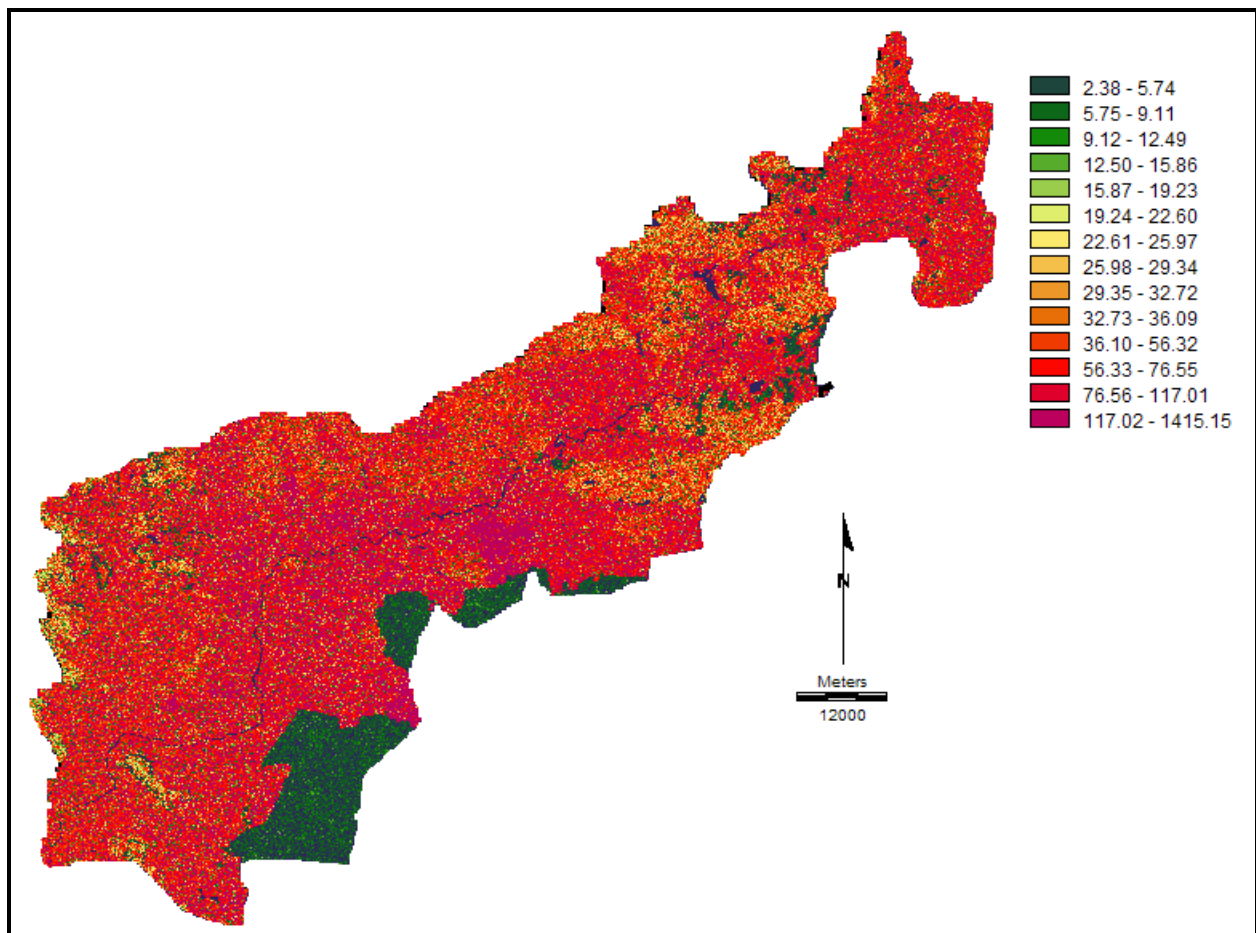
A travers ces actions, la perméabilité est sans doute améliorée suite aux effets du facteur P. La reconstitution du couvert végétal grâce à l'abondance de la biomasse et du développement racinaire des plantes va influencer la structure du sol. L'effet de cette action n'est pas envisageable sur le court terme.

L'aboutissement de toutes ces actions a permis d'attribuer des nouvelles valeurs comme indiquer dans le tableau 22. Les nouvelles valeurs de K ont été calculées grâce à l'amélioration d'une perméabilité de ces unités, à des conditions modérées.

Tableau 22: les nouvelles valeurs simulées par facteurs d'érosion

| Unités d'occupation du sol | Facteur C | Facteur P | Facteur K |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Cultures pluviales | – | 0,5 | 0,46 |
| Steppes arbustives très dégradées | 0,6 | 0,2 | 0,46 |
| Sols nus | 0,6 | 0,2 | 0,46 |

Ces nouvelles valeurs des indices C, K et P, bien que modestes ont été spatialisées pour donner une nouvelle carte du risque d'érosion (carte 24).



Carte 24: spatialisation du risque d'érosion après la simulation des facteurs

Ces mesures partielles bien qu'elles maintiennent encore les sols vulnérables et une végétation toujours dégradée vont permettre de réduire le risque d'érosion de près de moitié par rapport à la situation actuelle sans aménagement.

5-6 Propositions et perspectives d'aménagement du bassin versant de Mountséka

Les risques d'érosion sont assez importants sur le bassin versant de Mountséka. Ce phénomène constitue une véritable menace pour les terres exploitables et les eaux de surface. Face à ce défi, la gestion intégrée des ressources en eau et du sol s'impose. Celle-ci doit être basée sur une vision globale du bassin versant. Elle doit aussi reposer sur une approche fondée sur la concertation et la participation de l'ensemble des acteurs.

Ainsi, cette partie est consacrée aux propositions et mesures de correction du danger érosif afin d'assurer et améliorer les bases productives agro-pastorales du bassin versant Mountséka.

A cet effet, les ouvrages antiérosifs ont une influence appréciable sur la charge solide des eaux (Roose, 1974). Aussi, ces mesures constituent une sorte d'aménagement du milieu.

D'après Waziri (1988), aménager un milieu, c'est modifier sa dynamique naturelle afin d'établir une nouvelle qui soit favorable aux activités pratiquées. Cet aménagement doit avoir un caractère rationnel et durable en tenant compte de la maintenance du milieu. En plus, cette action doit aller au-delà du milieu physique mais aussi concerner les mentalités des paysans qui sont appelés à travailler sur le terrain.

Retenons aussi que la dynamique hydro-érosive actuelle du bassin versant Mountséka est intimement liée aux actions incontrôlées de l'homme. Mais, si c'est l'homme qui augmente les risques d'érosion par ses techniques maladroites, on peut alors espérer qu'en améliorant ces techniques on pourra réduire le ruissellement (Roose, 1987).

Dans ce contexte, les mesures d'aménagement que propose ce travail sur ce bassin versant, sont toutes inspirées des grands travaux réalisés un peu partout au Niger et dans la sous-région.

5-6-1 Aperçu historique et acteurs de la lutte antiérosive au Niger

Face à la dégradation des terres due à l'érosion hydrique, plusieurs techniques antiérosives ont été développées par les paysans. Ces techniques ont pour la plupart du temps été trop sectorielles.

Selon Bouzou, (1992), les aménagements traditionnels ont concerné pour l'essentiel quelques exploitations, là aussi de façon lâche et ne s'étendent pas à l'échelle d'un bassin versant. Les techniques antiérosives les plus répandues sont les cordons de pierres sèches, les branchages ainsi que diverses techniques culturales.

Ces techniques propres à l'Adar ont fait leurs preuves, même si par ailleurs elles sont absentes dans la région d'étude.

Avec la période d'indépendance (1960), les ouvrages des CES-DRS ont été vulgarisés par les pouvoirs publics et les ONGs. Ces initiatives extérieures se sont renforcées davantage à partir des années 1970 (Bouzou, 1992) avec la politique du développement rural prônée par les pouvoirs publics.

Plusieurs objectifs sont assignés à ces mesures antiérosives dont entre autres :

- ❖ favoriser l'infiltration des eaux et le piégeage des sédiments transportés par les eaux et le vent ;
- ❖ favoriser la récupération des terres dégradées et leur revalorisation agricole.

Ainsi au Niger, le Projet Intégré de Keïta (PIK) est l'un des modèles réussis dans la lutte antiérosive avec plusieurs réalisations (Photo 21) dans l'Adar.



Photo 21: vue aérienne des tranchées collinaires dans le cadre du projet intégré de Keïta (F. Paladini 1989 in Malagnoux, 2004)

Suite à ces réalisations (des ouvrages mécaniques et biologiques), l'analyse diachronique de la dynamique érosive dans la vallée de Keita a permis de comprendre une reconstitution progressive du paysage entre 1986 et 2007 à travers le développement de la végétation (Bouzou et al, soumis).

En outre, les stratégies de lutte antiérosive sont aujourd'hui un véritable moyen des ONGs pour assister le monde rural. Un seul objectif au centre de ces interventions, celui de maintenir ou améliorer la fertilité des sols afin d'accroître la production agricole en milieu rural. Ces multiples interventions de tous les acteurs, font du Niger un exemple de transformation environnementale au Sahel.

5-6-2 Aperçu sur les réalisations antiérosives dans la zone d'étude

Nos observations directes du terrain révèlent le constat suivant : une relative absence des techniques antiérosives dites traditionnelles. Celles-ci sont-elles méconnues ? Seulement, les paysans jugent ces techniques inefficaces d'où une certaine réticence et leur abandon. Cette inefficacité réside dans le manque de suivi des ouvrages antiérosifs réalisés par la population bénéficiaire.

