

Rapport EPSAT-Niger 2010



Vanessa Ben Tahar,

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

Table des matières

Table des figures.....	3
Liste des tableaux.....	3
Introduction.....	4
Chapitre 1 :	
Le réseau de pluviographes 2010.....	5
1.1 Les stations et leur installation.....	5
1.1.1 Les stations.....	5
1.1.2 Installation et modifications du réseau.....	6
1.2 Qualité de l'acquisition.....	6
1.2.1 Taux de fonctionnement.....	6
1.2.2 Valeurs seaux et valeurs augets.....	8
1.3 Coût de fonctionnement des tournées.....	8
1.3.1 Tournée pluvio n°1.....	8
1.3.2 Tournée pluvio n°2.....	9
1.3.3 Tournée pluvio n°3.....	10
1.3.4 Tournée pluvio n°4.....	11
1.3.5 Tournée pluvio n°5.....	11
Chapitre 2 :	
Analyse spatiale de la saison.....	12
2.1 Les cumuls saisonniers.....	12
2.1.1 Description générale de la saison.....	12
2.1.2 Réseau à long terme : les 30 pluviographes.....	14
2.1.3 Comparaison de la saison 2010 avec la moyenne sur les 21 années de données.....	15
2.2 Les évènements pluvieux.....	16
2.2.1 Description générale.....	16
2.2.2 Les gradients locaux.....	17
Chapitre 3 :	
Analyse temporelle de la saison.....	20
3.1 Le cumul saisonnier.....	20
3.2 Caractérisation de la saison.....	21
3.2.1 Les évènements majeurs : critère climatique.....	21
3.2.2 Les évènements indépendants : critère hydrologique.....	22
3.2.3 Critère agronomique.....	23
Chapitre 4 :	
Appareillage complémentaire.....	25
4.1 Degré carré de Niamey.....	25
4.2 Réseau synoptique.....	25
Conclusion.....	27
Annexe.....	28

Table des figures

FIG. 1.1 – Les stations du réseau 2010.....	5
FIG. 1.2 – Comparaison des cumuls augets et des cumuls seaux.....	8
FIG. 1.3 – Tournée n°1 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge et jour 3 en vert).....	9
FIG. 1.4 – Tournée n°2 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).....	10
FIG. 1.5 – Tournée n°3 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).....	10
FIG. 1.6 – Tournée n°4 (jour 1 en noir).....	11
FIG. 2.1 – Isohyètes des cumuls corrigés pour la saison 2010 sur l'ensemble des stations du degré carré de Niamey.....	12
FIG. 2.2 – Isohyètes de la moyenne des cumuls seaux des 30 stations initiales du réseau EPSAT pour les saisons 1990 à 2010.....	13
FIG. 2.3 – Evolution des cumuls seaux pour 2010 et la moyenne de 1990 à 2010 en fonction de leurs latitudes.....	14
FIG. 2.4 – Isohyètes des cumuls seaux pour la saison 2010 des 30 stations EPSAT et comparaison avec les isohyètes pour le réseau complet.....	14
FIG. 2.5 – Saison 2010 et anomalies par rapport à la moyenne 1990-2010.....	15
FIG. 2.6 – Répartition des événements en fonction de leur cumul moyen pour la saison 2010.....	16
FIG. 2.7 – Contribution des différents types d'évènements au cumul moyen.....	17
FIG. 2.8 – Isohyètes de l'évènement du 7 Juillet 2010 (cumul évènementiel en mm).....	17
FIG. 2.9 – Isohyètes de quatre évènements marquants de 2010 (cumul évènementiel en mm).....	18
FIG. 3.1 – Comparaison de la pluviométrie mensuelle de la saison 2010 à celle de la moyenne des saisons de 1990 à 2010.....	20
FIG. 3.2 – Répartition des événements majeurs de la saison 2010 (hauteur d'eau moyenne sur le degré carré de Niamey en mm).....	21
FIG. 3.3 – Répartition mensuelle des événements majeurs et des événements de grande extension de la saison 2010.....	21
FIG. 3.4 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2010 suivant le critère hydrologique.....	22
FIG. 3.5 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2010 suivant le critère agronomique.....	24

Liste des tableaux

TAB. 1.1 – Lacunes d'acquisition du réseau 2010.....	7
TAB. 4.1 – Récapitulatif des pluies relevées sur le réseau synoptique en 2010.....	26

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 2010 (378,9 mm) est inférieure au cumul saisonnier moyen (562,3 mm) de la période de référence 1951-1990. Elle est également inférieure à 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 2010 est une saison sèche.

