

Rapport EPSAT-Niger 2009



Vanessa Ben Tahar,

Avec la collaboration de
Abassa ALHASSANE
Abdoulaye KONE
Bodo SEYNI
et Hamissou ALASSANE

Table des matières

Table des figures.....	3
Liste des tableaux.....	3
Introduction.....	4
Chapitre 1 :	
Caractéristiques de la saison des pluies 2009 à l'échelle du Niger.....	5
Chapitre 2 :	
Le réseau de pluviographes 2009.....	7
2.1 Les stations et leur installation.....	7
2.1.1 Les stations.....	7
2.1.2 Installation et modifications du réseau.....	8
2.2 Qualité de l'acquisition.....	9
2.2.1 Taux de fonctionnement.....	9
2.2.2 Valeurs seaux et valeurs augets.....	10
2.3 Coût de fonctionnement des tournées.....	10
2.3.1 Tournée pluvio n°1.....	10
2.3.2 Tournée pluvio n°2.....	11
2.3.3 Tournée pluvio n°3.....	12
2.3.4 Tournée pluvio n°4.....	13
2.3.5 Tournée pluvio n°5.....	13
Chapitre 3 :	
Analyse spatiale de la saison.....	14
3.1 Les cumuls saisonniers.....	14
3.1.1 Description générale de la saison.....	14
3.1.2 Réseau à long terme : les 30 pluviographes.....	16
3.1.3 Comparaison de la saison 2009 avec la moyenne sur les 20 années de données.....	17
3.2 Les événements pluvieux.....	18
3.2.1 Description générale.....	18
3.2.2 Les gradients locaux.....	19
Chapitre 4 :	
Analyse temporelle de la saison.....	22
4.1 Le cumul saisonnier.....	22
4.2 Caractérisation de la saison.....	23
4.2.1 Les événements majeurs : critère climatique.....	23
4.2.2 Les événements indépendants : critère hydrologique.....	24
4.2.3 Critère agronomique.....	25
Chapitre 5 :	
Appareillage complémentaire.....	27
5.1 Degré carré de Niamey.....	27
5.2 Réseau synoptique.....	27
Conclusion.....	29
Annexe.....	30

Table des figures

FIG. 1.1 – Cumuls pluviométriques saisonniers du 1 Mai au 31 Juillet 2009 au Sahel (cf. bulletin situation au 10 Août 2009 de l'AGRHYMET).....	5
FIG. 1.2 – Cumul pluviométrique de la saison 2009, au 30 Septembre dans la partie agricole du Niger.....	6
FIG. 1.3 – Comparaison du cumul pluviométrique de la saison 2009 à la moyenne 1971-2000, au 30 Septembre dans la partie agricole du Niger.....	6
FIG. 2.1 – Les stations du réseau 2009.....	7
FIG. 2.2 – Les modifications du réseau en 2009.....	8
FIG. 2.3 – Comparaison des cumuls augets et des cumuls seaux.....	10
FIG. 2.4 – Tournée n°1 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge et jour 3 en vert).....	11
FIG. 2.5 – Tournée n°2 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).....	12
FIG. 2.6 – Tournée n°3 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).....	12
FIG. 2.7 – Tournée n°4 (jour 1 en noir).....	13
FIG. 3.1 – Isohyètes des cumuls seaux pour la saison 2009 sur l'ensemble des stations du degré carré de Niamey.....	14
FIG. 3.2 – Isohyètes de la moyenne des cumuls seaux des 30 stations initiales du réseau EPSAT pour les saisons 1990 à 2009.....	15
FIG. 3.3 – Evolution des cumuls seaux pour 2009 et la moyenne de 1990 à 2009 en fonction de leurs latitudes.....	16
FIG. 3.4 – Isohyètes des cumuls seaux pour la saison 2009 des 30 stations EPSAT et comparaison avec les isohyètes pour le réseau complet.....	16
FIG. 3.5 – Saison 2009 et anomalies par rapport à la moyenne 1990-2009.....	17
FIG. 3.6 – Répartition des événements en fonction de leur cumul moyen pour la saison 2009.....	18
FIG. 3.7 – Contribution des différents types d'événements au cumul moyen.....	19
FIG. 3.8 – Isohyètes de l'évènement du 7 Juillet 2009 (cumul évènementiel en mm).....	19
FIG. 3.9 – Isohyètes de quatre évènements marquants de 2009 (cumul évènementiel en mm).....	20
FIG. 4.1 – Comparaison de la pluviométrie mensuelle de la saison 2009 à celle de la moyenne des saisons de 1990 à 2009.....	22
FIG. 4.2 – Répartition des évènements majeurs de la saison 2009 (hauteur d'eau moyenne sur le degré carré de Niamey en mm).....	23
FIG. 4.3 – Répartition mensuelle des évènements majeurs et des évènements de grande extension de la saison 2009.....	23
FIG. 4.4 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2009 suivant le critère hydrologique.....	24
FIG. 4.5 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2009 suivant le critère agronomique.....	26

Liste des tableaux

TAB. 2.1 – Lacunes d'acquisition du réseau 2009.....	9
TAB. 5.1 – Récapitulatif des pluies relevées sur le réseau synoptique en 2009.....	27

Introduction

Le Sahel est une région climatique située entre le désert du Sahara au Nord et l'Afrique humide au sud. L'année y est caractérisée par l'alternance d'une saison sèche d'octobre-novembre à avril-mai et d'une saison humide de juin à octobre.

Pour l'ensemble du réseau EPSAT, la pluviométrie moyenne en 2009 (487,1 mm) est inférieure au cumul saisonnier moyen (562,3 mm) de la période de référence 1951-1990, et se situe tout juste entre la moyenne des saisons de 1971 à 1990 (480 mm, considérées comme deux décennies sèches) et la moyenne des saisons 1951 à 1970 (667 mm, considérées comme deux décennies pluvieuses). La saison des pluies 2009 est une saison plutôt sèche.

Comme chaque année, la saison pluvieuse a montré de fortes variabilités spatiales et temporelles qui vont être étudiées en détail dans ce rapport.

Tout d'abord, on abordera succinctement la saison 2009 à l'échelle du Niger mais l'analyse des données qui va suivre concerne uniquement la zone du degré carré de Niamey.

Dans un premier temps, le réseau de mesure opérationnel en 2009 est décrit et les données acquises au cours de la saison sont commentées.

Ensuite, l'analyse intervient au niveau spatial, à différentes échelles (cumuls annuel ou bien évènementiels) afin de mettre en évidence les gradients locaux.

Et pour finir, il sera question du déroulement de la saison dans le temps. Pour cela, l'étude concerne les cumuls mensuels ; et des évènements majeurs vont être également définis selon des critères d'extension spatiale et de continuité temporelle pour affiner le raisonnement. En effet, la répartition de ces évènements, leur nombre ou bien leur contribution au cumul total par exemple vont permettre de caractériser plus précisément la saison. On pourra en déduire également la durée de cette saison d'un point de vue climatique, qu'il sera intéressant de comparer avec des dates évaluées selon des critères hydrologiques et agronomiques.

Chapitre 1 : Caractéristiques de la saison des pluies 2009 à l'échelle du Niger

Au cours du mois de mai 2009, le Front Inter Tropical (FIT) est remonté normalement sur la partie Ouest du Sahel et descendu significativement sur sa partie Est particulièrement sur le centre Est du Niger, où le décalage a atteint environ 400 km entre la première et la deuxième décade.

Au cours du mois de Juin 2009, la progression du FIT vers le Nord a entraîné une hausse du flux de mousson sur le Sud du Niger en déclenchant une hausse des activités pluvio-orageuses. Les pluies ont été mal réparties avec des poches de sécheresse sur tout le territoire

Sur la période Juillet-Août-Septembre 2009, les pluies dans la sous région ont été moins abondantes par rapport à la moyenne de la période 1971-2000 et déficitaires par rapport à l'année 2008.

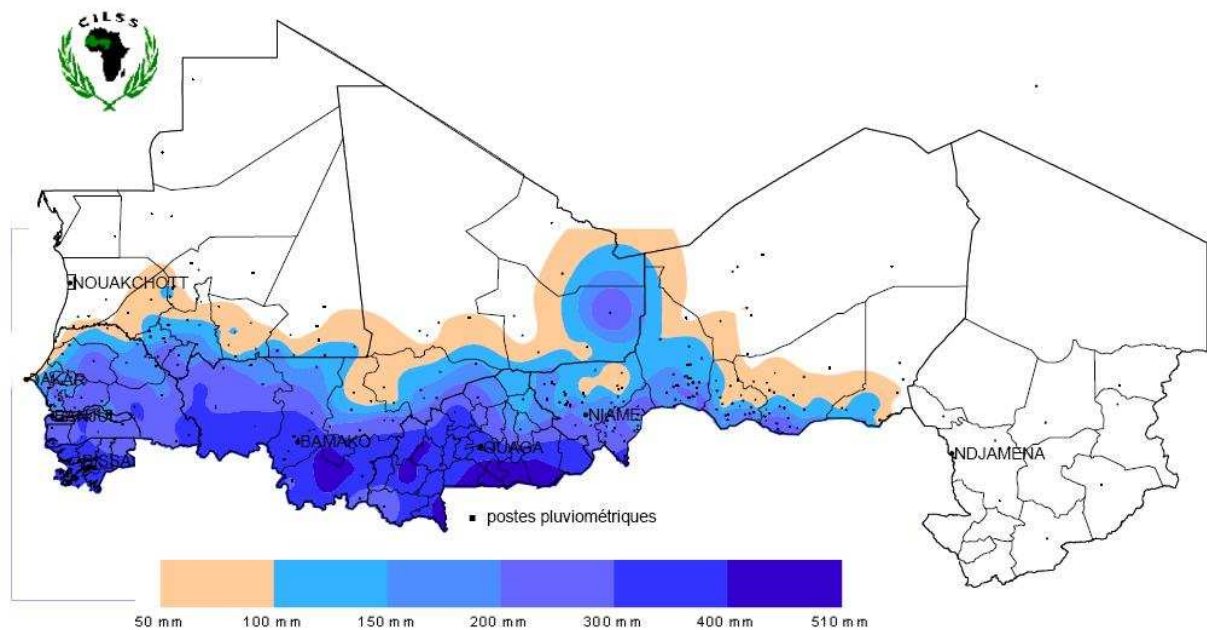


FIG. 1.1 – Cumuls pluviométriques saisonniers du 1 Mai au 31 Juillet 2009 au Sahel (cf. bulletin situation au 10 Août 2009 de l'AGRHYMET).

En attente de la DMN

FIG. 1.2 – Cumul pluviométrique de la saison 2009, au 30 Septembre dans la partie agricole du Niger.

FIG. 1.3 – Comparaison du cumul pluviométrique de la saison 2009 à la moyenne 1971-2000, au 30 Septembre dans la partie agricole du Niger.

Chapitre 2 : Le réseau de pluviographes 2009

2.1 Les stations et leur installation

2.1.1 Les stations

L'expérimentation EPSAT-Niger est dans une phase de suivi à long terme depuis la saison 1994, faisant suite au programme Hapex Sahel débuté en 1990. Par ailleurs, dans le cadre du projet de recherche AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine), plusieurs échelles d'observation ont été définies. Tout d'abord une période d'observations à long terme (LOP) qui s'appuie sur le réseau opérationnel. Ensuite, une période d'observations renforcées (EOP) a conduit en 2005 à renforcer le réseau de mesures pluviométriques. Aux 34 stations existantes ont été ajoutés 20 postes pluviographiques. Ceux-ci permettent d'une part d'affiner la maille du réseau mais également d'étendre la zone d'étude au Nord où il existe déjà un suivi piézométrique du bassin hydrogéologique du « Kori de Dantiandou ».

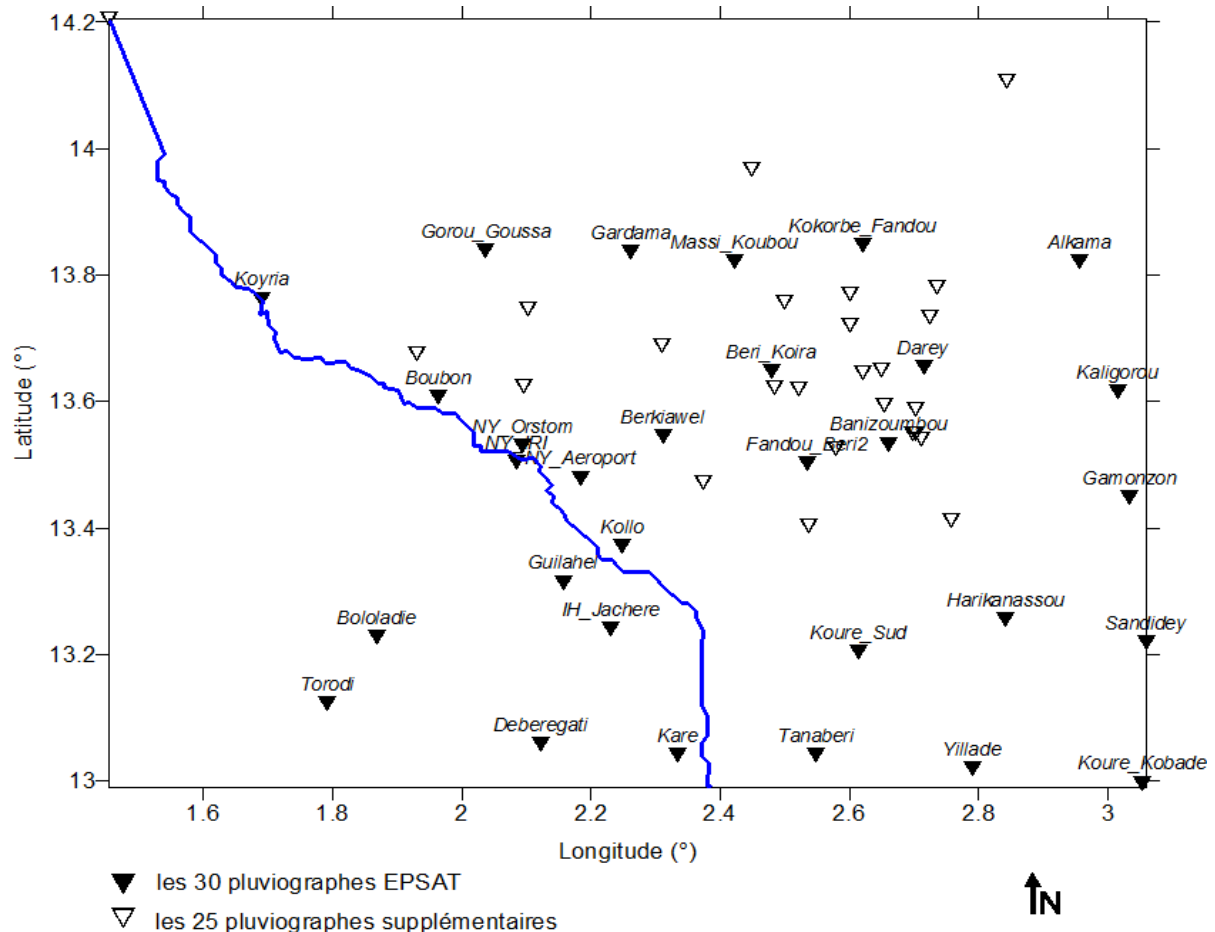


FIG. 2.1 – Les stations du réseau 2009.