Les seules réalisations visibles et très peu répandues dans la zone sont des demi-lunes (Photo 22). Celles-ci ont été réalisées en 2004 par le projet Care International dans le souci de réduire les récurrentes inondations que connaît le village.



Photo 22 association de diguette de pierres et demi-lunes sur une jupe sableuse depuis 2004

Ces ouvrages n'ont pas répondu aux effets escomptés car depuis 2007, Mahaman (2008) a souligné un échec de ces ouvrages du fait de la persistance des menaces érosives sur les mêmes terrains récupérés.

En plus, il faut souligner aussi que les paysans pratiquent le paillage sur les loupes d'érosion et la stabilisation des ravines. Les loupes d'érosion sont une forme majeure de dégradation de terres observables dans les champs et les jachères (Bouzou, 2003). Cependant, cette pratique bien qu'intéressante, demeure négligée car les tiges sont aussi utilisées pour alimenter le bétail. L'alimentation du bétail avec les résidus de culture semble plus avantageuse pour les paysans. De surcroît, ces paysans du bassin versant du kori Mountséka ignorent le rôle des fourrés ripicoles dans la stabilité de la dynamique hydro érosive.

Toutefois, sur le bassin versant, des banquettes ont été réalisées dans le cadre du Programme Spécial du Président sur le plateau de Dan Katsari. Ces ouvrages ont permis de reconstituer une aire de pâturage avec un tapis herbacé important.

Depuis 2011, avec l'appui de l'ONG RAIL, les paysans du village de Mountséka récupèrent chaque année 30 hectares de terres dégradées. Cette portion fait partie de 250.000 hectares en moyenne de terres récupérées par les agriculteurs chaque année (Reij, 2010).

Outre ces mesures partielles, le bassin versant de Mountséka dans son ensemble, nécessite encore des mesures d'aménagement. Celles-ci semblent imposer une vaste étude afin de concilier la perception paysanne, les avis des gestionnaires et des techniciens. Le concours de tous ces acteurs permettra un aménagement rationnel du bassin versant de Mountséka.

5-6-3 Propositions d'aménagement antiérosif du bassin versant de Mountséka

Pour notre part et au vu de la menace érosive généralisée sur le bassin versant de Mountséka, notre première contribution est le diagnostic et la base de données fournies par ce travail.

On entend par aménagement antiérosif, toutes les techniques mécaniques et biologiques susceptibles d'être mises en œuvre pour la conservation des sols et la limitation du ruissellement (Roose, 1974). Ainsi, la Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols (GCES) semble une nouvelle approche pour répondre positivement aux problèmes de gestion durable des ressources en eaux et de la fertilité des sols (Roose et De Noni, 1998).

La réussite des actions de la Gestion Conservatoire des Eaux et des Sols (GCES) dans certaines localités dont l'exemple illustré du projet Keïta nous conduit à proposer cette même technique sur le bassin versant de Mountséka.

La particularité de ce bassin versant en grande partie sableux, doit guider les types d'aménagements possibles. Aussi, il faut souligner que ce bassin versant est assez grand (plus de 5000 km²). Cette taille constitue un problème d'aménagement de ce bassin versant. Pour ce faire, la subdivision en sous bassin versant semble atténuer cette difficulté.

L'aménagement du bassin versant de Mountséka est l'œuvre de tous les acteurs (paysans, pouvoir public et ONGs). Il faut à cet effet placer les paysans en premier lieu, car toute action d'aménagement ou de mise en valeur doit être établie suivant un schéma directeur (Ousseini et Bender, 2000), conçu avec la population et bien accepté par elle.

Les principales mesures antiérosives se regroupent en deux catégories : les ouvrages « *mécaniques* » et les mesures « *biologiques* ». Le long de la toposéquence où ils seront

implantés, ces ouvrages ont pour principale fonction soit de limiter le ruissellement, soit de limiter la concentration des eaux ou d'empêcher l'incision (Derancourt, 1995).

5-6-3-1 Les ouvrages mécaniques

Ces ouvrages sont fonction des matériaux disponibles dans la région à aménager. Ils sont constitués des diguettes, des cordons de pierres, des gabions et des fascines pour réduire le développement des ravines. A ceux là, s'ajoutent des banquettes, les demi-lunes et les « tassa ». Le choix de ces ouvrages se justifie par leur appropriation par les paysans de l'Adar (Bouzou, 1992).

Etant donné qu'il faut limiter le ruissellement sur les sommets des plateaux où les processus dominants restent le ruissellement diffus et/ou en nappe, les banquettes sont les ouvrages les mieux adaptés. Ainsi, ces ouvrages peuvent concerner les superficies réduites des sommets des plateaux localisés sur les marges Ouest et Est du bassin versant. La réalisation de ces ouvrages va sans nul doute assurer la reconstitution d'un tapis herbacé important.

Suite à l'effet de la pente plus importante sur les talus, le processus dominant est la concentration du ruissellement et la formation des ravines. Ainsi, la mise en place des tranchées ou des diguettes filtrantes, permettra de réduire la concentration du ruissellement.

Le traitement de ces deux premières unités de la toposéquence contribuera à la production des fourrages sur ce bassin versant où l'élevage est aussi très pratiqué par tous les groupes ethnolinguistiques.

Une bonne partie des ouvrages mécaniques sont envisagés sur les jupes sableuses et les hauts glacis où l'encroutement est de plus en plus important. La réalisation des demi-lunes (Photo 23) à ce niveau, peut assurer d'une part la réduction du ruissellement mais aussi favoriser la récupération des terres dégradées.



Photo 23: un exemple de demi-lune (d'après Adamou, 2010)

Sur ces mêmes unités, s'observent aussi des ravines. Notons que la correction d'une ravine commence par la tête. A cet effet, des fascines sont le plus recommandées. Cette mesure est valable pour la correction des ravines de petite taille (2 m de large) ou sur les ravines dont la vitesse d'écoulement de l'eau est très faible (Raharinaivo, 2008). Aussi, la réalisation des fascines dans les champs de culture permet non seulement de réduire la vitesse de ruissellement mais aussi de provoquer une accumulation de sable.

Quant aux glacis bas, où se développe l'essentiel des cultures pluviales et où s'observent des loupes d'érosion, les «tassa» sont beaucoup plus recommandés. D'après Bouzou et Dan Lamso, (2004), le «tassa» est la meilleure technique permettant de restaurer les terres de glacis encroûtées et augmenter la production du mil. Cette technique est de plus en plus appréciée par les paysans du fait de sa capacité à réduire le ruissellement et à améliorer aussi la productivité des sols.

Des cordons de pierre sont aussi de très bons ouvrages dans les champs de culture, car ils limitent le ruissellement des eaux. A défaut des pierres, l'expérience malgache préconise les cordons de paille (Raharinaivo, 2008) ou des branches. Le cordon de paille est une rangée de paille sur une hauteur d'au moins 20 cm, fixée par des piquets suivant les courbes de niveau. La densité de la paille fournie au cours de l'installation du cordon réduit la vitesse du ruissellement.

De manière générale, les ouvrages mécaniques ont pour vocation de réduire la force du ruissellement, moteur de l'érosion hydrique d'une part. D'autre part ces ouvrages favorisent une infiltration des eaux

5-6-3-2 Les mesures biologiques

Ces mesures regroupent les actions de reboisement qui viennent soutenir et assurer aussi la durabilité des ouvrages antiérosifs évoqués ci haut. Les actions de reboisement sont tenues de prendre en compte les intérêts de la population pour certaines espèces végétales. Sur les versants où les ouvrages mécaniques sont implantés, doit suivre aussi le reboisement.

Le reboisement des versants, soit naturellement suite à la déprise agricole, soit suite aux travaux de reboisement, va entraîner une forte diminution de l'érosion des versants et donc des apports de matériaux dans les cours d'eau.

Les actions de reboisement doivent aussi se poursuivre pour reconstituer ne serait-ce que les fourrés ripicoles. Ainsi, la stabilisation des berges, soit par développement des fourrés ripicoles, soit par mise en œuvre de travaux de protection, entrainera une diminution du potentiel de berges érodibles, et réduire les apports sédimentaires sur les cônes alluviaux et dans le kori.

Notons que le bassin versant de Mountséka est en grande partie sableux. Cette caractéristique l'expose aussi à une érosion éolienne même si du reste rien ne lui est consacré dans ce travail. La réalisation des haies vives pourra contrecarrer pour peu la dynamique éolienne sur le bassin versant. Les haies vives sont à cet effet une mesure antiérosive innovatrice. Essentiellement constituée d'arbres et d'arbustes, elle est destinée à restaurer la fertilité des champs de cultures en leurs offrant une végétation permanente.

A ceux-là, il faut ajouter le paillage qu'il y a lieu d'encourager. Cette technique bien que négligée par les paysans du terroir, offre aussi des avantages inestimables. L'importance des résidus de culture anéantie le premier stade de l'érosion hydrique (splash). La pratique du paillage va ainsi réduire l'érosion par rejaillissement et protéger les sols (particulièrement les champs de cultures) de l'agressivité des pluies avant le développement du tapis herbacé. La pratique du paillage semble ainsi réduire l'encroûtement superficiel des sols et favoriser l'activité micro biologique.