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

Dans un premier temps, le réseau de mesure opérationnel en 2010 est décrit et les données acquises au cours de la saison sont commentées.

Ensuite, l'analyse intervient au niveau spatial, à différentes échelles (cumuls annuels 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 : Le réseau de pluviographes 2010

1.1 Les stations et leur installation

1.1.1 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 ».

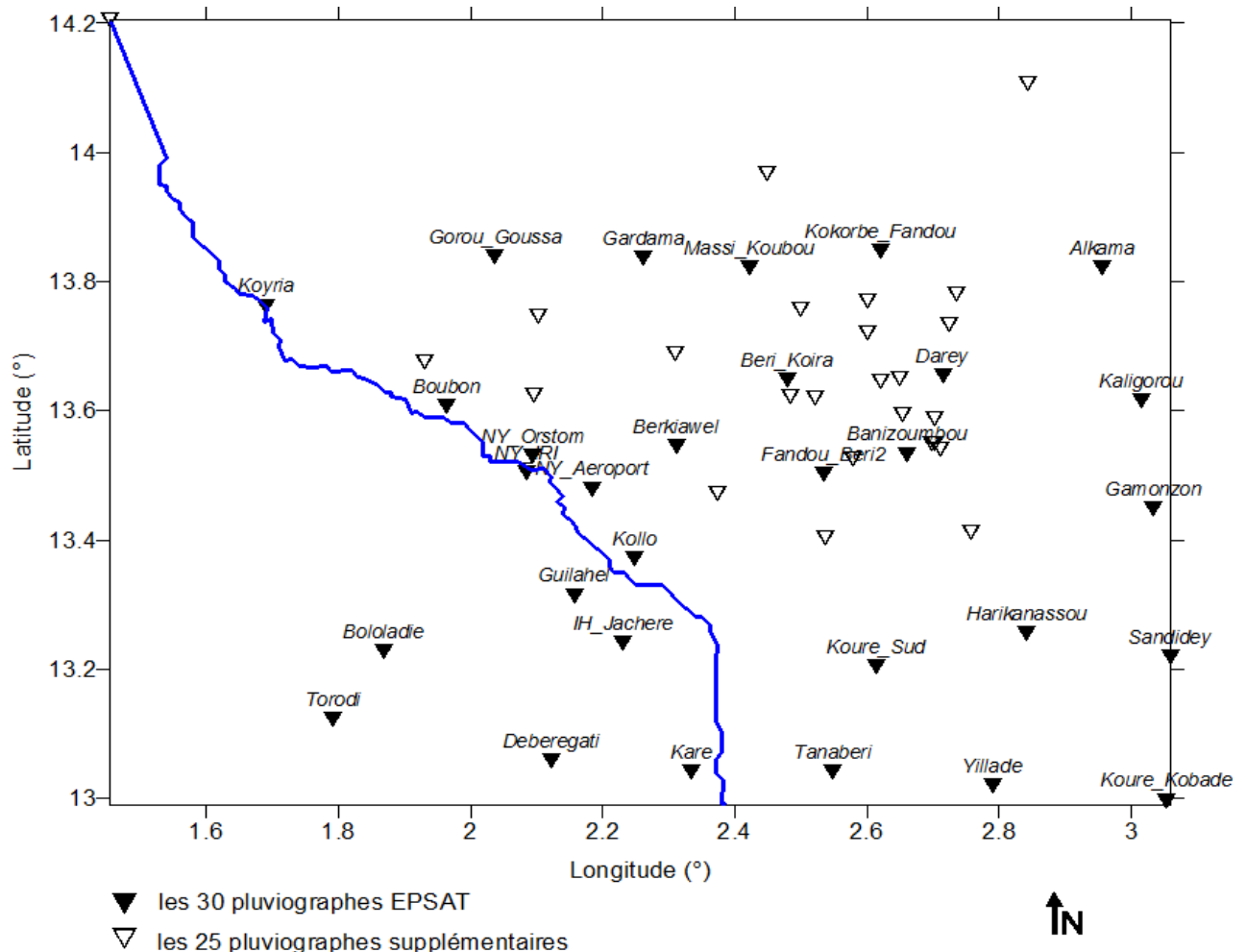


FIG. 1.1 – Les stations du réseau 2010.

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 1.1 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.

1.1.2 Installation et modifications du réseau

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). L'ensemble des stations a été réinstallé durant la première quinzaine d'avril 2010 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 5 mn.