Le site d'observation est limité en longitude par les méridiens 1°40 E et 3°10 E et en latitude par les parallèles 13° N et 14°20 N; on continuera à l'appeler « degré carré Niamey ». Cela représente une couverture pluviographique de 23 000 km² avec une maille du réseau variable.

Cependant, le super site aux environs de Wankama et Banizoumbou présente une densité d'appareillage plus importante.

Les pluviographes sont équipés d'augets basculeurs (0,5 mm de hauteur d'eau par basculement), et sont munis d'un cône de 400 cm². Les systèmes d'acquisition des données pluviométriques sont des centrales Hobos. La figure 2.1 montre la répartition des stations sur la zone d'étude, et le tableau A1 en annexe récapitule les coordonnées des 59 stations.

Dans le cadre de la collaboration avec la Direction de la Météorologie Nationale, les données aux postes de Birnin n'Konni, Tahoua, Maradi et Zinder sont également collectés.

2.1.2 Installation et modifications du réseau

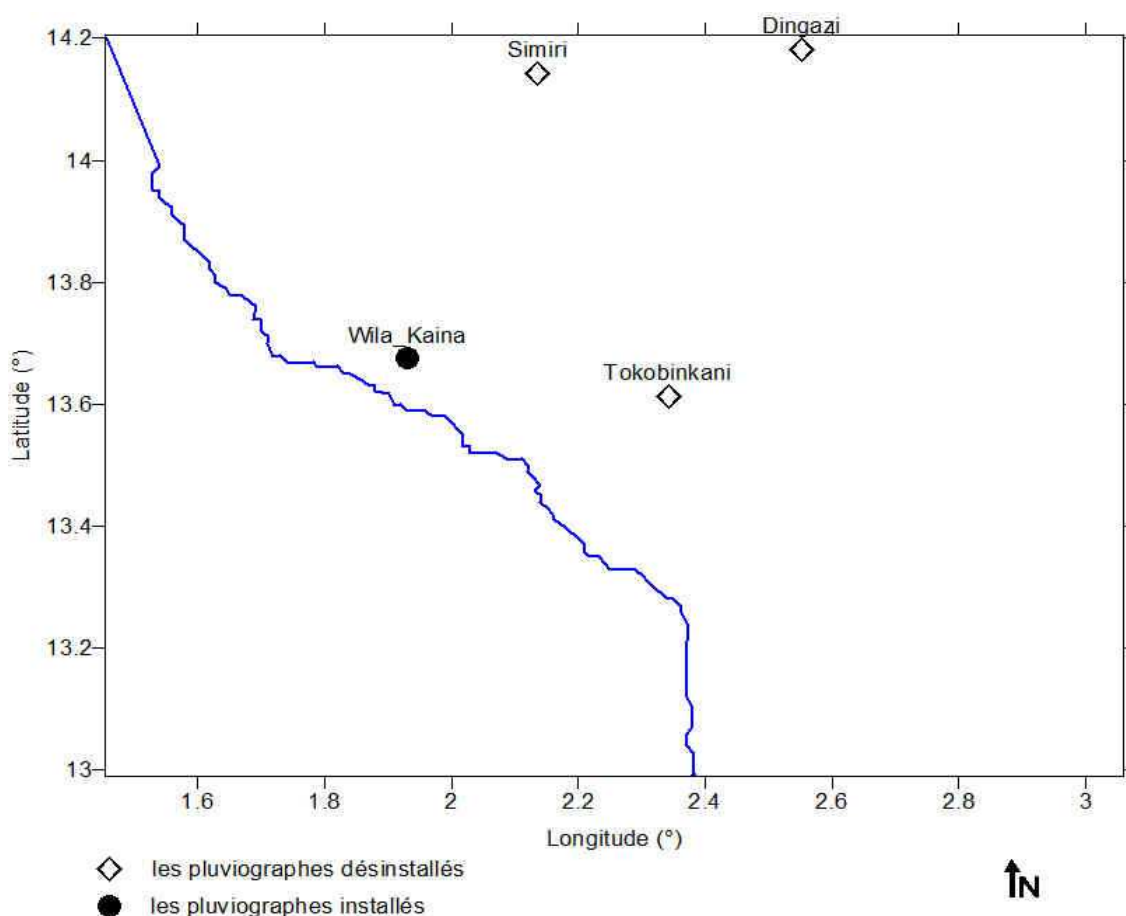


FIG. 2.2 – Les modifications du réseau en 2009.

Pendant la saison sèche, les centrales d'acquisition des pluviographes ont été démontées et entreposées dans nos locaux. Cependant, les cônes récepteurs et les blocs augets sont restés en place (avec gardien) afin de limiter les dérèglements et les risques de casse liés à leur manutention. L'ensemble des stations a été réinstallé durant la dernière quinzaine de mars et la première quinzaine d'avril 2009 pour pouvoir commencer les acquisitions de la nouvelle saison pluvieuse mi avril. En annexe le tableau A2 présente le planning d'installation des stations et les cumuls seuu mesurés.

A noter en 2009 la suppression des stations Dingazi, Simiri et Tokobinkani par souci d'économie et l'installation de la station Wila-Kaina (Kolonga déplacé). La figure 2.2 permet de visualiser ces changements.

L'ensemble des stations a reçu une visite toutes les 3 semaines environ, pour relever les données des enregistreurs Hobos et faire l'entretien des capteurs. Toutes les stations ont été démontées durant les mois d'octobre et novembre selon le même protocole que pour la saison sèche précédente, hormis les trois stations de Niamey (Aéroport, IRI et ORSTOM) et celles de Banizoumbou et Wankama qui restent en veille pendant toute la saison sèche.

2.2 Qualité de l'acquisition

2.2.1 Taux de fonctionnement

Stations	Dates de lacunes	Nb de jours	Pourcentage
Banizoumbou	05 au 26 mai / 16 juin au 10 juillet/ 21 aout au 3 sept.	57.45	31.39
Billingol	19 mai au 18 juin	29.96	16.37
Darey	24 au 29 juillet	4.79	2.62
Gardama	05 au 25 Aout	19.89	10.87
Gorou_Goussa	05 au 25 Aout	19.88	10.86
Kafina	12 juin au 8 juillet/ 14 au 29 juillet/ 30 juillet au 18 aout	60.72	33.18
Kolo_Diogono	18 au 26 mai/ 12 juin au 08 juillet	33.99	18.57
Koure_Sud	29 sept. au 15 octobre	15.96	8.72
Koyria	15 avril au 15 mai	29.96	16.37
Massi_Koubou	15 avril au 11 mai	24.98	13.65
Tondibiagorou	12 au 23 juin	10.95	5.98
Torodi	14 au 24 aout/ 02 au 16 sept.	24.60	13.44
Wila_Kaina	01 au 16 juillet	15.39	8.41
Konni	29 aout au 15 octobre	46.78	25.57

TAB. 2.1 – Lacunes d'acquisition du réseau 2009.

Sur l'ensemble du réseau, le taux de fonctionnement moyen pour la saison 2009 (du 15/04/09 au 15/10/08) est supérieur à 96%. Dix stations ont un taux de fonctionnement inférieur à 90%.

La couverture de la saison des pluies 2009 est satisfaisante. Les problèmes rencontrés ont été d'ordre électrique et mécanique :

- défaut d'alimentation de l'enregistreur Hobo, malgré le remplacement de toutes les piles en début de saison (changer les piles en cours de saison ?)
- défaut de communication avec l'enregistreur (câbles de connexion fragiles)
- blocage des augets sur la majorité des stations présentes dans le tableau 2.1.

Le tableau 2.1 récapitule les périodes, le nombre de jours et le pourcentage de lacunes pour chaque station concernée.

2.2.2 Valeurs seaux et valeurs augets

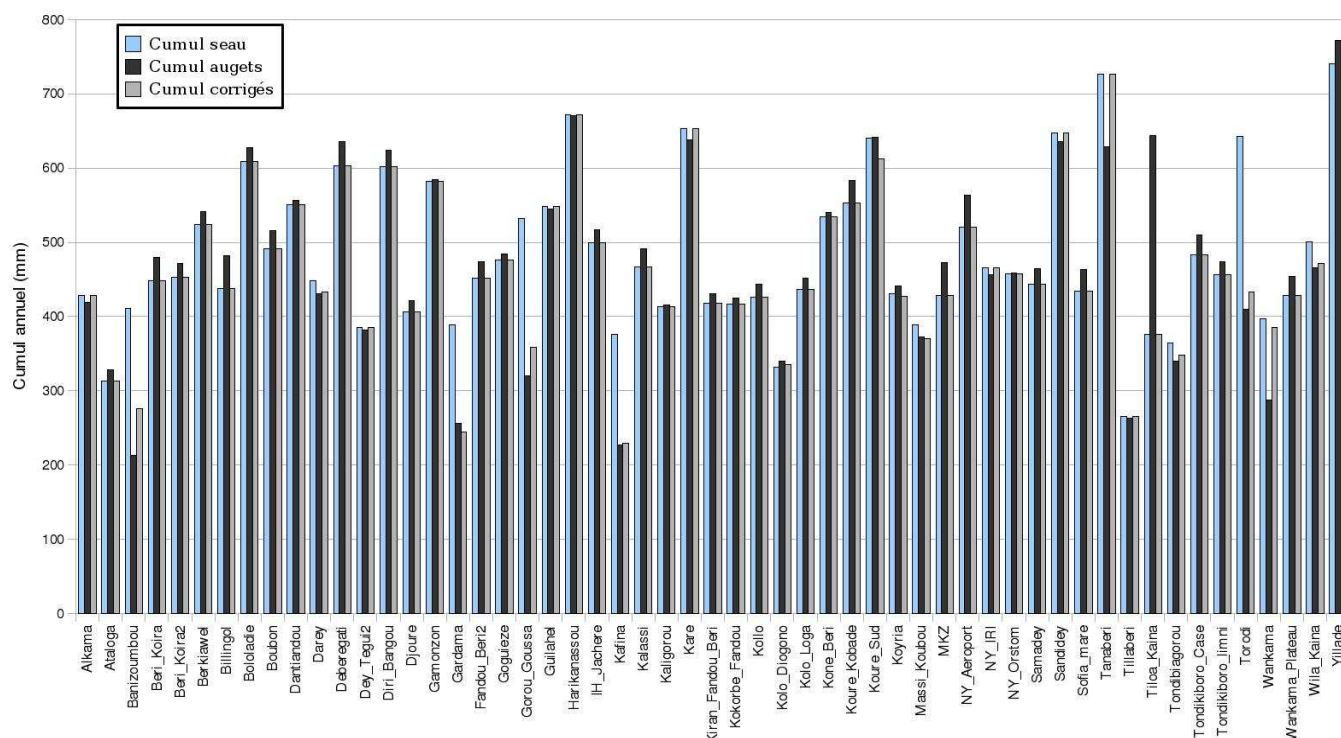


FIG. 2.3 – Comparaison des cumuls augets et des cumuls seaux.

Pour la saison 2009, 8 stations présentent un écart relatif entre le cumul seau et le cumul augets supérieur à 10% et 35 un écart inférieur à 5%.

Pour améliorer encore la qualité de nos données, comme pour la saison précédente, on a choisi d'appliquer une correction automatique pour les écarts entre cumul seau et cumul augets inférieurs à 20% (entre deux relevés consécutifs). Cette correction réévalue la valeur de chaque basculement au prorata de l'écart.

Après correction, 5 stations présentent toujours des écarts importants alors que 50 stations sont sous la barre des 5%.

La figure 2.3 récapitule les différents cumuls obtenus pour chaque station.

2.3 Coût de fonctionnement des tournées

Pendant la saison des pluies, à partir de la date d'installation jusqu'à la date de désinstallation, on effectue les tournées T1 à T4 toutes les 3 semaines et la tournée T5 3 fois par an.

2.3.1 Tournée pluvio n°1

Cette tournée concerne 20 pluviographes répartis du Nord au Sud-est du degré carré de Niamey. Elle se réalise en trois jours. Au cours du premier jour, on effectue la maintenance et la relève des données des stations de Berkiawel, Wankama Plateau, Kolo Diogono, Kolo Loga, Korkobe Fandou, Djoure, Kafina et Darey, nuit à la case IRD de Wankama. Pendant le deuxième jour, on visite les stations d'Ataloga, Alkama, Kaligorou, Gamonzon, Sandidey, Koure Kobadey et

Harikanassou, nuit sur le plateau de Birnin Gaoure. Et le troisième jour, on termine par les stations de Yillade, Koure Sud, Diri Bangou, Tanaberi et Kollo.