De nos jours, les mesures biologiques s'élargissent à la régénération naturelle assistée (RNA). Cette technique se distingue du reboisement ou de toute plantation d'arbre. Selon UICN, elle consiste à susciter une participation active des cultivateurs, pour protéger et gérer les repousses de leur champ, afin de recréer une végétation ligneuse. La promotion et la vulgarisation de cette mesure sur le bassin versant de Mountséka va ainsi favoriser la mise en place et la formation des parcs arborés.

A travers ces différents procédés, les mesures biologiques vont assurer le couvert végétal et restaurer les sols.

5-6-3-3 Le traitement des bas-fonds.

Toutes les mesures évoquées ci haut sont destinées à traiter les versants de la vallée du kori Mountséka. Elles constituent des techniques individuelles (tassa et demi-lune) et collectives à la fois (banquettes). Celles-ci peuvent être mises en œuvre par les paysans sur les versants (Adamou, 2010). Cependant, que faut-il réaliser dans les bas-fonds et le long des koris secondaires ?

En effet, les berges des koris secondaires sont les principaux fournisseurs des sédiments déposés sur les cônes alluviaux. Ces derniers évoluent sans cesse, et contribue à la disparition des mares ou à leur morcèlement.

Ainsi, dans ce contexte, il y a la nécessité de reboiser les berges des koris secondaires tels que Koujak et Tozo qui sont les plus importants du secteur. Ce reboisement permettra ainsi de reconstituer les fourrés ripicoles dont la fonction essentielle est la protection des berges. Le traitement des berges par des gabions est aussi innovant. Mais celui-ci semble coûteux dans une région où les matériaux nécessaires sont indisponibles et demande par conséquent un investissement important de l'Etat ou les organismes de développement.

Par ailleurs, dans le bas fond principal (lit du kori Mountséka), la série de mares « verrouillées » soit par les cônes alluviaux, soit par les seuils naturels (du fait de la configuration du lit), doivent guider l'aménagement du bas fond. Notons que, les cônes et les seuils naturels jouent le rôle de « barrages naturels ».

En effet, ces « barrages naturels » sont liés à la configuration du bas fond de Mountséka et/ou aux dépôts alluviaux construits par les koris secondaires. Ces « barrages naturels » ont

tendance à barrer la continuité de l'écoulement dans le bas fond principal. Cependant, il est rare qu'un cône alluvial retienne un lac nous rapporte Touchart (2000).

Ainsi, dans le bas fond Mountséka, il existe des mares permanentes dont la surface est comprise entre 4 à 36 ha avec une profondeur moyenne de 1,30 m. Le volume de ces mares verrouillées est estimé à près de 50 000 à 100 000 m³ pendant la saison sèche. Cet important volume d'eau stocké dans les mares du kori Mountséka est le résultat du rôle que jouent les cônes alluviaux comme étant des « barrages naturels ». Aussi les nombreux cônes alluviaux, servent de vanne, permettant de réguler les écoulements dans le bas fond Mountséka.

Certes, les cônes alluviaux sont des signes de dégradation des bassins versants, néanmoins ils assurent une fonction de stockage d'une importante réserve en eau exploitable pour les mises en valeurs de milliers d'hectares. Cette possibilité qu'offrent les cônes alluviaux est à l'image des barrages et lacs collinaires magrébins. Selon Albergel et al (2007), ces ouvrages de petite et moyenne hydraulique sont des digues en terre compactée avec un déversoir donnant lieu à une retenue d'eau. Leur objectif, est d'assurer la conservation des eaux et du sol ainsi que le développement local.

Ainsi, si l'Etat devrait stocker un volume équivalent à ces mares verrouillées à travers la construction d'un mini-barrage ou d'un seuil d'épandage, les coûts de ces réalisations varie entre 80 000 000 à 120 000 000 de FCFA (, comm. Pers. Adamou, 2013).

Ce rôle économique des cônes alluviaux comme « barrage naturel », est toutefois vulnérable du fait que la probabilité que le verrou alluvial cède n'est pas à négliger.

Conclusion partielle

L'état actuel des facteurs de l'érosion, conditionnent la crise érosive que connaît le bassin versant du kori Mountséka. L'application du modèle de prévision de pertes en terre, illustre que la partie amont et médiane sont les plus exposées aux risques d'érosion grave. Cette gravité tient une large part à la vulnérabilité des facteurs C et K, malgré les faibles pentes qui caractérisent le secteur.

Au regard de cette situation, des mesures urgentes d'aménagement s'imposent. Ainsi, les données produites (caractéristiques des pluies journalières, natures des sols, charge solide des eaux de surface etc.) dans ce secteur seront d'un appui inestimable pour entreprendre des ouvrages antiérosifs conséquents et durables.

L'effet combiné des mesures mécaniques et biologiques suivant une approche participative rendra les interventions antiérosives plus efficaces afin de restaurer l'équilibre du bassin versant de Mountséka.

Conclusion générale et perspectives de recherche

Les résultats présentés dans ce travail, retracent la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka. La démarche adoptée, est une contribution pour la compréhension de ce système naturel au Sahel. Elle se résume à trois échelles d'investigation et d'analyse :

- ❖ au niveau régional du bassin versant ;
- ❖ au niveau du sous bassin versant et ;
- ❖ au niveau du kori.

Les principaux résultats obtenus ont permis de confirmer les hypothèses mais aussi d'atteindre les objectifs de ce travail.

En effet, le contexte dans lequel se trouve la vallée du kori Mountséka est caractérisé par une forte et ancienne occupation humaine. Celle-ci, a eu des conséquences sur l'hydrodynamique du bassin versant en aggravant les processus du ruissellement et d'érosion à travers la dégradation de la couverture végétale. En effet, la cartographie de l'évolution de l'occupation du sol présentée dans ce travail, illustre que la végétation et les usages du sol du bassin versant ont connu une évolution spectaculaire. Cette évolution a connu son paroxysme au cours des années 1990 et au début des années 2000, au point où l'occupation du sol actuelle du bassin versant est à 60% des terres cultivées. La seule végétation actuelle, se trouve dans un état fortement dégradé à tous les niveaux des unités paysagères du bassin versant de Mountséka.

De même, le climat à travers l'évolution des précipitations figure parmi les facteurs hydrogéomorphologiques importants. L'analyse effectuée a permis de constater que plusieurs phases sèches et humides ont caractérisé la récente évolution du climat de la région. Grâce aux tests de rupture et au calcul de l'indice pluviométrique au Sahel (IPS) sur les principales stations de la région, les résultats affichent une amélioration des précipitations autour de 15% depuis 1987. Cette tendance est caractérisée par une forte variabilité interannuelle des précipitations, mais aussi les maximums pluvieux sont de plus en plus prononcés après 1990. Cependant, une tendance à la baisse des précipitations à l'échelle régionale s'observe dans le Nord, Nord-est et le Nord-Ouest, mais celle-ci n'affecte pas le bassin versant du kori Mountséka.

Aussi, le sol, sur lequel s'effectuent toutes les activités du bassin versant, est une composante très vulnérable. En effet, sur une profondeur de 30 cm, l'horizon superficiel du sol est très pauvre en argile (<6%) et en matière organique (<1%). L'essentiel de la couverture

pédologique est constituée d'une fraction importante des sables (65%) et des limons (28%). Ainsi, ces caractéristiques physiques témoignent la très grande vulnérabilité des sols du bassin versant du kori Mountséka. L'indice d'érodibilité calculé sur les différents types de sols les plus répandus du bassin versant, confirme aussi la sensibilité de ces sols au ruissellement et au détachement.

Toutes ces caractéristiques précitées conjuguées à la topographie et l'absence des mesures conservatoires des sols, exposent le bassin versant du kori Mountséka à un risque d'érosion alarmant. Dans ces conditions la mise en pratique de la RUSLE illustre que 88,5% du bassin versant a un taux d'érosion grave. Face à cette combinaison, les facteurs de pertes en terre ont été hiérarchisés selon leur ordre d'importance dans la dynamique hydrogéomorphologique du kori Mountséka.

A l'échelle du sous bassin versant, les résultats obtenus sur des parcelles expérimentales au cours de trois années (2010-2012) de mesures ainsi que le suivi des ravines ont permis toutefois de mettre en évidence d'une part, quelques aspects de la dynamique hydro érosive. D'autre part les parcelles ont permis de comprendre la relation entre l'utilisation du sol et la susceptibilité des sols au ruissellement et à l'érosion. Il ressort des résultats que le ruissellement est très fort sur toutes les parcelles.

Enfin, au niveau du kori, la série de mares de plus en plus permanentes présentent une forte turbidité des eaux d'une part. Celle-ci résulte de la manifestation de la dynamique érosive sur le bassin versant. D'autre part les mares qui s'interconnectent pour donner « la crue » du kori Mountséka, sont toutes menacées d'ensablement par les cônes alluviaux des kori secondaires. Le suivi des trois cônes alluviaux a permis de constater le rythme d'évolution de la charge solide déposée sur les cônes. Ainsi, les bilans sédimentaires positifs s'observent sur les cônes alluviaux dont le kori secondaire est dépourvu de fourrés ripicoles. La dégradation ou l'absence de ce type de végétation favorise le sapement des berges.

La charge sédimentaire déposée sur les cônes alluviaux, contribuent à l'exhaussement du fond du kori. La recrudescence de cette situation accentue la précocité des « crues » du kori Mountséka et à la progression des écoulements.

A travers cette étude sur la problématique du kori Mountséka et de son bassin versant, la nécessité d'un suivi limnimétrique et piézométrique s'impose pour accompagner le suivi hydrogéomorphologique du kori.