Au cours de la saison 2010 il n'y a eu aucune modification sur le réseau. Le nombre des stations pluviométriques n'a ni augmenté ni diminué, et aucune station n'a été déplacée.

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 le mois de Novembre avec un protocole différent que pour la saison sèche précédente car les centrales d'acquisition mais également les cônes récepteurs et les blocs augets ont été démontés afin d'éviter l'usure du matériel. Les trois stations de Niamey (Aéroport, IRI et ORSTOM) et celles de Banizoumbou et Wankama sont restées en veille pendant toute la saison sèche.

1.2 Qualité de l'acquisition

1.2.1 Taux de fonctionnement

Stations	Dates des lacunes	Durée en jours	Pourcentage	Causes
Alkama	12/10 au 26/10	14	6.31	pas de relance hobo
Ataloga	23/06 au 03/08	41	18.47	lacune seau
	12/10 au 26/10	14	6.31	pas de relance hobo
Banizoumbou	16/04 au 31/05 et du 21/06 au 13/07	67	18.36	augets bloqués
Beri_Koira	12/07 au 02/08	21	9.95	lacune seau
Bololadie	03/08 au 02/09	30	14.71	Hobo HS
Boubon	09/04 au 18/05	39	18.75	lacune seau
	21/09 au 12/10	21	10.10	pas de relance hobo
Darey	11/10 au 26/10	15	6.82	pas de relance hobo
Deberegati	19/04 au 11/06	53	25.98	augets bloqués
Gardama	08/04 au 17/05 et du 30/08 au 11/10	81	38.94	augets bloqués
Fandou_Beri2	13/04 au 10/05	27	12.80	augets bloqués
Harikanassou	01/06 au 23/06	22	9.87	lacune seau
	12/10 au 26/10	14	6.28	pas de relance hobo

IH_Jachere	03/09 au 06/10	33	16.26	pas de relance hobo
Kafina	11/10 au 25/10	14	6.36	pas de relance hobo
Kalassi	12/07 au 27/09	77	37.02	Hobo HS
Kaligorou	12/10 au 26/10	14	6.33	pas de relance hobo
Kiran_Fandou_Beri	13/04 au 11/05 et du 13/09 au 25/10	70	33.18	augets bloqués
Kokorbe_Fandou	11/10 au 25/10	14	6.25	pas de relance hobo
Kollo	16/04 au 02/06 et du 04/08 au 25/08	68	30.63	augets bloqués
Kolo_Diogono	11/10 au 25/10	14	6.25	pas de relance hobo
Kolo_Loga	23/08 au 14/09	22	9.82	lacune seau
	11/10 au 25/10	14	6.25	pas de relance hobo
Kone_Beri	08/04 au 03/05	25	12.02	pas de relance hobo
Koure_Kobade	12/10 au 26/10	14	6.31	pas de relance hobo
Koure_Sud	24/06 au 29/06 et du 04/08 au 27/10	89	39.73	Hobo HS
Massi_Koubou	09/08 au 30/08	21	10.10	pas de relance hobo
Sandidey	15/04 au 11/05 et du 01/06 au 29/06	54	24.32	Hobo HS
	12/10 au 26/10	14	6.31	pas de relance hobo
Tanaberi	12/05 au 15/07	64	28.57	augets bloqués
Tondibiagorou	17/05 au 07/06	21	10.10	Hobo HS
	30/08 au 20/09	21	10.10	pas de relance hobo
Tondikiboro_limni	31/05 au 21/06	21	10.10	pas de relance hobo
Torodi	02/09 au 09/11	68	33.33	Hobo HS
Wankama	01/06 au 21/06	20	5.48	Hobo volé
Wankama_Plateau	31/05 au 22/06	22	10.58	lacune seau

TAB. 1.1 – Lacunes d’acquisition du réseau 2010.

Sur l’ensemble du réseau, le taux de fonctionnement moyen pour la saison 2010 (du 15/04/10 au 01/11/10) est supérieur à 89%.

La couverture de la saison des pluies 2010 n’est pas satisfaisante. Les problèmes rencontrés ont été d’ordre mécanique, électrique et humain :

- blocage des augets sur les stations.
- durée de vie des hobos atteinte sur 5 stations.
- Problème de date sur l’ordinateur lors de la relance des hobos.

Le tableau 1.1 récapitule les périodes, le nombre de jours, le pourcentage de lacunes et les causes pour chaque station concernée.