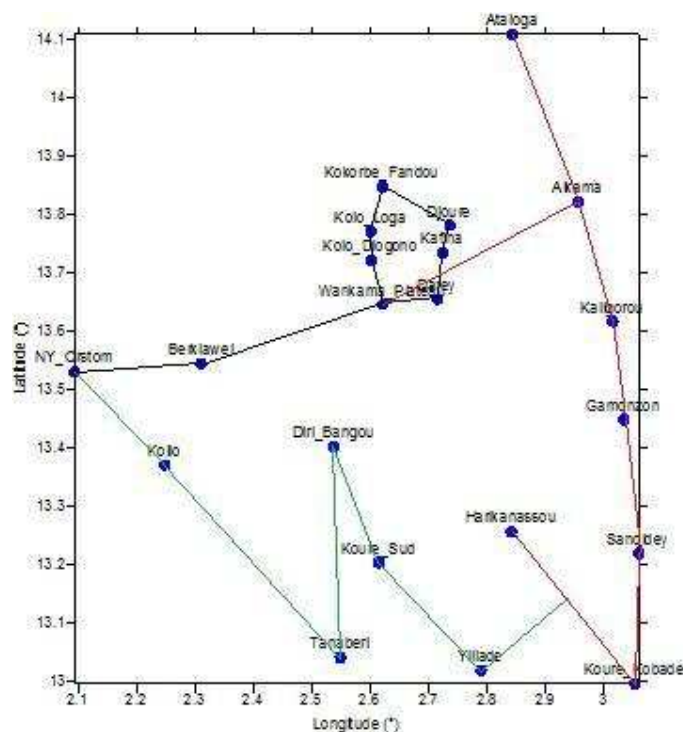


FIG. 2.4 – Tournée n°1 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge et jour 3 en vert).

Pour chaque tournée T1 il faut compter un budget d'environ 194 900 FCFA qui comprend :

- Frais kilométriques : 730 km * 120 FCFA = 87 600 FCFA
- Essence : 50 000 FCFA (pour 1 litre = 465 FCFA)
- Péage : 300 FCFA
- Perdiems des Agents : (5 repas*3500 FCFA + 2 nuits*5500 FCFA) * 2 agents = 57000 FCFA

Auquel se rajoute la paie des gardiens une fois par mois de 126 000 FCFA.

2.3.2 Tournée pluvio n°2

Cette tournée concerne 15 pluviographes répartis aux alentours de Wankama et Banizoumbou. Elle se réalise en deux jours. Au cours du premier jour, on effectue la maintenance et la relève des données des stations de Gassan Kournie, Kalassi, Dantiandou, Banizoumbou, Tondikiboro limni et Case, Sofia, Samadey, MKZ et Wankama, nuit à la case IRD de Wankama. Pendant le deuxième jour, on visite les stations de Kiran Fandou, Beri Koira 1 et 2, Goguezé et Billingol.

Pour chaque tournée T2 il faut compter un budget d'environ 89 550 FCFA qui comprend :

- Frais kilométriques : 270 km * 120 FCFA = 32 400 FCFA
- Essence : 25 000 FCFA (pour 1 litre = 465 FCFA)
- Péage : 150 FCFA
- Perdiems des Agents : (3 repas*3500 FCFA + 1 nuit *5500 FCFA) * 2 agents = 32000 FCFA

Auquel se rajoute la paie des gardiens une fois par mois de 91 000 FCFA.

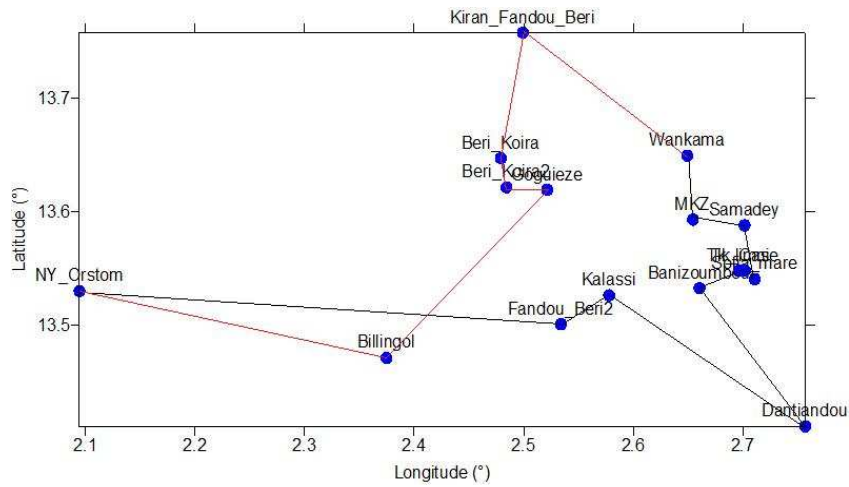


FIG. 2.5 – Tournée n°2 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).

2.3.3 Tournée pluvio n°3

Cette tournée concerne 14 pluviographes répartis au Nord du degré carré de Niamey. Elle se réalise en deux jours. Au cours du premier jour, on effectue la maintenance et la relève des données des stations de Tondibiagorou, Kone Beri, Gorou Goussa, Gardama Kouara, Tiloa Kaina, Massikoubou, Dey Tegui, nuit à Niamey. Pendant le deuxième jour, on visite les stations de NY Aéroport, NY IRI, NY Orstom, Boubon Golf, Willa, Koyria et Tillabéri.

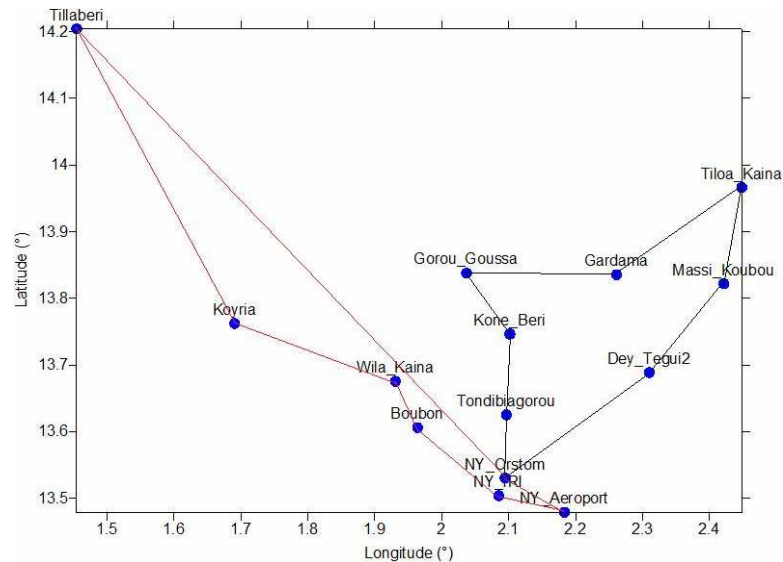


FIG. 2.6 – Tournée n°3 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).

Pour chaque tournée T3 il faut compter un budget d'environ 103 400 FCFA qui comprend :

- Frais kilométriques : 430 km * 120 FCFA = 51 600 FCFA
- Essence : 30 000 FCFA (pour 1 litre = 465 FCFA)
- Péage : 1000 FCFA
- Perdiems des Agents : (3 repas*3500 FCFA) * 2 agents = 21000 FCFA

Auquel se rajoute la paie des gardiens une fois par mois de 75 000 FCFA.

2.3.4 Tournée pluvio n°4

Cette tournée concerne 6 pluviographes répartis au Sud sur la rive droite. Elle se réalise en un jour. On effectue la maintenance et la relève des données des stations de Guilahel, Ih Jachère, Karé, Deberegati, Torodi et Bololadie.

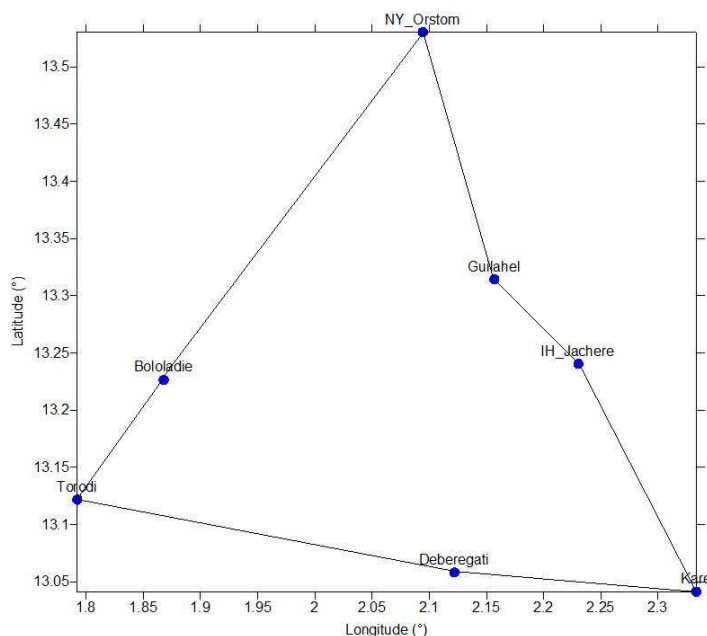


FIG. 2.7 – Tournée n°4 (jour 1 en noir).

Pour chaque tournée T4 il faut compter un budget d'environ 47 500 FCFA qui comprend :

- Frais kilométriques : $210 \text{ km} * 120 \text{ FCFA} = 25\,200 \text{ FCFA}$
- Essence : $15\,000 \text{ FCFA}$ (pour 1 litre = 465 FCFA)
- Péage : 300 FCFA
- Perdiems des Agents : $(1 \text{ repas} * 3500 \text{ FCFA}) * 2 \text{ agents} = 7000 \text{ FCFA}$

Auquel se rajoute la paie des gardiens une fois par mois de 45 000 FCFA.

2.3.5 Tournée pluvio n°5

Cette tournée concerne 4 pluviographes répartis jusqu'au centre du Niger. Elle se réalise en quatre jours. Au cours du premier jour, on fait route jusqu'à Maradi, nuit à Maradi. Pendant le deuxième jour, on visite le pluviographe de Maradi ainsi que les quatre stations météo INRAN aux alentours, puis route vers Zinder, nuit à Zinder. Le troisième jour, on travaille sur le pluviographe de Zinder, puis retour jusqu'à Birni N' Konni, nuit à Birni N' Konni. Le quatrième jour, on relève les données sur le pluviographe de Birni N' Konni, puis route vers Tahoua et visite du pluviographe de Tahoua ainsi que de la station météo INRAN, et enfin retour sur Niamey.

Pour chaque tournée T5 il faut compter un budget d'environ 513 300 FCFA qui comprend :

- Frais kilométriques : $2280 \text{ km} * 120 \text{ FCFA} = 273\,600 \text{ FCFA}$
- Essence : 145 000 FCFA
- Péage : 5700 FCFA
- Perdiems des Agents : $(8 \text{ repas} * 3500 \text{ FCFA} + 3 \text{ nuits} * 5500 \text{ FCFA}) * 2 \text{ agents} = 89000 \text{ FCFA}$

Auquel se rajoute la paie des gardiens trois fois par an de 20 000 FCFA.

Chapitre 3 : Analyse spatiale de la saison

3.1 Les cumuls saisonniers

3.1.1 Description générale de la saison

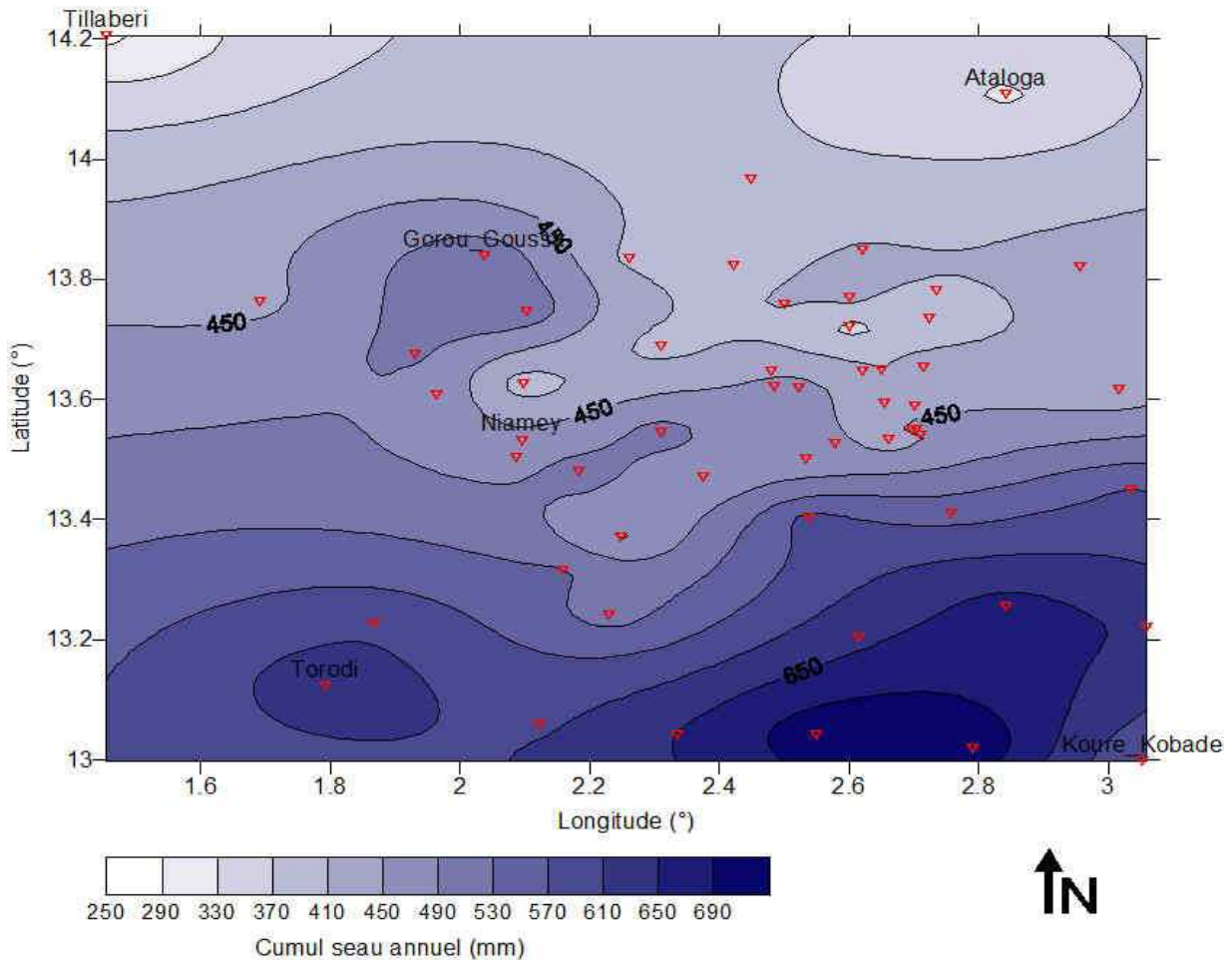


FIG. 3.1 – Isohyètes des cumuls seau pour la saison 2009 sur l'ensemble des stations du degré carré de Niamey.