Notons que la reprise d'écoulement des koris au sein des vallées sèches est de plus en plus une question de recherche qui mérite une attention toute particulière. Plusieurs cas sont encore enregistrés dans le Sahel nigérien. En effet de 2010 à 2012, trois cas de reprise d'écoulement des koris s'observent parmi lesquels on retient tout récemment le kori Ouallam, en 2012, le kori Tiguirwit en 2010 et pratiquement chaque année la vallée de Doguérawa est inondée. Ces cas de reprise de fonctionnalité des vallées sèches ont entraîné des coupures du réseau routier. Cette situation s'est traduite par des conséquences désastreuses sur la circulation des personnes et des biens sur le territoire nigérien. Ainsi, le redimensionnement des ouvrages hydrauliques dans les secteurs concernés s'impose, comme c'est le cas du nouveau pont-barrage de Mountséka.

Toutes ces vallées précitées s'inscrivent dans le vaste bassin fossile en rive gauche du fleuve Niger. Aussi, dans ce contexte de forte variabilité des précipitations au Sahel, la problématique de ces systèmes endoréiques constitue un nouveau pôle de recherche en matière de Gestion Intégrée des Ressources Naturelles (GIREN).

Des études d'adaptation à des nouvelles conditions du bassin versant sont nécessaires, tant du côté des mares ensablées que des secteurs où la dynamique est aussi récente.

Ainsi, face à la disponibilité des eaux de surface en permanence, il est opportun de pousser les investigations afin de concilier les besoins des populations, les questions de mise en valeur ainsi que les types d'aménagements possibles sur ces bassins versants des vallées sèches au Sahel nigérien.

Références bibliographiques

- Abba Bachir (2012) : *Changements d'usage des sols et érosion dans l'aire « Ayi noma » à la périphérie du Parc National du W du Niger*. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, 227p.
- Abaché Laouali. (2007). *Genèse et morpho dynamique actuelle des bas-fonds sahéliens : Caractérisation du bas-fond de Mountséka*, Mémoire de Maîtrise Géographie, p.79
- Abdou Ali, (2008) : Variabilité et changements du climat au Sahel : comprendre la situation actuelle de par l'observation. *AGRHYMET, Bulletin mensuel*, Numéro Spécial ; 2008, pp 17-21
- Abdou Ali, Therry Lebel, Abou Amani, (2008): Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. *Sécheresse* volume. 19, n° 4; pp 227-235
- Abdou Ali, (2010) : Variabilité et changements du climat au Sahel : ce que l'observation nous apprend sur la situation actuelle. *Grain de sel*, Dossier n° 49 — janvier – mars ; pp 13-14
- Adamou Mahman Moustapha (2010) : *Rapport sur les techniques de captage de l'eau des pluies au Niger*. Stocklom Environnement Institue, 29p.
- Adamou S. (2008). *Couverture pédologique du bas fond de Mountséka : potentialités, contraintes et proposition d'aménagement et de gestion de la fertilité des sols du bassin versant* ; Mémoire de Maîtrise, Université Abdou Moumouni de Niamey, p.57
- Albergel Jean, Slah Nasri et Jean Marie Lamachère (2007) : *Les lacs et barrages collinaires : infrastructures hydrauliques d'aménagement et de conservation des terres agricoles en zone semi-aride méditerranéenne*. Hommage des équipes « Lacs collinaires » en Tunisie, pp 7-20
- Amoukou A. Ibrahim, (2009) : *Un village nigérien face au changement climatique : stratégie locales d'adaptation au changement climatique dans une zone rurale du bassin du Niger*. ABN et GTZ, Niamey, 95p.
- Arnold J.G.et al, (1998): Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 1; pp. 73-89.
- Assie K. H., Angui K. T. Pascal1, Danho D. Mathieu, Tamia A. Jocéphyne, Savane I., (2010): Effets des contraintes morpho-pédologiques sur quelques propriétés hydrodynamiques des sols. *Journal of Applied Biosciences* 34, pp 2145 – 2155. Publié en ligne sur www.biosciences.elewa.org le 7 Octobre, 2010.

- Audrin M., (2005) : *L'érosion au sahel : étude de l'infiltrabilité des sols dans un bassin versant sahélien*. Mémoire de fin d'étude, ISTOM ; 76p.
- Baali A., Gourari L. et Fedan B. (1996) : Type de dépôt et processus de mise en place des cônes de déjection dans le bassin de la dayet Afourgagh (Moyen Atlas, Maroc). *Bulletin, inst. Sci.* Rabat, n° 20 ; pp 51-61
- Bahari Ibrahim M., (2008) : *Caractérisation hydrologique du bassin versant de Mounséka*, Mémoire de Maîtrise, Université Abdou Moumouni, p.53
- Bahari Ibrahim. M., (2009) : *Dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori Mounséka (département de Birni N'konni, région de Tahoua) et ses effets socioéconomiques : approche méthodologique*. Mémoire de D.E.A., Université Abdou Moumouni ; p.65
- Ballandras Stéphane, (2002) : L'évolution des formes de relief et des formations torrentielles alpines depuis 4 700 BP. In: Quaternaire - Volume 13 - Numéro 3-4 pp.267-277 sur
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/quate_11422904_2002_num_13_3_1719
- Batti A. (2005) : *Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa « érosion des sols » dans les bassins versants en amont du lagon Saint Gilles (île de la Réunion)*. Panorama des méthodes d'analyse de l'érosion dans un contexte insulaire ; juin 2007 ; pp 8-9
- Batti A. et Depraetere C. (2007). *Panorama des Méthodes d'analyse de l'érosion dans un contexte insulaire : analyse méthodologique*, IRD, p. 28
- Baroudi Meterfi, Noredine Letreuch-Belarouci et Khéloufi Benabdelin (2011) : Incidence de la fluctuation des précipitations sur l'occupation des sols dans les hautes plaines de Sidi-Bel-Abbès (Algérie). *Physio-Géo* [En ligne], Volume 5, 2011, mis en ligne le 26 septembre, Consulté le 15 décembre 2011. URL: <http://physio-geo.revues.org/2059> ; doi : 10.4000/physio-geo.2059, p. 191-210
- Ben Cheikha Lilia et Gueddari Moncef, (2008) : Le bassin versant de Jannet (Tunisie : évaluation des risques d'érosion hydrique. *Mappemonde* 90, 15p. en ligne <http://mappemonde.mgm.fr/num18/articles/art08202.html>
- Ben Hassine H., T. Aliou, T. Bouzid, S. El Amri et R. Ben Hassen, (2008) : Evaluation quantitative et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zone

subhumides et semi arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolutions* 19 (2), pp 4-17

Berolo Wanda, (2010) : *Analyse statistique des précipitations journalières extrêmes*. Travaux de Recherche Géo azur, UNS, Nice, France. En ligne sur <http://gravitaire.oca.eu/spip.php?auteur4>

Boli Baboulé Z., Roose Eric, (1998): *Relation entre le ruissellement et l'érosion sur sols ferrugineux sableux des savanes soudaniennes du Nord-Cameroun*. In : L'eau et la fertilité des sols : deux ressources à gérer ensemble. Bulletin - Réseau Erosion, (18), p. 279-285.

Bonn F. (1998) : La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG : possibilités, erreurs et des limites. *Sécheresse* n°3, Vol. 9 ; pp. 185-192

Bonte Pierre et Echard Nicole, (1976) : Histoire et histoires. Conception du passé chez les Hausa et les Twareg Kel Gress de l'Adar (République du Niger). In: Cahiers d'études africaines. Vol.16 N°61-62. 1976. pp. 237-296. En ligne sur http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/cea_00080055_1976_num_16_61_2904

Bouzou Moussa I., (1988) : *L'érosion dans la vallée de Keita (Adar Niger) contribution géomorphologique*, Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble 1, UFR de Géographie, Institut de Géographie Alpine, p.248

Bouzou Moussa I., (1992) : Défense et restauration des sols dans l'Adar (Niger) : méthodes et approbation par les paysans. *Réseau érosion*, pp275-291

Bouzou Moussa I., (2003) : Les loupes d'érosion, formes majeures de dégradation des terres de glacis à sols indurés : cas de Bogodjoutou (Niger). *Annales de l'Université Abdou Moumouni* Tome VII ; pp 220-228.

Bouzou Moussa I., Dan Lamso Nomao, (2004) : Le « Tassa » : une technique de conservation des eaux et des sols bien adaptée aux conditions physiques et socio-économiques des glacis des régions semi-arides (Niger). *Revue de géographie alpine*, Tome 92 n°1 ; pp. 61-70.

Bouzou Moussa I. ; Faran Maiga O. ; Ambouta J-M. K. ; Benoit S. ; Luc Descroix ; Mahaman Moustapha A., (2009) : Les conséquences géomorphologiques de

l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin versant rural sahélien. *Sécheresse*, Volume 20, Numéro 1, pp145-152.

Bouzou Moussa I. ; Luc Descroix ; Faran Maiga O. Emmanuele Gautier Mahaman Moustapha A. ; Michel Esteves ; Souley Yero K. Moussa Malam A. ; Ibrahim Mamadou ; Le Breton Eric ; Bachir Abba, (2011) : Les changements d'usage des sols et leurs conséquences hydrogéomorphologiques sur un bassin versant endoréique sahélien. *Sécheresse* 22, pp. 13-24. doi : 10.1684 / sec.2011.0297

Bouzou Moussa I., Faran Maiga O., Bahari Ibrahim M., Issaka Lona, (**soumis**) : *La dynamique érosive dans la vallée de Keita (Région de Tahoua, Niger)*.