1.2.2 Valeurs seaux et valeurs augets

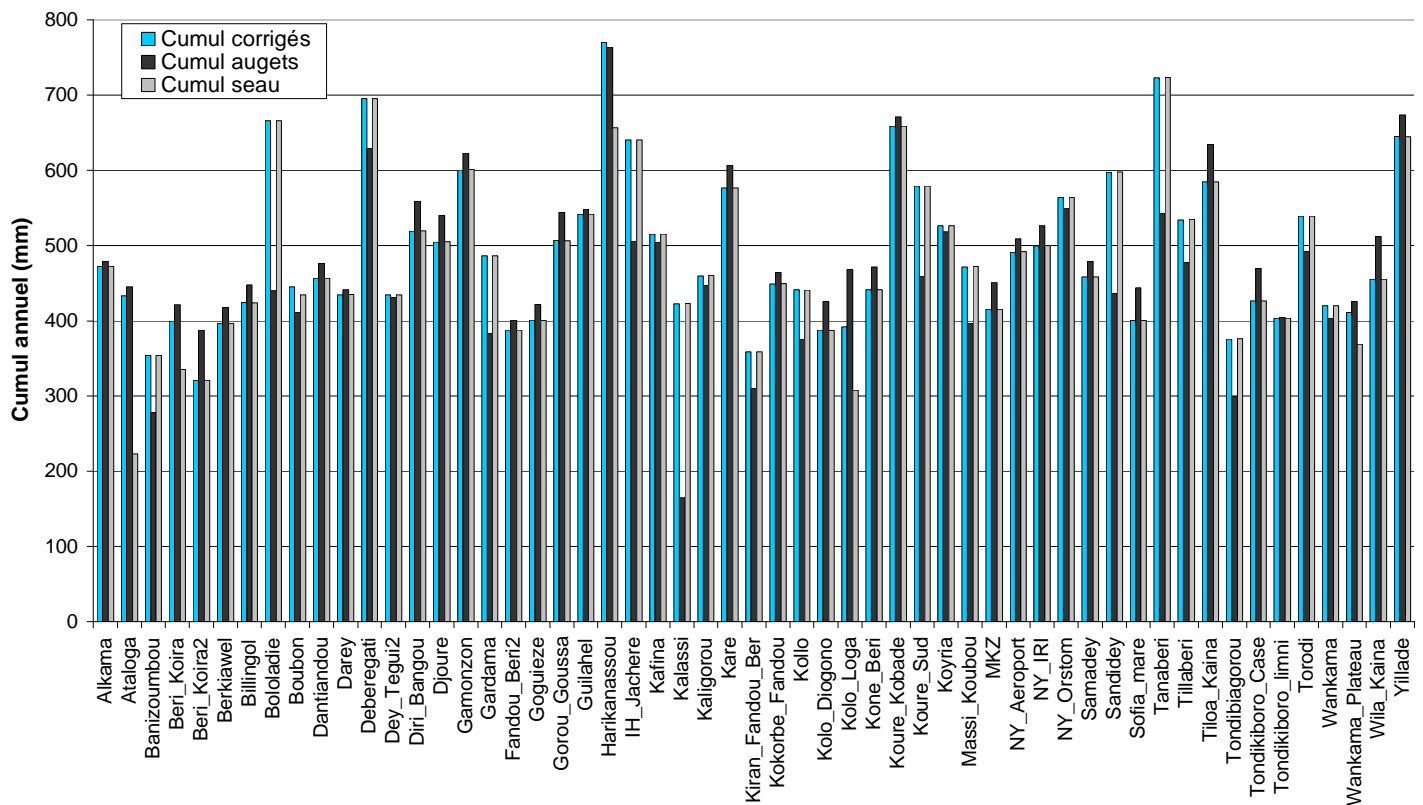


FIG. 1.2 – Comparaison des cumuls augets et des cumuls seaux.

Pour la saison 2010, 21 stations présentent un écart relatif entre le cumul seau et le cumul augets supérieur à 10% et 21 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 1.2 récapitule les différents cumuls obtenus pour chaque station.

1.3 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.

1.3.1 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.