Avec une moyenne spatiale de 487,1 mm sur l'ensemble des 55 stations du réseau, la saison 2009 n'est pas très pluvieuse contrairement à la saison 2008 avec 519 mm. En effet, la pluviométrie 2009 sur le degré carré de Niamey est inférieure au cumul moyen de 562,3 mm de la période de référence 1951-1990, et se situe tout juste entre la moyenne des saisons de 1971 à 1990 (480 mm, considérées comme deux décennies sèches) et la moyenne des saisons 1951 à 1970 (667 mm, considérées comme deux décennies pluvieuses). La saison des pluies 2009 est une saison plutôt sèche.

La figure 3.1 a été réalisée selon les modèles de variogrammes définis dans l'article *Rainfall estimation in the Sahel – part 1 : Error Fonction* par Abdou Ali et al. Pour une échelle spatiale méso et une échelle temporelle annuelle, il s'agit d'un variogramme de type double exponentielle dont les caractéristiques se trouvent en annexe dans le tableau A3.

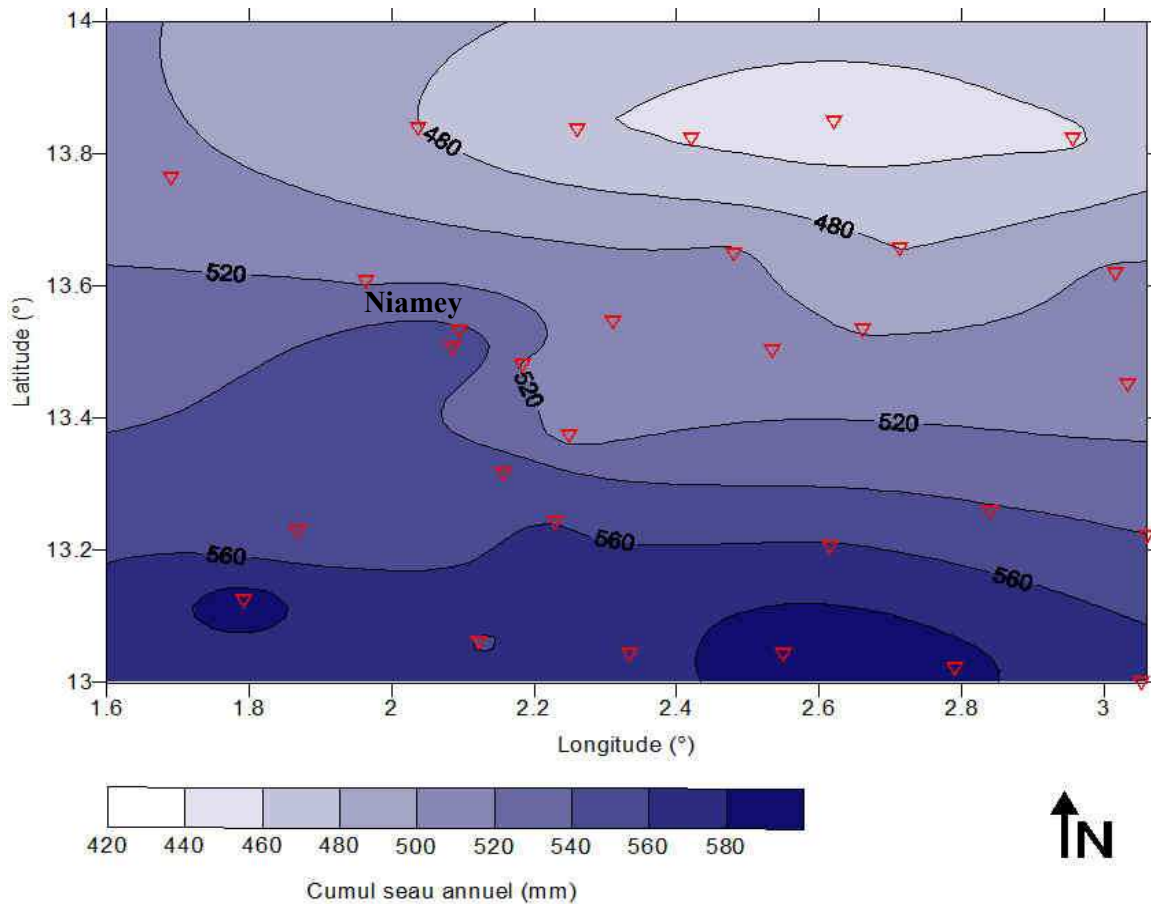


FIG. 3.2 – Isohyètes de la moyenne des cumuls seaux des 30 stations initiales du réseau EPSAT pour les saisons 1990 à 2009.

La moyenne spatiale sur les 30 stations initiales du réseau EPSAT donne 519,8 mm pour 2009. Cette valeur est du même ordre que la moyenne spatiale du suivi en cours EPSAT/CATCH/AMMA initié en 1990 (519,2 mm).

Les cumuls extrêmes de la saison ont été obtenus aux stations de Yillade (740,6 mm) et Tillabéri (265,9 mm) ce qui donne un rapport maximum/minimum de 2,8. Au sein du réseau à long terme de 30 stations, le minimum enregistré pour la saison est Massi Koubou avec 388,7 mm, ce qui ramène le rapport à 1,9 (en 2008 ce rapport était de 2).

Ataloga, à l'extrême nord-est de notre zone d'étude et Yillade au sud-est sont séparées de 120 km. On en déduit un gradient pluviométrique de 3,4 mm/km qui est révélateur de la forte variabilité spatiale de la pluviométrie dans la région, comme le laisse présager la figure 3.1.

La figure 3.2 qui montre les isohyètes des cumuls seau pour 2009 et moyens sur la période 1990-2009, fait apparaître une tendance relativement marquée Nord-Sud dans l'orientation du gradient global. Si on cherche à corréliser le cumul pluviométrique avec la latitude (figure 3.3), on s'aperçoit qu'à l'échelle d'une saison la variabilité locale génère un léger bruit ($R^2=0,66$), mais qu'en moyennant sur l'ensemble du suivi on obtient un résultat acceptable ($R^2=0,77$).

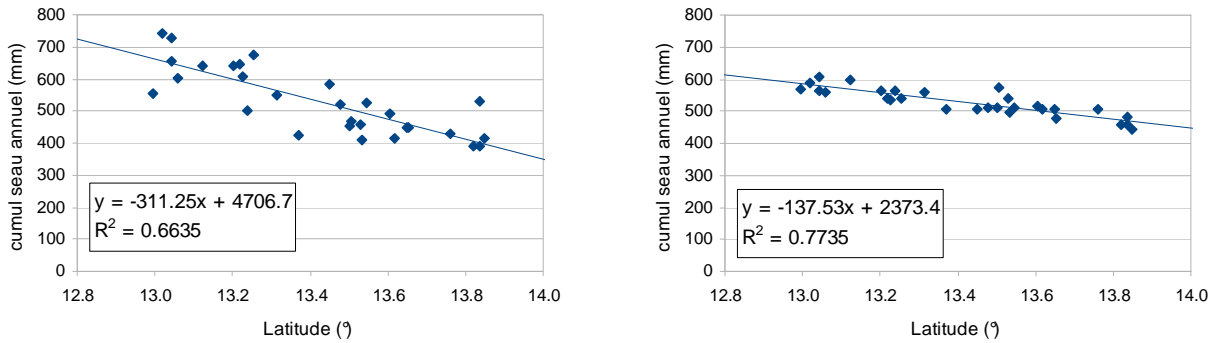


FIG. 3.3 – Evolution des cumuls seaux pour 2009 et la moyenne de 1990 à 2009 en fonction de leurs latitudes.

3.1.2 Réseau à long terme : les 30 pluviographes

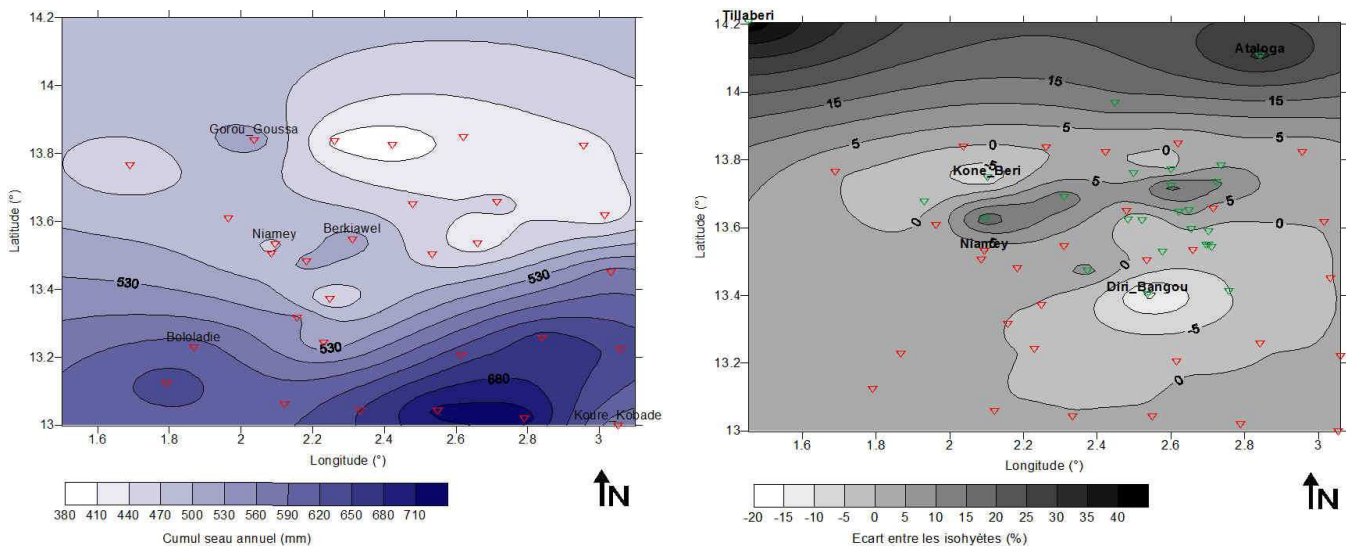


FIG. 3.4 – Isohyètes des cumuls seaux pour la saison 2009 des 30 stations EPSAT et comparaison avec les isohyètes pour le réseau complet.

La figure 3.2 présente la moyenne des cumuls seaux depuis l'origine de l'expérience EPSAT en 1990. Ceci est possible grâce au suivi continu effectué depuis cette date sur le réseau composé de 30 pluviographes. Pour l'année 2009, il est intéressant de comparer la carte des isohyètes pour ces 30 stations avec celle des isohyètes du réseau complet de 55 stations de manière à estimer l'apport de ces appareils supplémentaires. La figure 3.4 montre cet écart relatif ($[\text{cumul } 30 \text{ stations} - \text{cumul } 57 \text{ stations}] / \text{cumul } 30 \text{ stations}$) entre les isohyètes pour 30 stations et pour 57 stations.

On s'aperçoit alors que l'extension du réseau n'affecte que peu nos isohyètes ; une grande partie de la carte ne comportant qu'un écart relatif inférieur à 5 %. Cependant l'extension vers le Nord permet d'affiner nettement la modélisation de cette zone. Il est net pour 2009 que le réseau de 30 stations surestime toute la bande nord, entre Tillabéri et Ataloga. De la même manière, la maille plus fine du super-site permet de montrer que ce même réseau des 30 stations sous-estime la pluviométrie 2009 de la zone de Diri Bangou et Kone Beri de plus de 15 %.

Cependant si le réseau complet permet de mieux mettre en évidence la grande variabilité spatiale de la pluviométrie du degré carré de Niamey, le suivi EPSAT à long terme des 30 pluviographes semble suffisant pour rendre compte de l'essentiel de ces variations, et il a bien entendu l'avantage de bénéficier de 20 années de données.

3.1.3 Comparaison de la saison 2009 avec la moyenne sur les 20 années de données

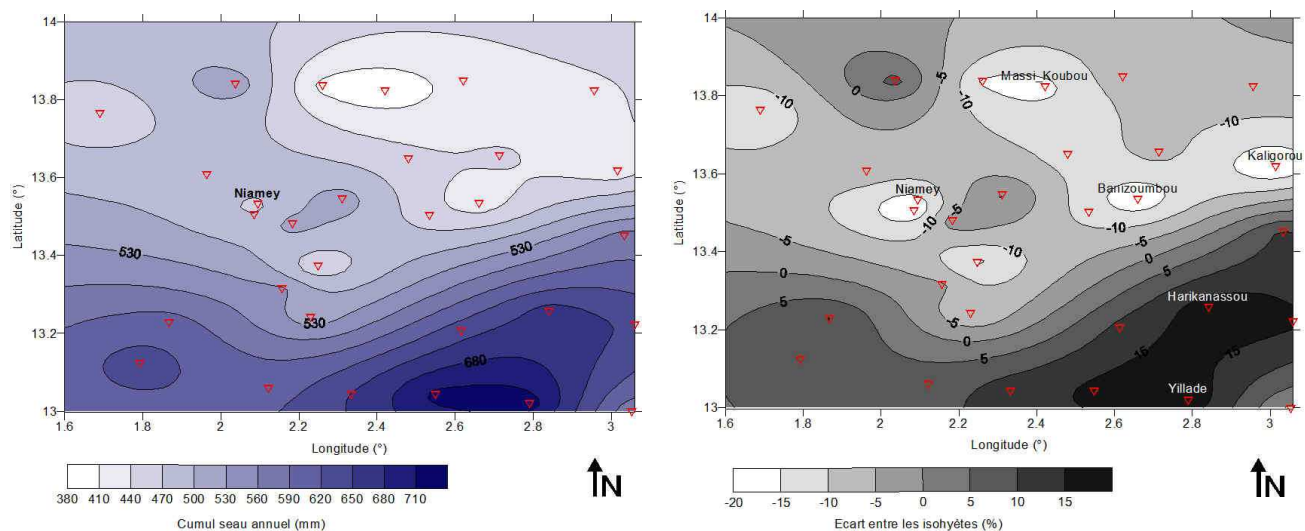


FIG. 3.5 – Saison 2009 et anomalies par rapport à la moyenne 1990-2009.