Boyer M. ; Hervé P. ; Charles R. ; Anne C. Corrine B. ;Phillipe C. , (1998) : *Bassin Rhône méditerranée Corse. Guide technique n° 1 : la gestion des boisements de rivières dynamique et fonctions de la ripisylve*. 45p.

Bravard J. P. et Petit F., (1997) : *Les cours d'eau. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin, Masson ; Paris ; 221p.

Campy M. et J.J. Macaire, (1989) : *Géologie des formations superficielles : géodynamique, faciès, utilisation*. Ed. Masson, Paris ; 433p.

Caron Fournier, Émilie (2009). *Stratigraphie, sédimentologie et dynamique d'un petit cône alluvial holocène du nord de la Gaspésie*. Mémoire. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Département de biologie, chimie et géographie, 125 p. sur <http://semaphore.uqar.ca/id/eprint/406> consulté le 24 Mai 2012

Casenave A. et Valentin C. (1989). *Les états de surfaces de la zone sahélienne : influence sur le ruissellement*, ORSTOM, Paris, 229p.

CERPOD / AGRHYMET, (1995) : *Population, santé et environnement au Niger : une perspective de Système d'Information Géographique*. Novembre 1995, 26p.

Chaperon P., (1971) : *Les études d'hydrologie de Surface sur le territoire de la république du NIGER*. ORSTOM, Bureau central hydrologique; Paris, 30p.

Chorley, R. J. (1969): *Introduction to Geographical Hydrology*. London.

- Collinet J. et Casenave C. (1979) : analyse de différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. *Cahier ORSTOM, série Pédologie*, Volume n°4, pp238-328
- Collinet J., (1988) : Etude expérimentale de l'érosion hydrique de sols représentatif de l'Afrique de l'Ouest. *Cahier ORSTOM, série. Pédologie.*, volume. XXIV, n° 3, pp 235-254
- Colombani et al, (1984) : Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride. *Challenges in African Hydrology and Water Resources. (Proceedings of the Harare Symposium, July 1984). IAHS Publ. no. 144*
- Coque R, (1977) : *Géomorphologie*. Armand Colin, Paris, 430p
- Courel Marie-Françoise, (1985) : *Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites*. Thèse de doctorat d'état, Université Paris I ; 407p et annexes.
- Degoutte G. (2007) : *Formes naturelles des rivières ; ripisylve, évolution des berges*. Chapitre 3, 22p.
- Delage V. (2002) : *La végétation en bordure des cours d'eau. Rôle et méthode de gestion*. Conseil de gestion du bassin versant de Yamaska (COGEBY). Saint hyacinthe, 28p.
- Delhoume J. P. (1985) : *Etude en milieu méditerranéen semi aride. Ruissellement et érosion en zone de piedmont de Tunisie centrale (Djebel semmama). Résultats 1976 à 1981*. Direction des sols ; 153p.
- Delwaulle J. C., (1973) : Résultats de six ans d'observations sur l'érosion au Niger. *Revue Bois et Forêts des Tropiques* n°150, pp15-36.
- De Martone E., (1942) : Nouvelle carte mondial de l'indice d'aridité. In: *Annales de Géographie*. 1942, t. 51, n°288. pp. 241-250.doi : 10.3406/geo.1942.12050 http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/geo_00034010_1942_num_51_288_12050
- De Noni G., Viennot M., Asseline J. et Trujillo G. (2001) : *Terres d'altitude, terres de risque. La lutte contre l'érosion dans les Andes équatoriennes*. IRD Editions, Paris, 219 p.

- Derancourt F. (1995) : *Erosion des terres agricoles, méthodologie proposées à l'étude de bassins versants agricoles*. Rapport Chambre d'Agriculture Pas-de-Calais. En ligne sur http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mst/Erosion_sol/Erosion-sol.htm
- Desconnets J. C., J.D. Taupin, T. Lebel, M. Esteve, Guald R., Kong G., (1991): *Etude des zones endoréique en milieu sahélien: rapport de campagne*, 25 p.
- Desconnets J. C., J. D. Taupin et T. Bebel, (1993) : le rôle des mares dans le bilan hydrologique d'une région sahélienne. *IAHS* ; Publi. N°212, pp. 299-311
- Desconnets J. C. (1994) : *Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger, degré carré de Niamey)*. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II ; 326p.
- Desconnets J. C., S. Galle, C. Leduc et C. Peugeot, (1996) : *Les processus de redistribution des eaux en région sahélienne: l'hydrologie dans l'expérience Hapex-Sahel*. Hydrologie tropicale: géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995), IAHS, Publ. no. 238, pp.125-137
- Desconnets J. C., J.D. Taupin, T. Lebel, et C. Leduc, (1997): *Hydrology of the HAPEX-Sahel Central Super-Site: surface water drainage and aquifer recharge through the pool systems*. Journal of Hydrology 188-189, pp.155-178
- Descroix Luc, Diedhiou Arona, Vischel Théo, Nadine Dessay, Malam Abdou M., Souley Yéro K., Hiernaux Pierre, (2012) : *Scénarios de changements climatiques et de leur impact sur l'hydrosystème et la végétation*. Projet de recherche : 'Elevage Climat et Société', ANR ; 50p.
- Deyanira Lobo Lujan et Donald Gabriels, (2005): *Assessing the rain erosivity and rain distribution in different agro-climatological zones in Venezuela*. Sociedade & Natureza, Uberlândia, Special Issue ; pp16-29
- Diallo D., (2000) : *Erosion des sols en zone soudanienne du Mali, transfert des matériaux érodés dans le bassin versant de Djitiko (haut Niger)*. Thèse de 3^e Cycle, UJF Grenoble I ; 174p et annexes.
- Didier Roger de Saint Amand, (1969) : Le continental terminal et son influence sur la formation des sols au Niger. Cahier. *O.R.S.T.O.M. & Pédol.* Volume. VII, no 4; pp.561-584
- Dresch et Rougerie G., (1960) : Observations morphologiques dans le Sahel du Niger. *Revue de Géomorphologie dynamique*, XI^e année ; N° 4-5-6, pp 49-58

- Elbouqdaoui K., Ezzine H, Badrahoui M, Rouchdi M., Zahraoui M., Ozer A., (2005) : Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Geo-Eco-Trop*, 29 ; pp 25-36
- Elbouqdaoui K., Ezzine H, Badrahoui M, Rouchdi M., Zahraoui M., (2006) : Evaluation du risque potentiel d'érosion dans le bassin versant de l'oued Srou (Moyen Atlas, Maroc). *Sécheresse* Volume 17, n°3 ; pp 425-431.
- El Garouani A., Hao Chen, Laurence Lewis, Abdellatif Tribak et Mohamed Abahrour, (2007) : *Apport de la Télédétection et du SIG pour le suivi spatio-temporel de l'occupation du sol et de l'érosion nette dans le bassin de l'Oued Tlata (Maroc)*. Actes des JSIR-AUF, Hanoi, 6-9 novembre ; 9p
- El Garouani A., Hao Chen, Laurence Lewis, Abdellatif Tribak et Mohamed Abahrour, (2008) : Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG Idrisi au nord-est du Maroc. *Revue Télédétection*, volume 8, n° 3, p. 193-201
- Escadafal R. et J. Pouget, (1989) : *Comparaison des données Landsat MSS et TM pour la cartographie des formations superficielles en zone aride (Tunisie méridionale)*. Atelier de Télédétection, ORSTOM, Bondy, France ; pp 301-307
- Food and Agriculture Organization (FAO), (1979) ; Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco) : *Carte de la répartition mondiale des régions arides*. Notes techniques du MAB7. Paris : Unesco, 55 p.
- Faran Maiga. O. (2000) : *La dynamique actuelle dans le Zarmaganda : recherche géomorphologique dans l'ouest du Niger* ; Thèse de doctorat de 3^e cycle de Géographie physique ; Université Cheik Anta Diop de Dakar, p.365
- Favreau G. (2000) : *Caractérisation et modélisation de la nappe phréatique en hausse au Sahel*. Thèse de 3^e Cycle, Université Paris Sud XI ; 258p et annexes
- Feller C., (1993) : *la Matière Organique du sol, un indicateur potentiel de la durabilité des systèmes de culture dans les zones tropicales Semi-arides Et Subhumides d'Afrique de l'ouest ?* Conférence faite sous le même titre lors de l'Atelier SCOPE "Gestion durable des terres en zones semi-arides et subhumides de l'Afrique", tenu Dakar (Sénégal) du 15 au 19 Novembre ; pp 82-99