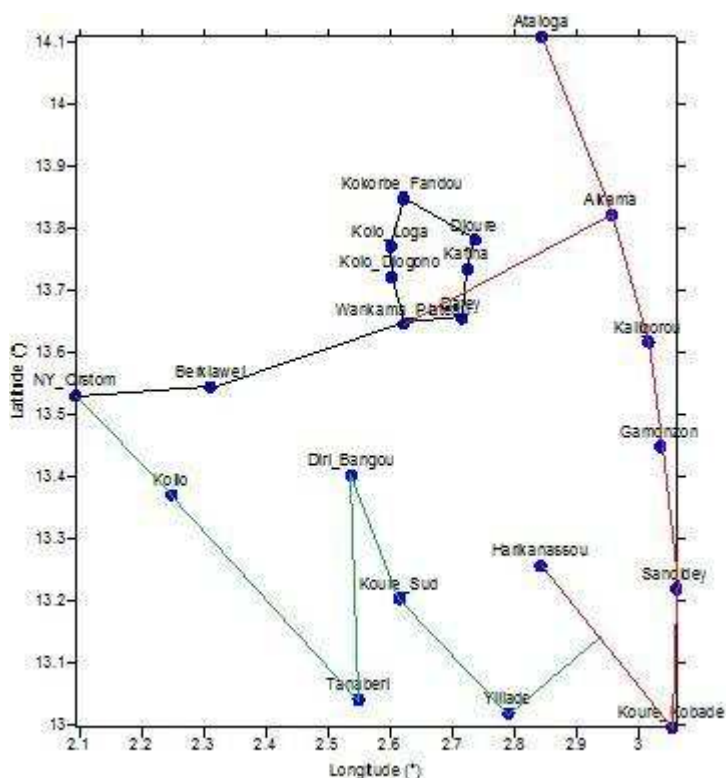


FIG. 1.3 – Tournée n°1 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge et jour 3 en vert).

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.

1.3.2 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.

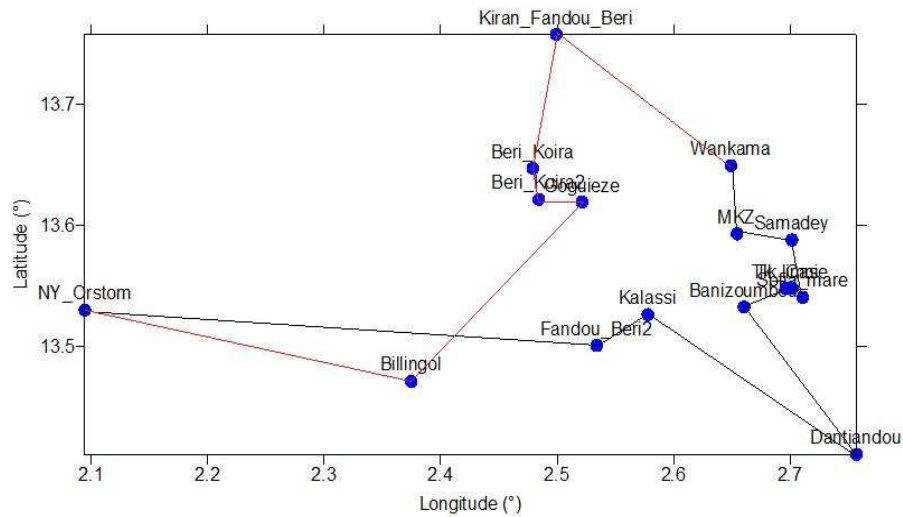


FIG. 1.4 – Tournée n°2 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).

1.3.3 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.

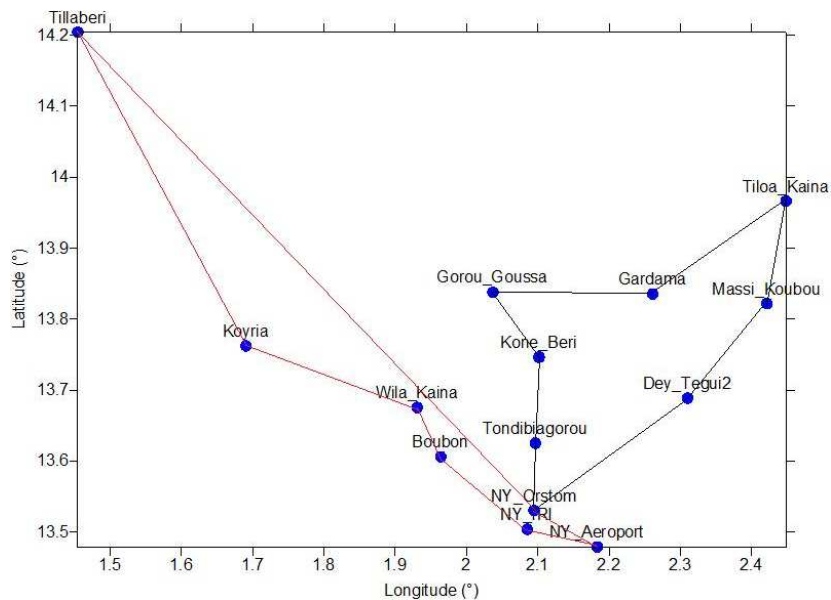


FIG. 1.5 – Tournée n°3 (jour 1 en noir, jour 2 en rouge).