Dans cette partie, on ne s'intéressera qu'aux 30 pluviographes de suivi à long terme de manière à ne pas fausser la comparaison et on limitera l'étude à la zone comprise entre les longitudes 1°6 et 3°06 et les latitudes 13° et 14°.

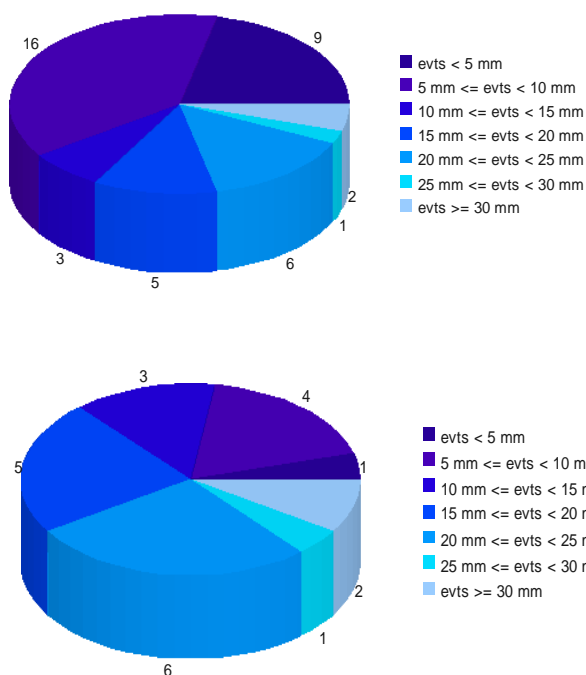
On observe pour la saison 2009, une tendance à un surplus de pluviométrie dans la partie sud-est de notre zone d'étude. On a plus particulièrement une bande orientée sud-ouest nord-est autour de Yillade et Harikanassou en excès de 10 à 20 % par rapport à la moyenne. Cependant cette tendance est contrebalancée par un réel déficit pluviométrique au nord qui atteint les 20 % autour de Kaligorou, Banizoumbou, Massi Koubou et Niamey. Par conséquent, si cette saison peut être considérée comme quantitativement mauvaise en moyenne sur l'ensemble du degré carré de Niamey, il ne faut pas oublier que la variabilité spatiale est importante et que toute moyenne peut cacher des phénomènes locaux significatifs en terme agricole notamment. Cette saison 2009 a paradoxalement été plutôt moins pluvieuse dans le nord de notre zone que dans le sud.

3.2 *Les évènements pluvieux*

Les évènements décrits ici ont été obtenus à l'aide du logiciel BdPluvio et du jeu de données enregistrées corrigées par les valeurs seaux sur les 30 stations du réseau à long terme. Les valeurs moyennes utilisées sont des moyennes spatialisées sur la zone d'étude.

3.2.1 *Description générale*

On définit un évènement pluviométrique majeur comme une pluie enregistrée par au moins 30 % des stations du réseau avec un cumul minimal de 2,5 mm. Deux évènements doivent être séparés d'au moins 30 minutes pour être considérés indépendamment. Pour la saison 2009 (cf. annexe A4 et A5), on compte 42 évènements majeurs distincts (moyenne 1991-2009 : 42) pour un cumul moyen de 488 mm (moyenne 1991-2009 : 461 mm). Ces évènements majeurs contribuent à hauteur de 93 % de la pluviométrie enregistrée cette saison (moyenne 1991-2009 : 88 %).



(a) Evènements majeurs

FIG. 3.6 – Répartition des évènements en fonction de leur cumul moyen pour la saison 2009.

(b) Evènements de grande extension

On définit par ailleurs un évènement de grande extension comme un évènement majeur couvrant au moins 80 % des stations du réseau. Pour la saison 2009 on recense 22 évènements de grande extension, ce qui correspond à la moyenne de 1991 à 2009. Avec un cumul moyen de 406 mm ces évènements représentent 77 % de la pluviométrie annuelle (moyenne 67 %). On remarque également (cf. figure 3.6) que tous les évènements ayant un cumul moyen supérieur à 10 mm sont des évènements de grande extension contre seulement 5 des 25 évènements ayant un cumul moyen inférieur à 10 mm. La pluviométrie de la saison 2009 a donc été fortement structurée à l'échelle du degré carré de Niamey et, comme pour 2008, on note une corrélation marquée entre l'intensité des évènements et leur extension spatiale.

La figure 3.7 montre la contribution des 2 types d'évènements définis précédemment au cumul saisonnier moyen. On remarque pour la saison 2009 que les évènements de grande extension contribuent pour plus de trois-quarts au cumul (77 %), et que le quart restant se répartit équitablement entre les autres évènements structurés et des pluies fortement localisées.

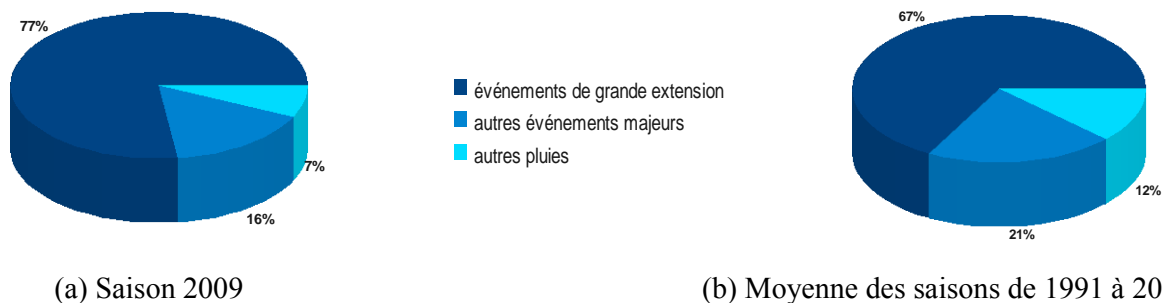


FIG. 3.7 – Contribution des différents types d'évènements au cumul moyen.

3.2.2 Les gradients locaux

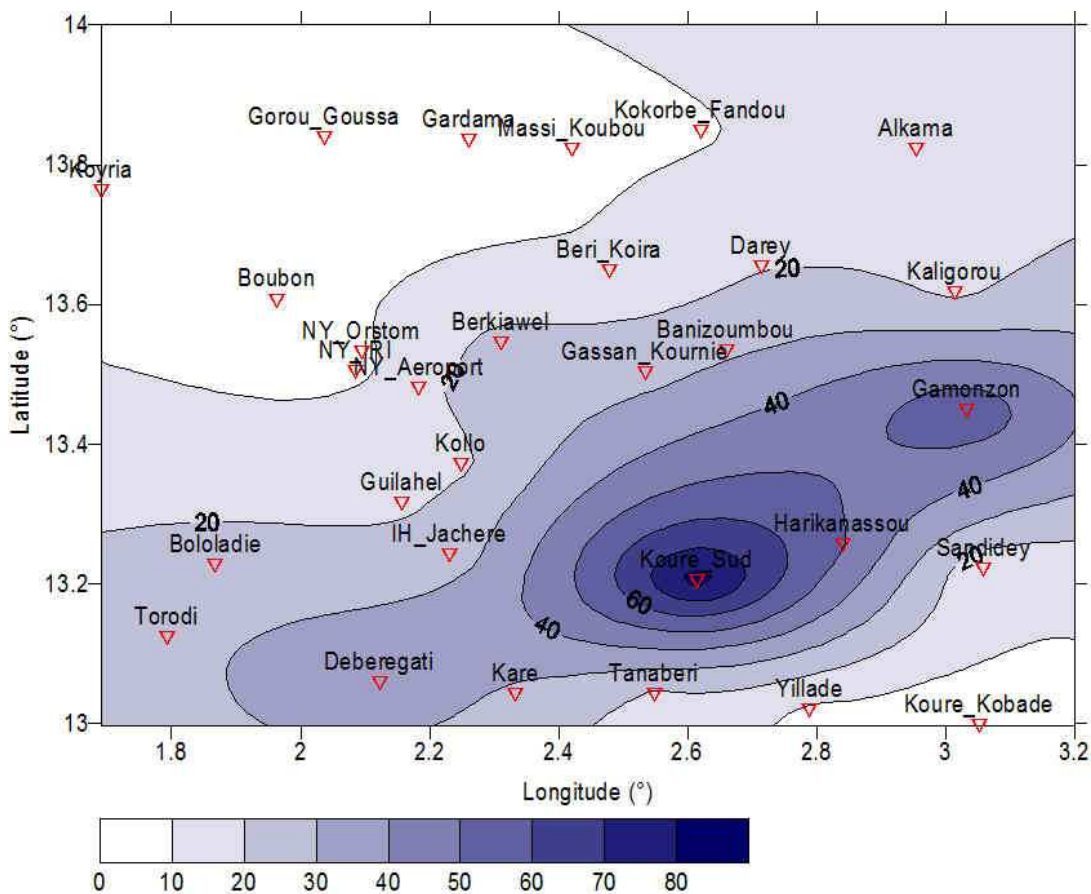


FIG. 3.8 – Isohyètes de l'évènement du 7 Juillet 2009 (cumul évènementiel en mm).

Il est établi que les systèmes pluvieux du Sahel sont principalement de type convectif. En fonction de la taille des cellules, les pluies peuvent être très localisées. On remarque donc des gradients importants de pluviométrie à une échelle événementielle.

Si on s'intéresse aux principaux événements de la saison 2009 en terme d'apport au cumul total, on constate effectivement des gradients élevés pouvant atteindre presque 4 mm/km à l'échelle de notre réseau de 30 stations.

C'est pour l'évènement du 7 Juillet 2009 (cf. figure 3.8) de pluviométrie moyenne 20,77 mm, qu'on obtient les valeurs les plus élevées :

- 1,76 mm/km entre les deux extrêmes de l'évènement, Koure Sud (93,5 mm) et Koure Kobade (0.5 mm),
- 2,49 mm/km entre Gamonzon (62,9 mm) et Kaligorou (16,2 mm),
- 3,10 mm/km entre Koure Sud (93,5 mm) et Yillade (6,5 mm),
- 3,98 mm/km entre Koure Sud et Tanaberi (16,1 mm) séparées seulement de 19,4 km.

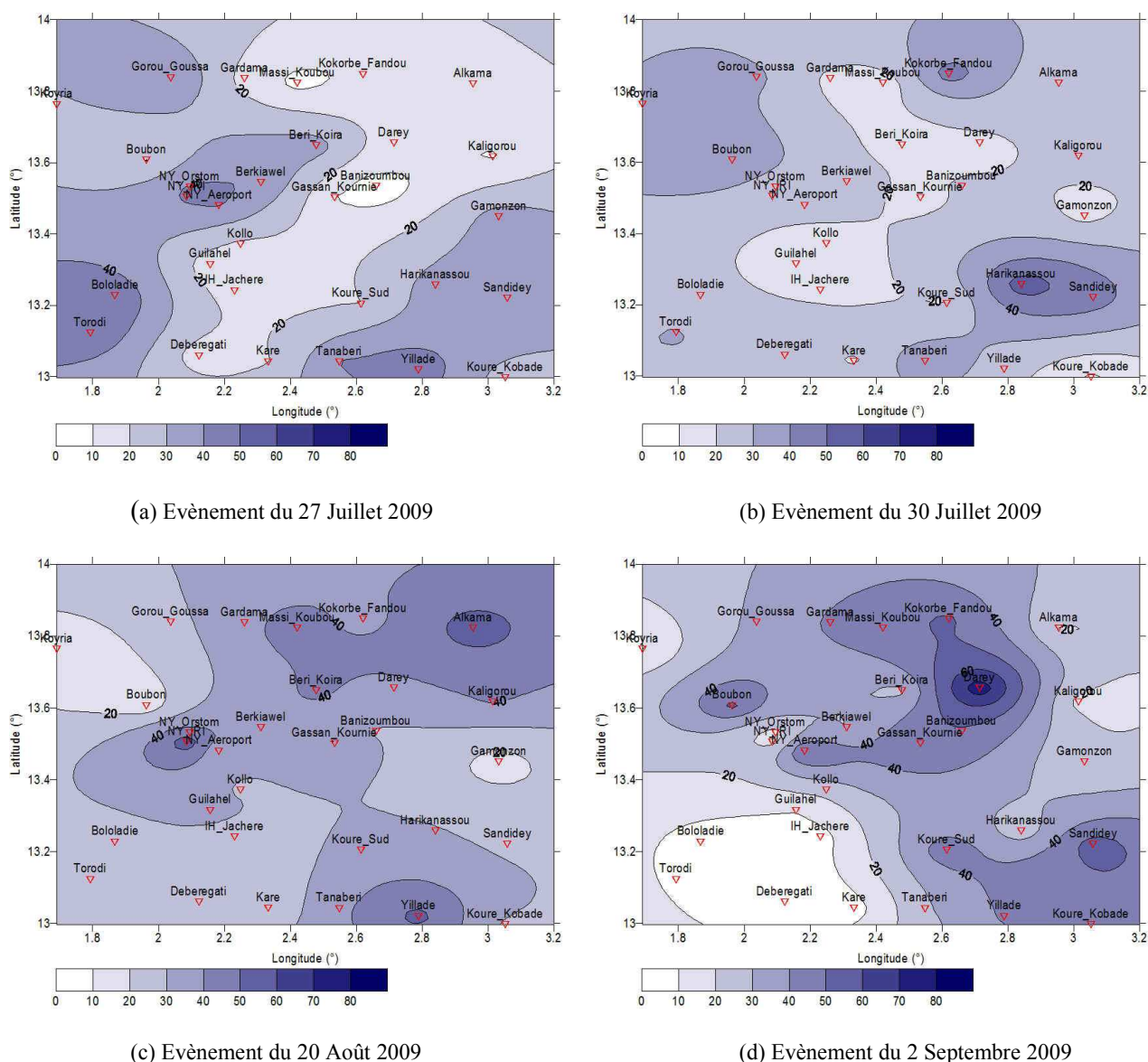


FIG. 3.9 – Isohyètes de quatre évènements marquants de 2009 (cumul événementiel en mm).

L'évènement du 20 Août 2009 (cf. figure 3.9), plus gros contributeur au cumul saisonnier (moyenne : 33,5 mm) est également un bon exemple de forts gradients de pluviométrie :

- 3,2 mm/km entre Niamey IRI (65,1 mm) et Boubon (9,9 mm),
- 3,4 mm/km entre Niamey IRI (65,1 mm) et Niamey Aéroport (28 mm) séparées seulement de 10,9 km.