- Ferro V, Giordano G. & Iovino M., (1991): *Isoerosivity and erosion risk map for Sicily*. Hydrological Sciences - Journal - des Sciences Hydrologique 36, 6; pp 549-564
- Fournier F. (1967): *la recherche en érosion et conservation du sol sur le continent africain*. Sols africains, pp 5-53
- Fox D. et Morschel J. (2004) : Une méthode de cartographie du risque d'érosion, application aux collines du Terrefort Lauragais. Mappemonde 76, 11p.
<http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.html>
- Fox D., Martin C., Grosso J. et Morschel J. (2006): Etude et cartographie de l'érosion des sols dans un vignoble du sud-est de la France. *Etudes de Géographie Physique*, n° XXXIII ; pp 23-32
- Frécaut R. et Pagney P. (1983) : *Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial*. Chapitre IV, Ed. Masson, p199.
- Frieder G., (1999): The geological setting in western Niger. Consulté en ligne sur https://www.unihohenheim.de/~atlas308/b_niger/projects/b2_1_1/html/english/ntext_e_n_b2_1_1.htm
- Gauché Évelyne, (2006) : La crise environnementale des bassins versants des Beni Saïd (Rif oriental, Maroc). *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], 2/2006, mis en ligne le 01 juillet 2008, consulté le 10 octobre 2012.
<http://geomorphologie.revues.org/569>
- Gautier E. Touchart L., (1999) : *Fleuves et lacs*. Collection Synthèse, série géographie, Ed. Armand colin ; Paris, 95p
- Guillobez Serge, (1990) : Réflexions théoriques du ruissellement et de l'érosion : bases d'un contrôle, application à la détermination des écartements entre dispositifs antiérosifs. *Revue Bois et Forêts des tropiques* n°226 4^e trimestres ; pp 37-47.
- Greigert, J, Pougnet, R., (1965) : *Carte géologique de la république du Niger au 1/2 000000*. Éd. BRGM. Paris, France.
- Greigert, J. (1966) : *Description des formations crétaées et tertiaires du bassin des Iullimenden*. Publi-Direction des mines et géol. N°2, Niger
- Gumuchian H. et Marois C. (2000) : *Initiation à la recherche en géographie*. Ed. Economica, Presses de l'Université de Montréal, 425p.

- Hanon Michel (1990) : *Notice explicative sur la carte géologique de l'Ader Douchi à l'échelle de 1/100000*. 36p
- Ibouraima S., (1983) : *Etude cartographique de la dynamique actuelle dans l'Ader, de Kawara à Galmi (République du Niger)*, Travail d'étude et de recherche, Institut de Géographie Alpine de Grenoble 1, carte les zones de pente.
- Ibouraima S., (1984) : *Rétroaction de l'érosion accélérée sur le sous développement au Sahel*. Mémoire de DEA, Université de Grenoble, 34p.
- Institut National de la Statistique (Juin, 2008): *Bulletin trimestriel de liaison statistique nigérien*. N°4, 11p.
- Institut National de la Statistique, (2010) : *Annuaire statistique des cinquante ans d'indépendance du Niger*. Tableau 06.02 a. et tableau 06.01 ; pp 48-49
- Jacques Lévy et Michel Lussault (2003) : *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Ed. Belin, 1033p.
- Jérôme Dunlop (2009) : *Les 100 mots de la géographie*. Que Sais-Je ?, 127p
- Kankpenandja L., (2011) : *Géomorphologie et aménagement des bassins versants de l'Oti au Togo*. Thèse de 3^e cycle, Univ. de Lomé, LaRBE ; 350p.
- Kefi M. et Yoshino K., (2010): *Evaluation of the economic effects of soil erosion risk on agricultural productivity using remote sensing: case of watershed in Tunisia*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan; pp 930-935
- Khalili A., Lamachere J. M. et Habaieb H. (2012) : Analyse des facteurs d'évolution des caractéristiques de ruissellement à l'échelle d'une parcelle cultivée sur sols argileux vertiques au nord du Cap Bon (Tunisie). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 1 ; pp 7-12
- Khatouri Mahamed, (2003) : *Evaluation du taux d'érosion au niveau du bassin versant de Doutama par le système d'information géographique (SIG)*. Projet WPM, 20p.
- Loup J., (1974) : *Les eaux terrestres : hydrologie continentale*. Ed. Masson et Cie, 171p.
- Luxereau, A. et Roussel, B., (1997) : *Changements écologiques et sociaux au Niger*. L'Harmattan, études africaines, Paris, 239 p.

Maazou I. Aminou T. et Yayé S., (1996) : *Etude sur les systèmes de production au Niger*. Rapport final, CILSS, 94p.

Macary F. et Berville D., (2003). *Synthèse Bibliographique : bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement* ; p. 28

Mahaman Moussa., (2008) : *Dynamique de l'occupation et/ou de l'utilisation des sols du bassin versant et contribution à la connaissance de l'accroissement actuel des écoulements dans le bas fond de Mountséka (konni)*, Mémoire de Maîtrise Géographie, UAM, p.71

Mahe Gil, Pierre Diello, Jean-Emmanuel Paturel, Bruno Barbier, Harouna Karambiri, Alain Dezetter, Claudine Dieulin, Nathalie Rouche, (2010) : Baisse des pluies et augmentation des écoulements au Sahel : impact climatique et anthropique sur les écoulements du Nakambe au Burkina Faso. *Sécheresse* volume 21, n° 4, octobre-novembre-décembre ; pp 330-332

Malagnoux Michel, (2004) : *Restauration des terres arides dégradées pour la production agricole, forestière et pastorale grâce à une nouvelle technique mécanisée de récolte des eaux pluviales*. Rapport, 12p.

Malan Abdou M. (2007) : *Approche méthodologique pour la constitution d'une base de données pour la surveillance des systèmes hydrogéomorphologiques du bassin de Kori Dantiandou (Degré carré de Niamey)*. Mémoire de DEA de géographie, UAM, 115 p.

Mamadou Diouf., (2000) : Lutte contre la sécheresse au Sahel : résultats, acquis et perspectives au Centre régional AGRHYMET. *Sécheresse*, Volume 11, Numéro 4 ; pp 257-66.

Mamadou Ibrahim, (2006) : *Erosion et ensablement dans les koris du Fakar-Degré carré de Niamey- Niger*. Mémoire de DEA, Géographie, 142p.

Mamadou Ibrahim, (2012) : *La dynamique accélérée des koris dans la région de Niamey: conséquences sur l'ensablement du fleuve Niger*. Thèse de Doctorat, Université de Niamey ; 290p.

Massuel, Sylvain., (2005) : *Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du Sud Ouest Nigérien*. Thèse de l'Université Montpellier 2, 220 p.

- Mathys Nicolle et Poesen Jean (2005) : *Ravinement en montagne : processus, mesures, modélisation, régionalisation*. Géomorphologie : relief, processus, environnement, n° 1, p. 3-6
- METT (Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme), (1996) : *Cartographie des zones inondables : approche hydro géomorphologique* ; Paris, 100p
- Mitasova Helena; Lubos Mitás (1999): *Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS*.
- Monfort Maxime. (1996). *Reconstitution géologique des aquifères du continental terminal dans la région de Niamey* ; Stage de maîtrise Sciences de l'Environnement, Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM Montpellier, p.51
- Morel A. (1980) : Atlas du Niger. *Les atlas des jeunes Afrique*, éd. J.a., Paris
- Mounirou Lawani A. (2012) : *Etude du ruissellement et de l'érosion à différentes échelles spatiales sur le bassin versant de Tougou en zone sahélienne du Burkina Faso : quantification et transposition des données*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II, Fondation 2iE ; 247p.
- Moussa Noma I., (2010) : *Ruissellement et érosion potentielle sur le bassin versant de Boubon*. Mémoire de Maîtrise, Université Abdou Moumouni; 87p.
- Mushtak T. J. et Xiaoling C., (2005): Soil degradation risk prediction integrating RUSLE with geo-information technique, the case of northern Shaanxi Province in China. *American Journal of Applied Science* 2 (2), pp550-556
- N'diaye P., (1995) : Le potentiel de reconstitution de la végétation herbacée au Sahel : réflexions sur le rôle des graines. *Revue de géographie de Lyon*. Volume 70 n°3-4, pp. 261-266.
- Neboit René. (1991). *L'homme et l'érosion : l'érosion des sols dans le monde* ; Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université Blaise Pascal, Fascicule 34, 2e édition ; 269 p.
- Nicolas M., (2010) : *Etude expérimentale et numérique du ruissellement de surface : effets des variations d'intensité de la pluie. Application à une parcelle de vigne en Cévennes-Vivarais*. Thèse de Doctorat, Université de Grenoble ; 229p.
- Nouvelot J.F., (1993) : *Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropicale et équatoriale*. CIEH, ORSTOM ; 504p.
- ORSTOM actualités (1998) : *Spécial érosion*, N°56 ; P.41

Ousseini I., Bender H. (2000) : *Les bas fonds au Niger : Transfert d'expériences*. Niamey PCGES ; 113p.

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*. Département de Géographie de l'Université Métropolitaine de Tokyo 1-1 Minami-Ohsawa, Hachioji Tokyo 192-0397, Japon, pp72.

Papasov Radoy, (1970) : *Turbidité et alluvions des rivières en Bulgarie*. Bull, de l'IPE XII

Paturel Jean Emmanuel, Eric Servat, Hélène Lubes-Niel et Marie-Odile Delaitre, (1997) : *Variabilité climatique et analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne*. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes / Earth & Planetary Sciences 325, 779-782.

Peugeot C., (1995) : *Influence de l'écoulement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger) : expérimentation in-situ et modélisation*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier Grenoble 1, 356p.

Peugeot C., Cappelaere B., Chevallier P., Esteves M., Galle S., Rajot J.L., Vandervaere J. P., (1996) : *Modélisation hydrologique sur le super site central Est d'Hapex-Sahel. Première partie : des parcelles expérimentale aux micro-bassins versant*. 10^e journées hydrologiques - Orstom - Septembre 1994, pp. 241-254

Previati M., I. Bevilacqua, D. Canone, S. Ferraris, R. Haverkamp, (2009): Evaluation of soil water storage efficiency for rainfall harvesting on hillslope micro-basins built using time domain reflectometry measurements. *Agricultural Water Management* 97 (2010) 449–456, journal homepage: www.elsevier.com/locate/agwat; pp 449-456

Quantin P. et Combeau A. (1962) : Erosion et stabilité structurale du sol. *ORSTOM*, pp 124-130

Raharinaivo S., (2008) : *Les techniques de correction des ravines et de stabilisation des Lavaka*. PLAE, 39p.