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.

1.3.4 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.

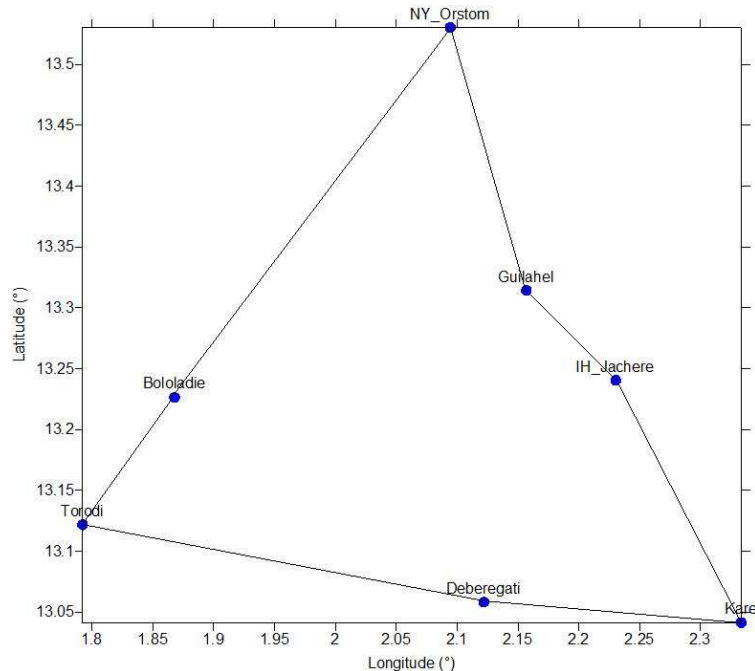


FIG. 1.6 – Tournée n°4 (jour 1 en noir).

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 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.

1.3.5 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 2 : Analyse spatiale de la saison