Pour l'évènement du 2 septembre 2009 de pluviométrie moyenne 30,6 mm on obtient :

- 2,84 mm/km entre Boubon (58,6 mm) et Niamey Orstom (11,8 mm),
- 2,2 mm/km entre Darey (85,8 mm) et Kaligorou (13,5 mm).

Toutes ces variations locales, cumulées sur l'année, sont à l'origine des forts gradients qu'on retrouve dans l'étude du cumul saisonnier (cf. section 3.1.1)

Chapitre 4 : Analyse temporelle de la saison

4.1 Le cumul saisonnier

Dans cette partie, nous utilisons le jeu de données provenant des enregistrements (augets) corrigés par les valeurs seaux. Toutes les comparaisons inter-annuelles sont établies sur la base du réseau de 30 stations de suivi à long terme. Les valeurs de pluviométrie moyenne sont des moyennes arithmétiques et peuvent différer de celles provenant du réseau complet, des valeurs seaux ou de moyennes spatiales.

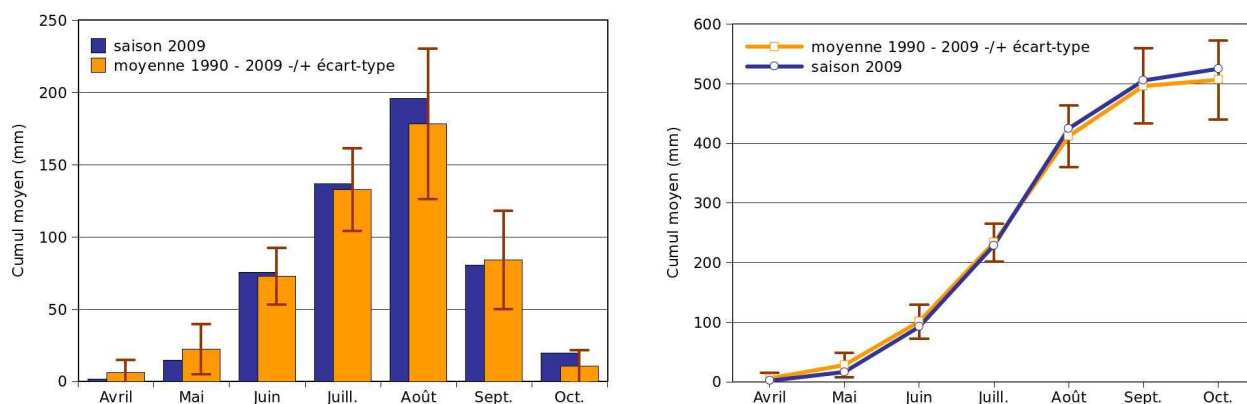


FIG. 4.1 – Comparaison de la pluviométrie mensuelle de la saison 2009 à celle de la moyenne des saisons de 1990 à 2009.

La figure 4.1 montre que la progression mensuelle de la pluviométrie sur le degré carré de Niamey pour la saison 2009 s'est déroulée en cohérence avec la moyenne des 20 années de suivi. Avec un cumul annuel de 525 mm pour 2009 et une moyenne de 507 mm depuis 1990, on constate que la pluviométrie de la saison 2009 est moins concentrée dans le temps, avec des pluies plus importantes en fin de saison par rapport à la moyenne 1990-2009. Ces pluies se sont prolongées jusqu'au mois de novembre 2009 (le cumul du mois de novembre ne figure pas sur le graphe car l'ensemble des 30 stations du réseau n'était pas en place). On étudiera plus en détail cette question de la durée de la saison dans la section 4.2.1.

Si on s'intéresse aux apports de juillet et août par rapport à la pluviométrie de la saison, on remarque que la saison 2009 se situe dans la moyenne (63% pour 61%). Sur la figure 1 en annexe, on s'aperçoit que la tendance depuis 1990 semble être à l'augmentation de ces apports, mais contrairement à la saison 2008, la saison 2009 ne se concentre pas seulement sur les mois de juillet et août, mais se poursuit jusqu'en novembre. Ainsi les apports de la phase d'installation de la mousson sont plus étalés dans le temps et les apports de la mousson établie restent importants.

4.2 Caractérisation de la saison

4.2.1 Les évènements majeurs : critère climatique

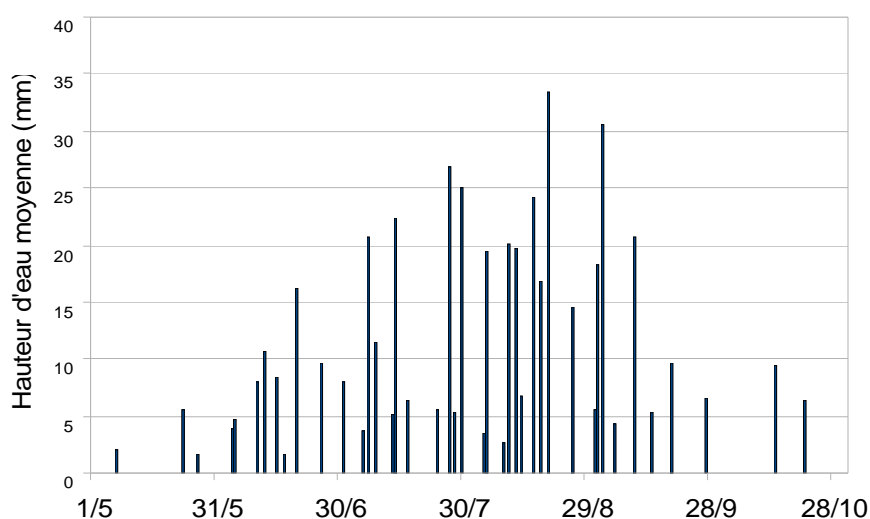
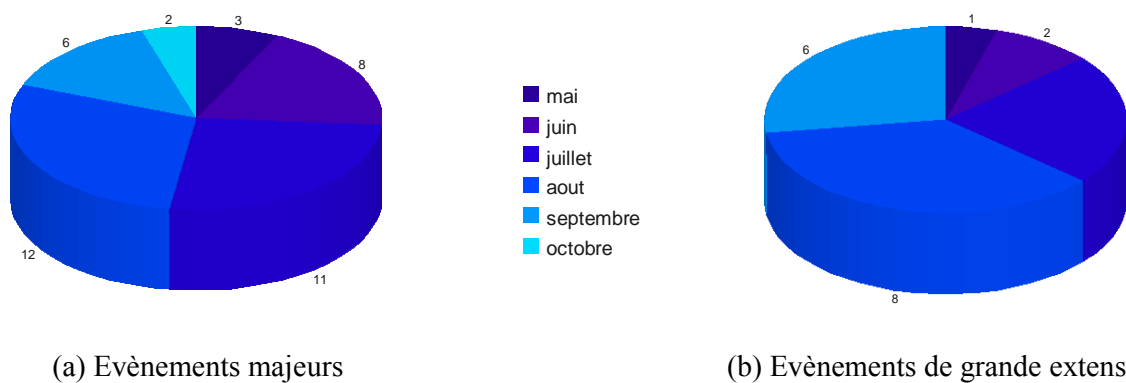


FIG. 4.2 – Répartition des évènements majeurs de la saison 2009 (hauteur d'eau moyenne sur le degré carré de Niamey en mm).

Les évènements pluvieux définis précédemment (cf. section 3.2) nous permettent ici de mieux caractériser l'évolution de la saison 2009 selon un critère climatique. Le premier évènement majeur enregistré, qui marque le début de la saison, a lieu le 7 mai; il touche 37% des stations pour un cumul moyen par station de 2 mm. Le dernier, qui marque la fin de la saison, a lieu le 21 octobre, touche 58% des stations pour un cumul moyen par station de 6,4 mm. La saison dure donc 168 jours avec une moyenne d'un évènement tous les 4 jours.

Si le début de la saison est légèrement tardif avec un premier évènement dans la première décade de mai et aucune pluie en avril, la fin de la saison 2009 traîne en longueur, ce qui donne au final une durée de la saison correcte dans la majeure partie de notre zone d'étude.

On peut restreindre cette durée de saison en s'intéressant aux évènements de grande extension. Le premier a lieu le 23 mai (90% des stations touchées, 5,62 mm en moyenne) et le dernier le 27 septembre (90% des stations touchées, 6,5 mm en moyenne). On obtient alors une durée de la saison effective sur chaque station de 128 jours.



(a) Evènements majeurs

(b) Evènements de grande extension

FIG. 4.3 – Répartition mensuelle des évènements majeurs et des évènements de grande extension de la saison 2009.

Quand on regarde la répartition mensuelle des évènements (cf. figure 4.3), on s'aperçoit qu'ils se répartissent assez bien sur les mois de juin, juillet, août et septembre. Quant aux évènements de grande extension, ils se concentrent sur juillet, août et septembre.

4.2.2 Les évènements indépendants : critère hydrologique

On a caractérisé précédemment la saison à l'aide d'un critère climatique basé sur les évènements pluvieux à l'échelle de la zone d'étude, on va maintenant définir un critère hydrologique en considérant chaque station indépendamment pour y caractériser la saison localement. On définit pour cela les évènements indépendants comme les évènements majeurs précédents, mais sans contrainte d'extension géographique.

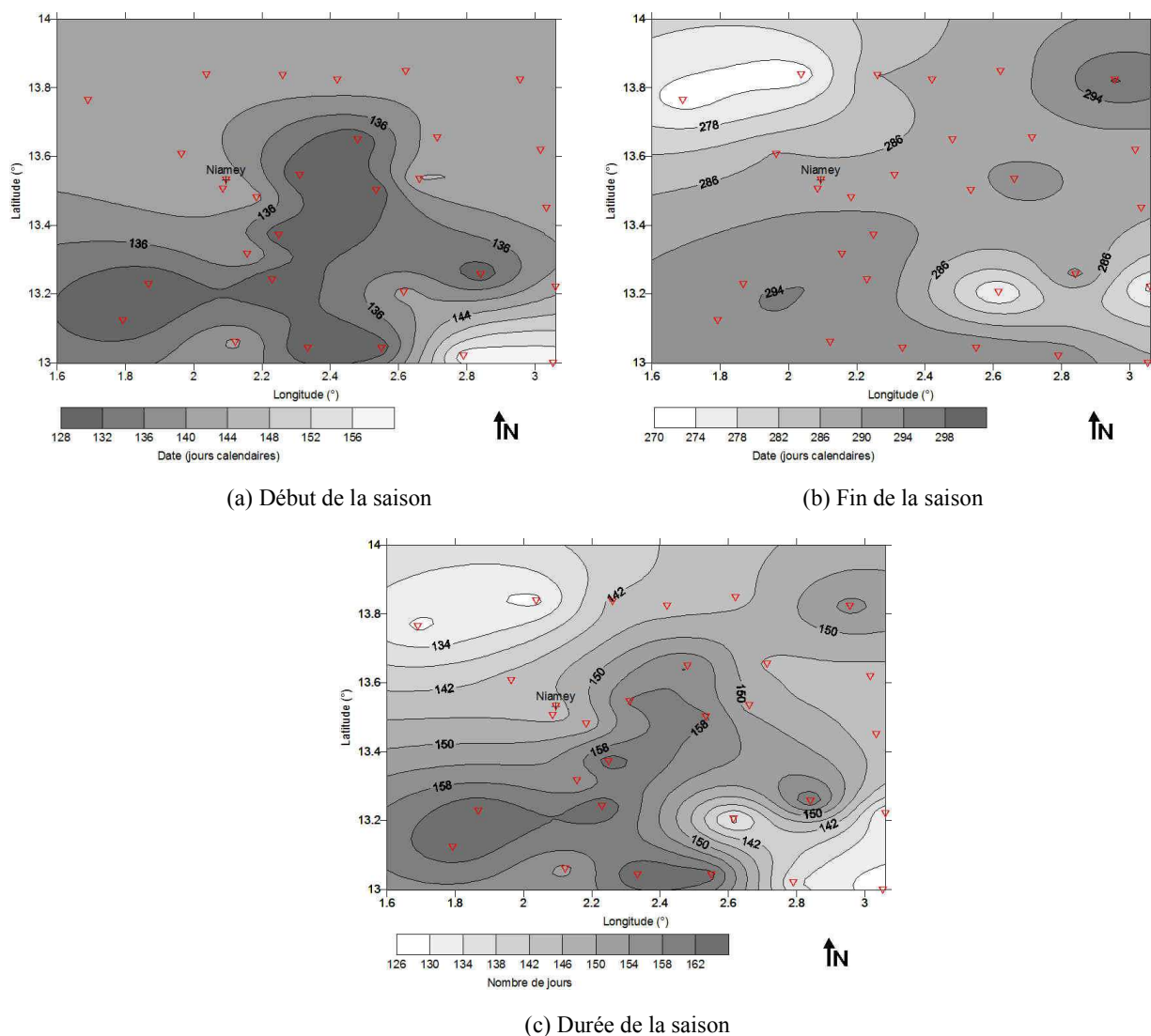


FIG. 4.4 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2009 suivant le critère hydrologique.

En fonction des stations la durée de la saison varie entre 126 et 167 jours (aux stations de Koure Kobade et Kollo). La saison commence entre le 7 mai et le 10 juin et finit entre le 27 septembre et le 27 octobre. Sur la figure 4.4 on observe une disparité spatiale. En effet dans la partie

centrale et sud ouest de la zone d'étude on remarque que la saison a débuté plus tôt et c'est poursuivit plus tard.