Raynaut, Claude, (1997): *Sahels: diversité et dynamiques des relations sociétés-nature*. Ed. Karthala, Paris ; 430p

Reij Chris (2010) : Reverdir le Sahel : Le succès de la régénération naturelle des arbres. Rapport en ligne sur www.cis.vu.nl/projects

Renard K.G. et al (1997): *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USAID Agricultural service research, Agriculture handbook number 703, 384p.

Renaud Julien, (2004): *Mise en place du modèle agri environnemental SWAT sur le bassin versant du Mercube (Haute-Savoie) : Vers une modélisation des transferts de phosphore*. Mémoire de stage, Université de Savoie ; 75p.

République du Niger : *Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGP)* : (1988), rapport final.

République du Niger, Ministère de l'agriculture et de l'élevage (1997) : *Atlas du secteur agricole du Niger, annexe cartographique de la revue du secteur agricole* ; 186p.

République du Niger, Ministère de l'Environnement et de la Lutte Contre la Désertification, Direction de L'environnement ; (2006) : *La Nomenclature d'Occupation des Sols*. 69p.

République du Niger, Ministère de l'hydraulique et de l'environnement (1994) : *Atlas pour la planification : arrondissement de Birni Konni, Tahoua* ; Juin.

République du Niger, Ministère de l'hydraulique et de l'environnement (1994) : *Atlas pour la planification : arrondissement d'Illéla, Tahoua* ; Juin.

République du Niger, Ministère de l'hydraulique et de l'environnement (1994) : *Atlas pour la planification : arrondissement de Dogon Doutchi, Dosso* ; Juin.

Reynaud Alain (1971) : *Epistémologie de la géomorphologie*. Ed. Masson et Scie, 125p.

Richard Molard, (2003) : *Présentation du projet de recherche et de stage de DEA de Géographie*. IGA, Université nationale de Lesotho ; 13p.

Rigot Jean-Baptiste, (2010) : Dynamique de la rivière Poulvar et morphogenèse de la plaine de Tang-i Bulaghi (Fars, Iran) à l'Holocène. Premiers résultats. Consulté en ligne le 20 Juillet 2012 sur <http://geomorphologie.revues.org/7813?lang=en>

Roose E (1967) : *Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal*. L'agronomie Tropicale ORSTOM n°2, pp 123-152

Roose E. (1974) : *Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs*. Rapport, XIIIe journées de l'hydraulique, Paris ; 6 p.

Roose E. (1977) : *Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : 20 années de mesures en petite parcelle expérimentale*. Travaux et Document de l'ORSTOM n°78 ; Paris, 108p.

Roose E. et al, (1977) : *Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesures en parcelles d'érosion sous pluies simulée*. Cahier ORSTOM pédologie, 25 ; pp7-30

Roose E., (1981) : *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale*. ORSTOM ; pp 107 – 148

Roose E. (1983). *Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique occidentale*, Cahier ORSTOM, série Pédologique, volume. XX, n° 3, pp 327-339.

Roose E. (1987) : *Evolution des stratégies de lutte antiérosives. Nouvelle démarche : la GCES*. Communication au séminaire « Bilan de l'efficacité des techniques anti-érosives », pp 91-96

Roose E. (1994) : *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*, bulletin pédologique de la FAO 70 ; Rome 1994, p.420

Roose E. (1994) : *Les grands thèmes de recherche sur l'érosion : obstacle de développement agricole durable*. Communication du séminaire régionale « système agraire et agriculture durable », Fis et Dir. de recherche agricole du Bénin ; Cotonou du 7 au 12 fév. 1994.

Roose E., De Noni G., Lamachere J.-M. (1998) : *L'érosion à l'ORSTOM: 40 ans de recherches multidisciplinaires*, Réseau érosion du centre ORSTOM, Montpellier, France ; pp54-66.

Roose E. et De Noni G., (1998) : *Apport de la recherche à la lutte antiérosive : bilan mitigé et nouvelle approche*. Etude et gestion des sols 5, 3 ; pp181-194.

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 70 ; Rome réimpression.

- Roose E., (2004) : *La stratégie conservatoire de l'eau, et la fertilité des sols : une stratégie nouvelle de la lutte antiérosive pour le développement durable*. Sécheresse n°1, volume 15, Mars 2004 ; pp5 – 7.
- Roose E. et De Noni G., (2004) : *Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives*. Sécheresse n°1, volume 15, Mars 2004 ; pp121 – 129.
- Roussel B., (1999) : *Déforestation des bas-fonds sahélo-soudaniens du Niger central : de la « brousse noire » aux cultures maraîchères*. Autrepart (9), pp 17-32
- Sadiki A., Saïdati Bouhlassa, Jamal Auajjar, Ali Faleh et Jean-J. Macaire, (2004) : *Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab*. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, n°26, p. 69-79.
- Salomon J. N., (2007) : *cône d'éboulis, de déjection, glacis et piémont : essai de définitions*. Études de Géographie Physique, n° XXXIV, pp 53-67
- Sarr Benoît (2008) : *Recrudescence des fortes pluies et inondations dans un contexte de changement climatique*. AGRHYMET, Bulletin mensuel, Numéro Spécial ; 2008, pp 9
- Seignobos Christian (1989) : *Les parades à la Razzia dans la zone soudanienne au XIXe siècle : la domestication de la cueillette*. In le Risque en Agriculture, pp 335-353.
- Souleymane Salaou M. (2011). *Etude de l'érosion sur un petit bassin versant anthropisé : le bassin du Kori Tyala dans l'aire « ayi noma »*. Mémoire de maîtrise géographie Faculté des Lettres Sciences Humaines, 74 p.
- Stone R. P. et Hilborn D., (2000): *Equation Universelle de Perte en Terre (USLE)*. Fiche technique, Ontario ; 8p.
- Thériault M. (1995) : *« Systèmes d'information géographique : concepts fondamentaux »*, Notes et documents de cours, n°12, Département de géographie Université Laval, 165p.
- Touchart Laurent, (2000) : *Les lacs : origine et morphologie*. L'harmattan, 210p
- Tricart J. (1965) : *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Masson, Paris ; 396p.
- Tricart J. (1978) : *Géomorphologie applicable*. Collection Masson, Paris; 204p.

- USDA-Agricultural Research Service (2008): *Draft User's reference guide: Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2)*. Science documentation, Washington DC; 349p.
- Valentin Christian (1994) : Sécheresse et érosion au Sahel. *Sécheresse* Volume 5, Numéro 3, pp191-198
- Valentin Christian (1998) : Encroûtement superficiel au Sahel. In *spécial érosion, n°56, ORSTOM*; 42p.
- Van der Knijff J. M., Jones R. J. A. et Montaranella L., (2000) : *Estimation du risque d'érosion en Italie*. European Soil Bureau, 46p.
- Veyret Y. (2002) : *Temporalité et rupture en géomorphologie, in limites et discontinuités en géographie*. Collection DIEM, dir. par André Gamblin ; Chapitre 7, pp 109-118
- Vuillaume G. (1968) : Premiers résultats d'étude et d'analyse du ruissellement et d'érosion en zone sahélienne, bassin représentatif de Kounkouzout Niger. Cahier *ORSTOM*, série hydrologie, Volume V n°2. pp33-56
- Wafo Tabopda G. et F. Huynh, (2009): *Caractérisation et suivi des ligneux dans les aires protégées du Nord Cameroun : analyse par télédétection spatiale de la réserve forestière de kalfou*. Journée d'animation Scientifique de l'AUF, Alger.
- Wall, G.J., D.R. Coote, E.A. Pringle et I.J. Shelton (éditeurs), (2002) : *RUSLE-CAN — Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada. Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique au Canada*. Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, No de la contribution AAC2244F, 117 p.
- Waziri Mato M. (1988) : *Etude intégrée d'un type de paysage sahélien : le cas de kwari de Wacha*. Mémoire de Maîtrise de géographie, UAM ; 102p.
- Wieber J. C., (1980): *Dynamique érosive et structure des paysages : essai d'une approche méthodologique*. Thèse, Tome 1 ; atelier de reproduction des thèses, université de Lille III, Paris, 401p.
- Wischmeier W. H. et Smith D. D. (1958): *Rainfall energy and its relationships to soil loss*. Trans. Amer. Geophys. Union 39; pp285-291.

Wischmeier W. H., Jonhson C. B. et Cross B.V. (1971): *a soil erodibility nomograph for farmland and construction sties*. J. soil and water conservation 26 (5) pp 189-192

Zahar Y. et Laborde J.P., (1998) : *une méthode stochastique pour la détermination des fluctuations probables des durées de services des réservoirs collinaires en Tunisie*.