2.1 Les cumuls saisonniers

2.1.1 Description générale de la saison

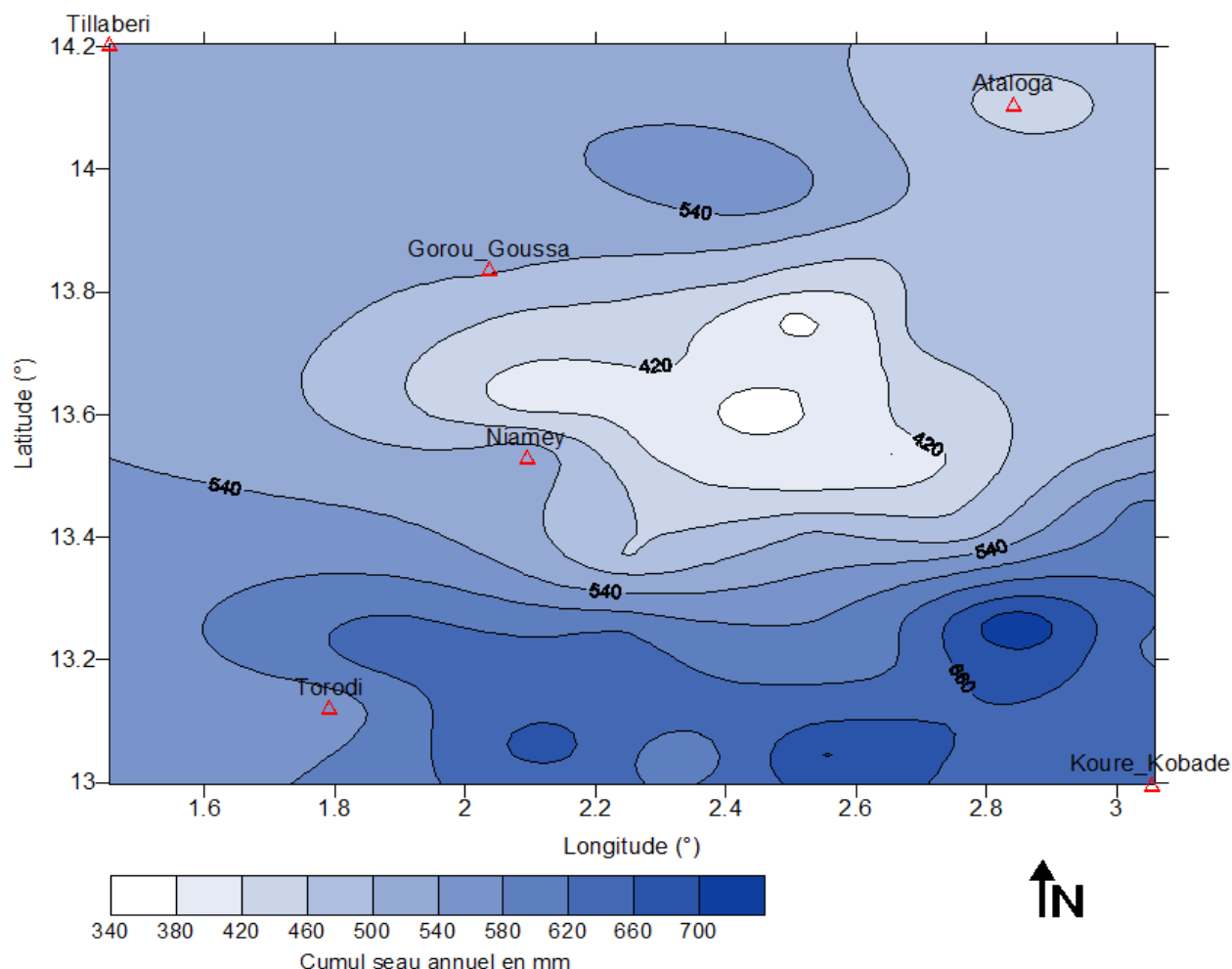


FIG. 2.1 – Isohyètes des cumuls seaux pour la saison 2010 sur l’ensemble des stations du degré carré de Niamey.

Avec une moyenne spatiale de 378,9 mm sur l’ensemble des 55 stations du réseau, la saison 2010 n’est pas pluvieuse contrairement à la saison 2008 avec 519 mm ou la saison 2009 avec 487,1 mm. En effet, la pluviométrie 2010 sur le degré carré de Niamey est inférieure au cumul moyen de 562,3 mm de la période de référence 1951-1990. Elle est également inférieure à 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 2010 est une saison sèche.

La figure 2.1 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.