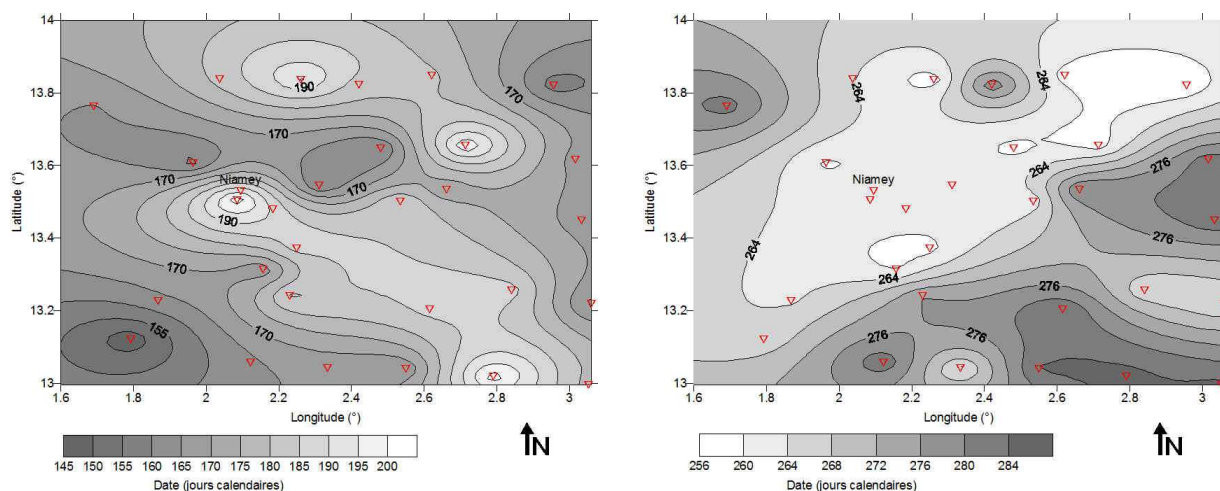
La moyenne arithmétique des valeurs de chaque station nous donne une date de début de saison le 19 mai, soit 12 jours plus tard que celle déterminée par le critère climatique. Quant à la fin de saison, on trouve en moyenne la date du 14 octobre, soit une semaine avant celle déterminée par le critère climatique. Selon ce critère hydrologique, la saison 2009 dure donc en moyenne 149 jours, elle est plus longue que la saison 2008 (138 jours).

4.2.3 Critère agronomique

On choisit comme critère agronomique pour déterminer le début et la fin de la saison ceux établis par Sivakumar (1998) et repris par Maud Balme. Le début de saison est défini, après le premier mai, par un cumul pluviométrique de plus de 20 mm sur trois jours suivi d'un mois sans période sèche supérieur à 7 jours. La fin de la saison correspond, après le premier septembre à la dernière pluie avant une période sécheresse de 20 jours minimum.

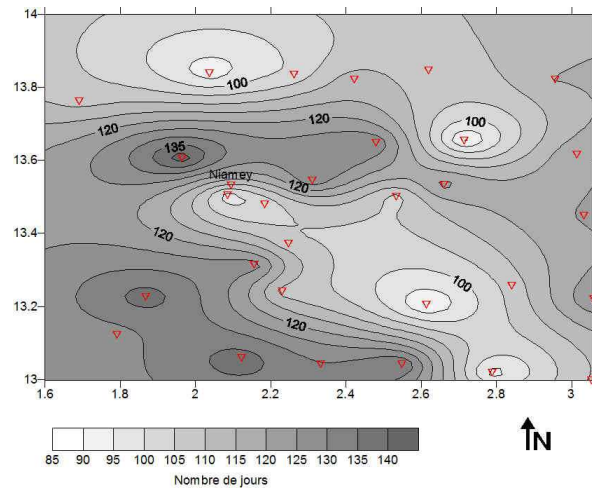
Selon ce critère, la saison 2009 commence entre le 24 mai et le 28 juillet en fonction des stations et finit entre le 28 septembre et le 31 octobre. En moyenne on retient les dates du 25 Juin et du 17 octobre pour une durée de 115 jours (maximum: 149 jours à Boubon, minimum: 83 jours à Darey). Cette durée est à comparer avec la valeur moyenne de 105 jours établie par Maud Balme sur la période 1990 à 2002.

On remarque par ailleurs sur la figure 4.5 que la saison a commencé plus tardivement dans la zone de Niamey à Yillade et celle de Gardama à Darey. La saison s'est finie plus tardivement au Sud Est et dans la zone de Koyria. Au final cette saison semble avoir été propice à la culture (notamment du mil) avec un début de saison légèrement tardif mais bien arrosé et une fin de saison trainant en longueur. Bien évidemment cette remarque reste générale, et encore une fois la variabilité spatiale liée aux événements pluvieux entraine des situations localement très différentes.



(a) Début de la saison

(b) Fin de la saison



(c) Durée de la saison

FIG. 4.5 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2009 suivant le critère agronomique.

Chapitre 5 : Appareillage complémentaire

5.1 Degré carré de Niamey

Quatre autres pluviographes sur le degré carré de Niamey sont à prendre en compte dans la base de données EPSAT. Il s'agit d'une part des pluviographes couplés aux trois tours de mesure de flux de Wankama et de Koma Koubou, et d'autre part du pluviographe couplé à la station météorologique de Boubon Kolonga.

5.2 Réseau synoptique

Dans le cadre de la collaboration avec la Direction Météorologique Nationale, quatre pluviographes avec centrales de type Hobos sont installés à Birnin n'Konni, Tahoua, Maradi et Zinder. Ces postes sont censés nous fournir une vision plus générale de la pluviométrie à l'échelle du Niger. Cependant, en raison de la distance, leur entretien et leur suivi s'avère coûteux et difficile. En 2009 chaque appareil a reçu 3 visites :

- installation en mai (lancement différé au 19 mai),
- contrôle (fin août),
- démontage en Novembre.

C'est le personnel des services locaux qui doit assurer l'entretien général (nettoyage du cône). A ces données s'ajoutent les quantités d'eau relevées pour chaque pluie par les agents à l'aide de pluviomètres à lecture directe récapitulées dans le tableau 5.1.

KONNI		MARADI		TAHOUA		ZINDER	
Date	p (mm)	Date	p (mm)	Date	p (mm)	Date	p (mm)
8-mai	8.9	6-mai	4.4			6-mai	33
14-mai	1.7	7-mai	8.1			8-mai	10.2
27-mai	0.2	25-mai	1.3			29-mai	3
30-mai	traces	29-mai	3.8				
mai	10.8	mai	17.6	mai	0	mai	46.2
6-juin	1.6	6-juin	4.5	5-juin	0.6	11-juin	11
9-juin	12.8	9-juin	1.4	6-juin	1.6	16-juin	11.2
12-juin	0.4	11-juin	7.6	9-juin	7.1	30-juin	37
16-juin	7.1	16-juin	5.8	12-juin	3.6		
20-juin	15.3	20-juin	2.6	16-juin	10.6		
26-juin	18.4	28-juin	15.9	20-juin	traces		
30-juin	7.3	30-juin	0.3	25-juin	15.3		
				28-juin	0.4		
juin	62.9	juin	38.1	juin	39.2	juin	59.2
1-juil.	traces	7-juil.	2.2	7-juil.	4.2	7-juil.	4.3
5-juil.	2.6	9-juil.	29.7	9-juil.	1.7	9-juil.	3.1
7-juil.	0.6	13-juil.	15.4	11-juil.	traces	13-juil.	4
9-juil.	19.8	17-juil.	57.8	13-juil.	12	17-juil.	10.5
13-juil.	11.8	18-juil.	3.1	17-juil.	1.4	22-juil.	5
29-juil.	46.2	25-juil.	23.5	23-juil.	29.7	25-juil.	4.3
		27-juil.	6.4	23-juil.	0.2	26-juil.	13
				26-juil.	6.6	31-juil.	0.6

				27-juil.	1.9		
				28-juil.	1.4		
juillet	81	juillet	138.1	juillet	59.1	juillet	44.8
2-août	10	5-août	11.6	2-août	49.3	2-août	5.3
3-août	0.4	8-août	26.7	3-août	1.8	4-août	21
5-août	2.9	9-août	7.1	8-août	20.7	6-août	21.5
9-août	11.5	12-août	29.9	12-août	0.3	11-août	1.5
12-août	10.5	15-août	24.5	13-août	0.8	14-août	1.2
16-août	3.9	17-août	4.9	17-août	4.1	15-août	2
17-août	33.9	27-août	8.9	19-août	5.5	19-août	0.9
20-août	28.4	28-août	3.6	21-août	traces	20-août	28
26-août	3.9	30-août	7.9	22-août	0.7	29-août	26.5
29-août	0.1	30-août	14.4	29-août	52.9	30-août	3.3
31-août	22	31-août	3.6	31-août	16.3		
août	127.5	août	143.1	août	152.4	août	111.2
2-sept.	2.8	1-sept.	4.7	2-sept.	3.1	4-sept.	7.9
4-sept.	16.5	2-sept.	2.5	3-sept.	0.6	10-sept.	18.2
10-sept.	1	4-sept.	11	7-sept.	20.6	19-sept.	1.6
13-sept.	4.4	8-sept.	23.9	10-sept.	0.2	21-sept.	1.9
19-sept.	15.8	9-sept.	2.5	14-sept.	3.8		
27-sept.	9.2	14-sept.	19.4	18-sept.	traces		
		20-sept.	2.5	21-sept.	3		
		27-sept.	11.2	24-sept.	0.7		
				26-sept.	3.7		
septembre	49.7	septembre	77.7	septembre	35.7	septembre	29.6
14-oct.	3.7	27-oct.	38.5	9-oct.	traces		
22-oct.	10.5			13-oct.	traces		
25-oct.	3			22-oct.	traces		
29-oct.	6.5			28-oct.	1.7		
30-oct.	3.3			29-oct.	0.6		
				30-oct.	2.7		
octobre	27	octobre	38.5	octobre	5	octobre	0
Total	358.9	Total	453.1	Total	291.4	Total	291

TAB. 5.1 – Récapitulatif des pluies relevées sur le réseau synoptique en 2009.

Conclusion

Le réseau de la zone d'étude du degré carré de Niamey est composé pour cette année 2009 de 55 pluviographes équipés d'enregistreurs de type Hobos. Le taux global de fonctionnement a atteint les 96%.

Comme les précédentes, cette saison présente une forte variabilité spatiale des cumuls saisonniers. La moyenne spatiale sur la zone d'étude (487,1 mm) est inférieure au cumul moyen de la période de référence 1951-1990 (562,3 mm).

On dénombre 42 épisodes majeurs (définis selon les critères d'extension spatiale et de continuité temporelle), valeur égale à la moyenne enregistrée depuis 1991.

Ces événements pluvieux sont produits par des systèmes convectifs très localisés, caractéristiques de la zone sahélienne, et qui créent une forte hétérogénéité spatiale de la pluviométrie à tous les pas de temps. Cependant on retrouve à l'échelle de la saison le gradient Nord-Sud (3,4 mm/km) propre à cette partie de l'Afrique de l'Ouest.

Selon le critère climatique, le premier événement majeur enregistré, qui marque le début de la saison, a lieu le 7 mai et le dernier, qui marque la fin de la saison, a lieu le 21 octobre. La saison dure donc 168 jours avec une moyenne d'un événement tous les 4 jours.

Selon le critère hydrologique, la saison commence le 19 mai, soit 12 jours plus tard que celle déterminée par le critère climatique et finit le 14 octobre, soit une semaine avant celle déterminée par le critère climatique. La saison 2009 dure donc en moyenne 149 jours, elle est plus longue que la saison 2008 (138 jours).

Enfin, selon le critère agronomique, la saison 2009 commence le 25 Juin et finit 17 octobre pour une durée de 115 jours. Cette durée est à comparer avec la valeur moyenne de 105 jours établie par Maud Balme sur la période 1990 à 2002.

Annexe

Tableau A1 – Liste et coordonnées des 59 pluviographes du réseau pour la saison 2009.

Stations	Code identification	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (m)
Alkama	1321204300	2.95512	13.82111	209
Ataloga	1321250100	2.84223	14.10704	215
Banizoumbou	1321201100	2.66036	13.53283	217
Beri Koira	1321202100	2.47910	13.64747	263
Beri Koira2	1321253300	2.48423	13.62175	267
Berkiawel	1321202800	2.31061	13.54449	229
Billingol	1321253400	2.37458	13.47133	224
Bololadie	1321208400	1.86784	13.22645	232
Boubon	1321208500	1.96367	13.60616	211
Dantiandou	1321252300	2.75696	13.41102	207
Darey	1321201800	2.71411	13.65421	261
Deberegati	1321202500	2.12201	13.05828	225
Dey Tegui2	1321253200	2.31007	13.68867	233
Diri Bangou	1321252400	2.53715	13.40253	241
Djoure	1321250400	2.73533	13.78091	245
Gamonzon	1321203400	3.03316	13.44860	208
Gardama	1321205000	2.26119	13.83534	216
Fandou_Beri2	1321253100	2.53392	13.50105	239
Goguieze	1321250600	2.52144	13.61959	245
Gorou Goussa	1321208000	2.03704	13.83789	243
Guilahel	1321204900	2.15687	13.31435	245
Harikanassou	1321204100	2.84087	13.25600	206
IH Jachere	1321210500	2.23027	13.24046	241
Kafina	1321241300	2.72293	13.73390	228
Kalassi	1321241500	2.57780	13.52654	232
Kaligorou	1321206100	3.01451	13.61619	210
Kare	1321202900	2.33352	13.04149	216
Kiran_Fandou_Beri	1321250700	2.49917	13.75806	235
Kokorbe_Fandou	1321207300	2.62024	13.84698	221
Kollo	1321205400	2.24818	13.37094	188
Kolo_Diogono	1321250800	2.60063	13.72105	216
Kolo Loga	1321251000	2.60063	13.77041	243
Kone_Beri	1321251300	2.10171	13.74637	216
Koure_Kobade	1321202600	3.05247	12.99676	207
Koure_Sud	1321205100	2.61430	13.20385	238
Koyria	1321208200	1.69045	13.76229	198
Massi_Koubou	1321207800	2.42124	13.82183	245
MKZ	1321251400	2.65438	13.59328	211
NY_Aéroport	1321209400	2.18326	13.47920	223
NY_IRI	1321208300	2.08511	13.50397	187
NY_Orstom	1321207000	2.09441	13.53037	223
Samadey	1321251500	2.70160	13.58823	238
Sandidey	1321205700	3.05876	13.21972	224
Sofia_mare	1321251700	2.71075	13.54081	258
Tanaberi	1321203200	2.54851	13.04129	233
Tillaberi	1321241400	1.45448	14.20429	212
Tilola Kaina	1321251900	2.44811	13.96630	257
Tondibiagorou	1321252000	2.09647	13.62517	212
Tondikiboro_Case	1321253000	2.70187	13.54816	254
Tondikiboro_limni	1321252200	2.69641	13.54815	237
Torodi	1321208600	1.79221	13.12180	218
Wankama	1321211600	2.64915	13.64960	211
Wankama_Plateau	1321252700	2.62110	13.64554	259

Wila_Kaina	1321253500	1.93072	13.67552	254
Yillade	1321203500	2.78930	13.01907	236
Konni	1321230100	5.24826	13.80089	270
Maradi	1321231300	7.10998	13.46248	379
Tahoua	1321230200	5.27021	14.87974	366
Zinder	1321231400	8.99288	13.79356	442

Tableau A2 – Planning d’installation des stations et cumul seuu mesurés pour la saison 2009.