Revue Science de l'eau, 1 ; pp 25-42

Webographie

<http://www.ugb.sn/recherche/lao.htm#theme1>

http://www.cadichonne.net/Tipe5_2/node19

<http://www.esrfrance.fr>

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.ma.auf.org/erosion/chapitre1.html>

<http://www.hypergeo.eu/spip.php?article>

<http://unt.unice.fr/uoh/degsol.php>

<http://www.fao.org/docrep/T1765F/t1765f0r.htm>

<http://www.infotheque.info/fichiers/JSIR-AUF-Hanoi07/articles>

<http://www.iucn.org/fr/>

Annexe 1 : articles et communications

Premier essai d'évaluation du risque d'érosion hydrique dans un écosystème anthropisé au sahel nigérien : le sous bassin versant de koujak (Doutchi, Niger)⁵

BAHARI IBRAHIM Mahamadou¹ ; FARAN MAIGA Oumarou¹ ; NOMAO Dan Lamsso² ; BOUZOU MOUSSA Ibrahim¹

(1) Département de géographie, FLSH, Université Abdou Moumouni BP : 418 Niamey-Niger

E-mail : mahbahari@yahoo.fr

(2) Département de pédologie, FA, Université Abdou Moumouni BP : 10960 Niamey-Niger

Résumé

Dans la zone de cultures sous pluie au Niger, l'érosion hydrique des sols figure parmi l'un des phénomènes de dégradation des sols agricoles. La manifestation de ce phénomène et ses répercussions sur l'économie rurale ont longtemps préoccupé les décideurs et les scientifiques. Très tôt, ces derniers ont procédé à des mesures expérimentales pour comprendre la gravité du problème afin d'apporter des solutions adéquates. Cependant, cette approche demeure fastidieuse et coûteuse.

L'objectif de cette étude est de développer sur un sous bassin versant sahélien, l'utilisation du modèle d'érosion hydrique mis au point au Etats-Unis et constamment mis à jours : la RUSLE. Ce modèle applicable sous les nouvelles techniques de traitement de l'information spatiale est une approche onéreuse d'évaluation du risque d'érosion des terres agricoles.

Il ressort du traitement de données relatives à chaque facteur de l'érosion, une spatialisation et une localisation efficace du risque d'érosion hydrique sur le sous bassin versant.

Mots-clés : *érosion hydrique ; Bassin versant ; Sahel ; RUSLE ; Koujak ; Niger*

⁵ Article soumis

Variabilité climatique et reprise des écoulements des vallées sèches au Sahel : une approche hydrogéomorphologique dans la vallée du kori Mountséka au Niger⁶

BAHARI IBRAHIM Mahamadou¹, FARAN MAIGA Oumarou¹, MAMADOU Ibrahim²; BOUZOU MOUSSA Ibrahim¹⁻³

1 : Département de Géographie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP : 418 Niamey-Niger E-mail : mahbahari@yahoo.fr ;

2 : Département de Géographie, Université de Zinder ; 3 : Géosciences et environnement, Université de Maradi

Résumé de la communication

La présente étude porte sur la vallée sèche du kori Mountséka, située dans la zone agricole au sud du Niger. Cette région peuplée il y a un plus d'un demi-siècle, abrite tous les grands affluents fossiles de la rive gauche du fleuve Niger.

La vallée du kori Mountséka, présente un nouveau comportement caractérisé par des écoulements tronçonnés et progressifs depuis 1994. Aussi, d'autres cas s'observent et se généralisent chaque année avec des conséquences désastreuses sur la circulation des biens et des personnes dans l'espace nigérien.

L'objectif de l'étude est de déterminer les facteurs et les causes de la reprise d'écoulement des koris au sein des vallées sèches suivant une approche hydrogéomorphologique.

Il ressort de l'analyse que, ce nouveau comportement résulte de la forte variabilité des précipitations observées après 1990, mais aussi à la profonde évolution d'usage des sols observée dans la vallée, il y a une quarantaine d'années. Les forts taux de ruissellement sur les versants ont entraîné une augmentation et une multiplication des mares dans l'axe de drainage du kori. Ces mares de plus en plus permanentes, s'interconnectent pour donner un écoulement pendant la saison des pluies. Cet écoulement jadis inexistant, endommage régulièrement le réseau routier sous-dimensionné.

D'où la nécessité d'agir afin de proposer des mesures adéquates de gestion ressources naturelles suite à la disponibilité des eaux de surface mais aussi protéger le réseau routier.

Mots clés : *variabilité climatique ; vallées sèches ; Hydrogéomorphologie; kori ; Mountséka ; Sahel nigérien*

⁶ Communication orale à la 7^e Journée Scientifique du 2iE du 1^{er} au 5 Avril 2013

La dynamique érosive dans la vallée de Keita (Région de Tahoua, Niger)⁷

**Ibrahim Bouzou Moussa¹, Oumarou Faran Maiga¹, Mahamadou Bahari Ibrahim¹,
Issaka Lona¹**

¹ Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Résumé

Situé au Centre du Niger et dans la région de l'Adar-Doutchi-Majiya, le bassin versant du kori Keita a subi de fortes perturbations hydrogéomorphologiques liées à une forte pression démographique et des effets du climat. Les conséquences de ces perturbations ont conduit à un aménagement de type récupération et mise en valeur des terres dégradées. L'objectif de cet article est de mettre en évidence les changements opérés dans la dynamique érosive. La méthode a consisté en une analyse diachronique sur la base de la cartographie des risques érosifs avec comme repères les années 1986 et 2007. On observe une nette transformation des paysages même si de grandes surfaces sont encore nues ou ravinées. L'aménagement de ce bassin versant dans un contexte d'augmentation de la pluviométrie et d'une régénération naturelle assistée en sont les conditions.

Mots clés : *Aménagement ; érosion ; bassin versant ; Keita ; Adar-Doutchi-Majiya ; Niger*

⁷ Article soumis

Analyses des causes et impacts des risques d'inondation dans la région de Niamey au Niger en 2010 et 2012⁸

MAMADOU Ibrahim¹⁻² (imadou_ib@yahoo.fr); BAHARI IBRAHIM Mahamadou⁴ ; MALAM ABDOU Moussa¹⁻³⁻⁵ ; ABBA Bachir²⁻⁴ ; ILLO Sabo³ ; DESCROIX Luc¹⁻⁵ WAZIRI MATO Mamane²

(1)– Institut de Recherche pour le Développement (IRD) Niamey, BP : 11416, Tel; (00227) 20752610, Niamey Niger ;

(2)– Département de géographie, FLSH, Université de Zinder, Niger, BP : 656; Zinder ;

(3)– Département d'Anglais, FLSH, Université de Zinder, Niger, BP : 656; Zinder ;

(4)– Département de Géographie, FLSH, Université Abdou Moumouni, Niger, BP : 418 ; Niamey, Niger ;

(5)– LTHE Grenoble France

Résumé de la communication

La région de Niamey au Niger, au vu de son contexte hydro-géomorphologique est l'une des localités les plus touchées par les inondations qu'a connues l'ensemble de la zone sahélienne en 2010 et 2012. La pluviométrie enregistrée en 2012 est en hausse de plus de 70% comparée à 2011 dans l'ensemble du Sahel. Les koris ont connu des écoulements très importants. La crue du fleuve Niger est très exceptionnelle en 2012, la cote des eaux du fleuve à Niamey atteint 618 cm, et n'a été jamais enregistrée depuis 1929, création de la station hydrologique de Niamey, soit un débit de 2300 m³/seconde le 21 août 2012.

L'objectif de l'étude est de déterminer les facteurs et les causes d'inondations répétées dans cette région de Niamey. Il est important d'analyser les enjeux socio-économiques liés à ce sinistre et prévoir les stratégies durables de gestion de risque.

D'après le comité régional de Niamey chargé de la gestion des risques d'inondation mis en place, le bilan provisoire est plus important en 2012 qu'en 2010. On note 9 personnes décédées en 2012 et 12.365 ménages ou 82.982 personnes ont été affectées par ces inondations. 9.200 maisons se sont effondrées et 5.000 autres sont toujours inondées. 8.105,10 ha de terres cultivables et 17.538 ha d'aires de pâturage ont été détruits par les eaux. Cette situation a affecté 34.254 exploitants.

Mots-clés : Région de Niamey ; vallée du fleuve Niger, koris ; crue exceptionnelle, inondation répétée ; stratégies durables ; risque naturel ; changement climatique

⁸ Communication orale à la 2^e Conférence Scientifique de UNCCD, 04 - 07 February 2013 - Fortaleza, Brazil

Annexe 2 : guide d'entretien

Guide d'entretien sur la dynamique actuelle du kori Mountséka

❖ Identification

Nom et prénom :

Age :

Statut matrimonial :

Village :

Activité principale :

Activités secondaires :

❖ Situation des mares et l'écoulement du Kori dans le bas fond

Quelles sont les principales mares situées dans le bas –fond du kori Mountséka?

Quel était leur régime il ya 20 ans?

Quel est leur régime aujourd'hui ?

Quelles sont les années et les périodes des hautes eaux exceptionnelles du kori ?

Connaissez-vous ce phénomène ?

Selon vous quelles en sont les causes du changement ?

❖ Situation des koris et leurs cônes (et ou ravines)

Faites nous un historique du kori (bas fond) de votre village il y a 20 ans (ou un peu plus)

Quelle idée faites-vous des cônes alluviaux ?

Faites nous un aperçu (si possible avec des périodes indicatives) de l'évolution de ces cônes durant les 20 dernières années ?

Selon vous, quel est le rôle de ces édifices?

❖ Situation des champs et de la végétation

Quelle est la situation de vos champs dans la vallée il y a 20 ans (avant la reprise des écoulements) ?

Comment se caractérise la végétation dans la vallée et le long des kori secondaires ?

Selon vous quelles sont les causes ?