Stations	Date d'installation	Date de démontage	Période de fonctionnement (jour)	Cumul seuu saison total (mm)
Alkama	17/03/2009	20/10/2009	217	428.7
Ataloga	02/04/2009	20/10/2009	201	313.5
Banizoumbou	Permanent	Permanent	Permanent	410.5
Beri_Koira	15/04/2009	20/10/2009	188	448.2
Beri_Koira2	15/04/2009	20/10/2009	188	453
Berkiawel	27/03/2009	19/10/2009	206	524.2
Billingol	14/04/2009	21/10/2009	190	438.3
Bololadie	11/03/2009	23/11/2009	257	608.6
Boubon	10/04/2009	23/11/2009	227	491.7
Dantiandou	01/04/2009	19/10/2009	201	550.2
Darey	17/03/2009	19/10/2009	216	448.7
Deberegati	11/03/2009	23/11/2009	257	603.6
Dey_Tegui2	16/04/2009	24/11/2009	222	385.3
Diri_Bangou	17/04/2009	24/11/2009	221	601.5
Djoure	15/04/2009	19/10/2009	187	406.1
Gamonzon	17/03/2009	20/10/2009	217	582.2
Gardama	16/04/2009	24/11/2009	222	388.3
Fandou_Beri2	01/04/2009	19/10/2009	201	451.6
Gogueize	02/04/2009	20/10/2009	201	476
Gorou_Goussa	16/04/2009	24/11/2009	222	532.2
Guilahel	11/03/2009	23/11/2009	257	547.9
Harikanassou	20/03/2009	24/11/2009	249	672.3
IH_Jachere	11/03/2009	23/11/2009	257	499.2
Kafina	17/03/2009	19/10/2009	216	376.4
Kalassi	14/04/2009	19/10/2009	188	466.6
Kaligorou	17/03/2009	20/10/2009	217	412.8
Kare	11/03/2009	23/11/2009	257	653.2
Kiran_Fandou_Beri	15/04/2009	20/10/2009	188	417.5
Kokorbe_Fandou	17/03/2009	19/10/2009	216	416.4
Kollo	27/03/2009	24/11/2009	242	426.2
Kolo_Diogono	14/04/2009	19/10/2009	188	335
Kolo_Loga	15/04/2009	19/10/2009	187	436
Kone_Beri	16/04/2009	24/11/2009	222	534.2
Koure_Kobade	18/03/2009	20/10/2009	216	552.9
Koure_Sud	20/03/2009	24/11/2009	249	640
Koyria	10/04/2009	23/11/2009	227	431.3
Massi_Koubou	16/04/2009	24/11/2009	222	388.7
MKZ	14/04/2009	21/10/2009	190	427.9
NY_Aeroport	Permanent	Permanent	Permanent	520.5
NY_IRI	Permanent	Permanent	Permanent	465.8
NY_Orstom	Permanent	Permanent	Permanent	457.2
Samadey	01/04/2009	20/10/2009	202	443.1
Sandidey	17/03/2009	20/10/2009	217	647.2
Sofia_mare	01/04/2009	20/10/2009	202	434.3
Tanaberi	20/03/2009	24/11/2009	249	726.8
Tillaberi	10/04/2009	23/11/2009	227	265.9
Tilola_Kaina	16/04/2009	24/11/2009	222	375.6

Tondibiagorou	16/04/2009	24/11/2009	222	364
Tondikiboro_Case	01/04/2009	20/10/2009	202	483.4
Tondikiboro_limni	01/04/2009	20/10/2009	202	456
Torodi	11/03/2009	23/11/2009	257	642.6
Wankama	Permanent	Permanent	Permanent	396.6
Wankama_Plateau	19/05/2009	19/10/2009	153	428.9
Wila_Kaina	10/04/2009	23/11/2009	227	500.5
Yillade	20/03/2009	24/11/2009	249	740.6
Konni	24/05/2009	16/11/2009	176	358.9
Maradi	20/05/2009	15/11/2009	179	455.2
Tahoua	19/05/2009	16/11/2009	181	361.1
Zinder	21/05/2009	14/11/2009	177	309.3

Figure A1 - Qualité de l'acquisition sur la saison 2009.

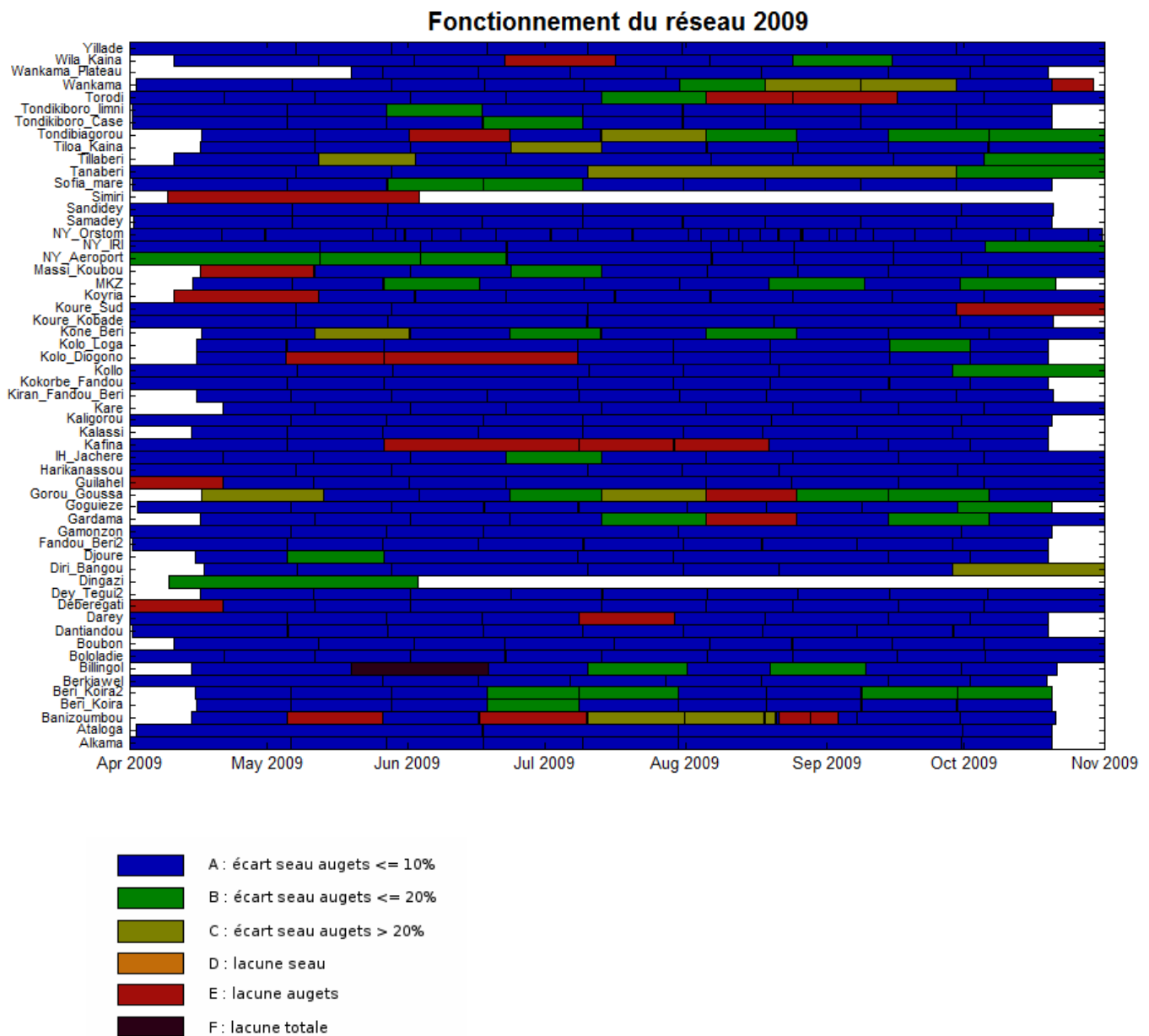


Tableau A3 – Variogramme utilisé pour le krigeage à une échelle annuelle.

Effet de pépite	$\sigma_0 = 300 \text{ mm}^2$
Structure exponentielle 1	Palier $\sigma_1 = 3000 \text{ mm}^2$
	Portée $S_1 = 0,2^\circ$
	Anisotropie $\alpha_1 = 0,5$
	Angle d'anisotropie $\square_1 = 90^\circ$
Structure exponentielle 2	Palier $\sigma_2 = 4000 \text{ mm}^2$
	Portée $S_2 = 3,5^\circ$
	Anisotropie $\alpha_2 = 0,5$
	Angle d'anisotropie $\square_2 = 90^\circ$

Tableau A4 – Liste des 42 événements majeurs enregistrés en 2009 à partir de 30 stations.

N°	Début	Fin	Stations Touchées par l'évènement (%)	Cumul Moyen	Durée (min)
1	07/05/2009 18h55	07/05/2009 22h20	37	2.0	205
2	23/05/2009 18h40	24/05/2009 00h35	90	5.6	355
3	27/05/2009 15h55	27/05/2009 20h30	50	1.7	275
4	04/06/2009 01h05	04/06/2009 04h30	50	4.0	205
5	05/06/2009 04h10	05/06/2009 07h40	37	4.6	210
6	10/06/2009 04h10	10/06/2009 09h55	67	8.0	405
7	12/06/2009 07h05	12/06/2009 12h00	80	10.8	295
8	15/06/2009 16h40	15/06/2009 20h20	57	8.4	220
9	17/06/2009 04h10	17/06/2009 07h00	34	1.7	170
10	20/06/2009 00h35	20/06/2009 07h25	97	16.1	410
11	26/06/2009 03h55	26/06/2009 10h25	76	9.6	390
12	01/07/2009 00h35	01/07/2009 05h30	76	8.1	295
13	06/07/2009 03h15	06/07/2009 06h30	31	3.6	195
14	07/07/2009 20h15	08/07/2009 02h20	97	20.8	365
15	09/07/2009 22h20	10/07/2009 04h15	86	11.4	355
16	13/07/2009 15h35	13/07/2009 19h00	37	5.1	205
17	13/07/2009 22h35	14/07/2009 03h45	97	22.3	310
18	17/07/2009 11h45	17/07/2009 16h35	70	6.4	290
19	24/07/2009 14h05	24/07/2009 19h20	67	5.6	315
20	27/07/2009 03h55	27/07/2009 15h15	100	27.0	680
21	28/07/2009 13h30	28/07/2009 20h05	59	5.3	395
22	30/07/2009 21h40	31/07/2009 04h45	100	25.0	425
23	04/08/2009 02h10	04/08/2009 04h40	43	3.5	150
24	05/08/2009 17h30	05/08/2009 23h10	93	19.5	460
25	09/08/2009 00h55	09/08/2009 04h25	36	2.6	210
26	09/08/2009 23h00	10/08/2009 10h55	89	20.1	715
27	12/08/2009 06h50	12/08/2009 12h10	100	19.8	320
28	13/08/2009 18h30	13/08/2009 22h35	54	6.8	245
29	16/08/2009 05h00	16/08/2009 11h40	96	24.1	400
30	17/08/2009 23h40	18/08/2009 07h30	96	16.7	470
31	20/08/2009 04h40	20/08/2009 10h55	100	33.5	375
32	26/08/2009 03h05	26/08/2009 12h10	90	14.6	545
33	31/08/2009 05h20	31/08/2009 11h55	72	5.5	395
34	31/08/2009 15h40	01/09/2009 01h25	100	18.2	585
35	02/09/2009 16h45	03/09/2009 05h30	96	30.6	765
36	05/09/2009 00h10	05/09/2009 03h05	86	4.4	175

37	10/09/2009 17h00	11/09/2009 06h10	97	20.7	790
38	14/09/2009 22h55	15/09/2009 05h30	93	5.3	395
39	19/09/2009 21h10	20/09/2009 00h40	87	9.7	210
40	27/09/2009 19h10	28/09/2009 00h40	90	6.5	330
41	14/10/2009 18h45	15/10/2009 00h25	76	9.4	340
42	21/10/2009 00h05	21/10/2009 05h20	58	6.4	315

Tableau A5 – Comparaison pour les années 1991 à 2009 de l'importance des événements majeurs et de grande extension.

	Nb événements majeurs	Nb événements de grde extension	Moyenne cumuls saisonniers	Moyenne cumuls Évts majeurs	Moyenne cumuls Évts grde ext	% cumul evt maj / cum saison	% cumul evt grde ext / cum saison	% cumul evt grde ext / cum evt maj	% nb evt grde ext / nb evt maj
1991	47	30	522	519	415	99	80	80	64
1992	50	27	513	504	428	98	84	85	54
1993	38	27	463	424	318	92	69	75	70
1994	55	30	663	538	382	81	58	71	55
1995	32	21	495	454	381	92	77	84	66
1996	38	26	503	446	357	89	71	80	68
1997	34	14	418	366	238	88	57	65	41
1998	44	22	659	593	427	90	65	72	50
1999	49	25	563	480	331	85	59	69	51
2000	39	17	443	383	245	87	55	64	44
2001	36	16	463	358	211	77	46	59	44
2002	42	19	524	471	377	90	72	80	45
2003	36	24	530	434	369	82	70	85	67
2004	39	20	537	466	397	87	74	85	51
2005	49	21	557	463	299	83	54	65	43
2006	39	20	531	475	390	89	73	82	51
2007	43	14	528	426	307	81	58	72	33
2008	40	22	543	471	403	87	74	86	55
2009	42	22	520	488	406	94	77	83	52
Moyenne	42	22	525	461	352	88	67	76	52

Figure A1 – Apports des mois de juillet et août à la pluviométrie de la saison pour les 19 ans de données.