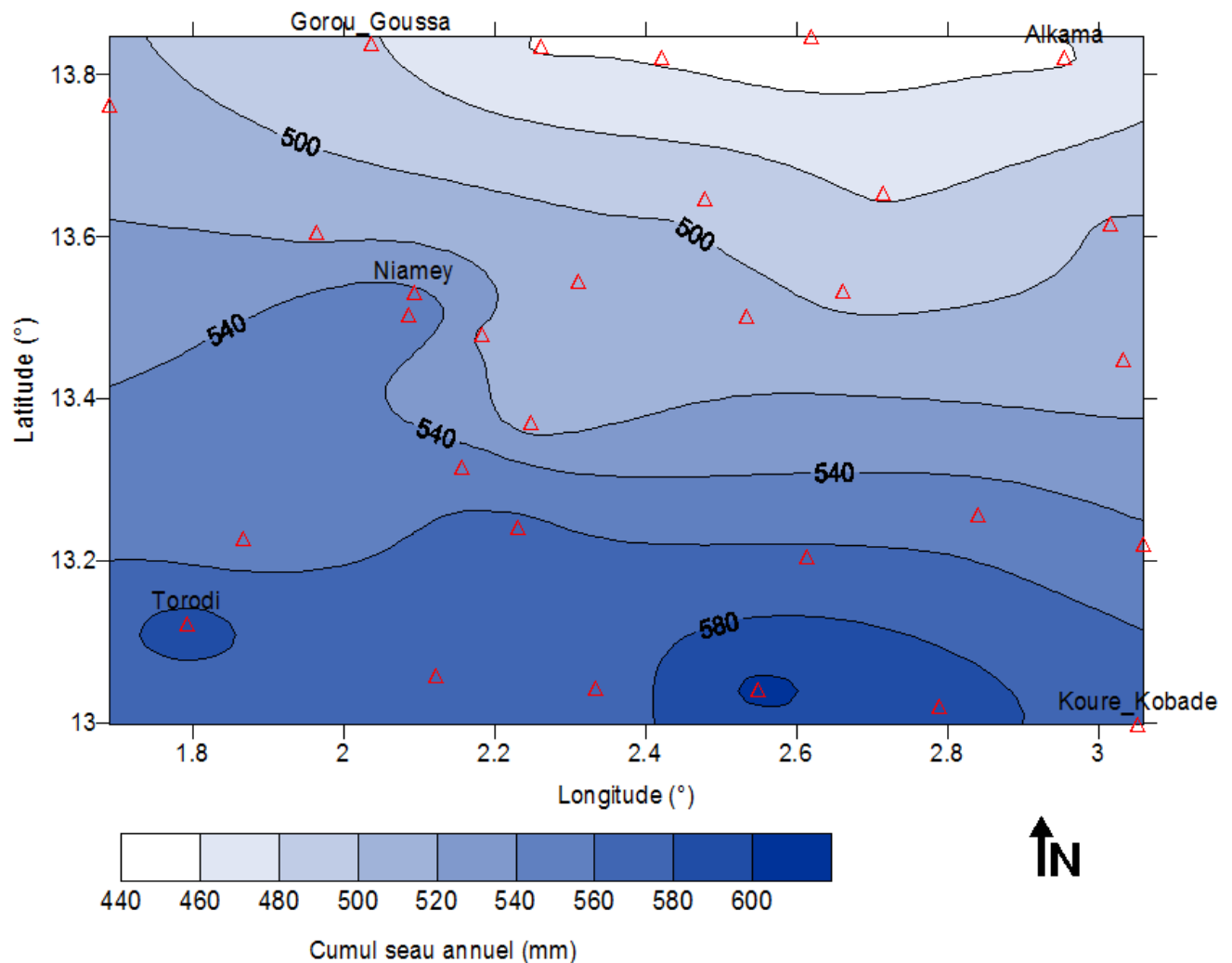


FIG. 2.2 – Isohyètes de la moyenne des cumuls seaux des 30 stations initiales du réseau EPSAT pour les saisons 1990 à 2010.

La moyenne spatiale sur les 30 stations initiales du réseau EPSAT donne 501,6 mm pour 2010. Cette valeur est inférieure à 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 Harikanassou (770,3 mm) et Beri Koira 2 (320,6 mm) ce qui donne un rapport maximum/minimum de 2,4. Au sein du réseau à long terme de 30 stations, le minimum enregistré pour la saison est Banizoumbou avec 354,5 mm, ce qui ramène le rapport à 2,2 (en 2009 ce rapport était de 1,9).

La figure 2.2 qui montre les isohyètes des cumuls seaux moyens sur la période 1990-2010, 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 2.3), on s'aperçoit qu'à l'échelle d'une saison la variabilité locale génère un léger bruit ($R^2=0,53$), mais qu'en moyennant sur l'ensemble du suivi on obtient un résultat acceptable ($R^2=0,80$).

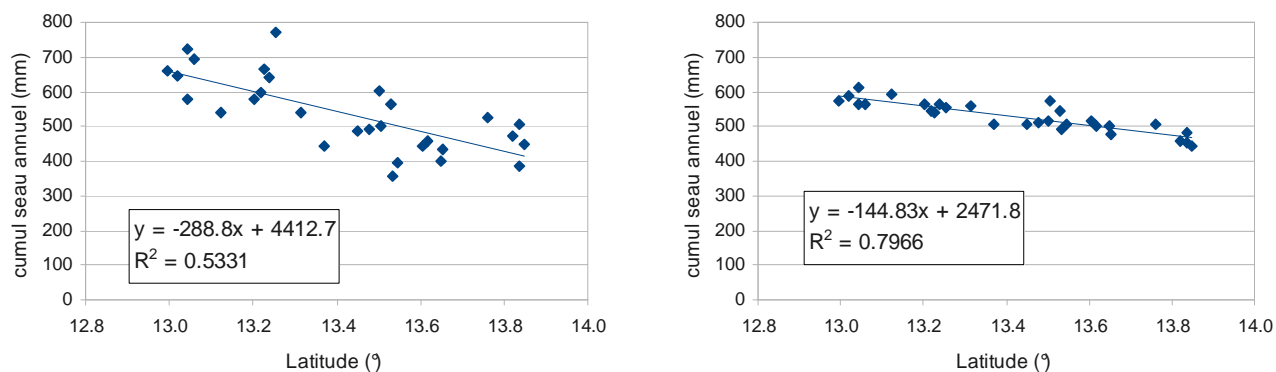


FIG. 2.3 – Evolution des cumuls seau pour 2010 et la moyenne de 1990 à 2010 en fonction de leurs latitudes.

2.1.2 Réseau à long terme : les 30 pluviographes

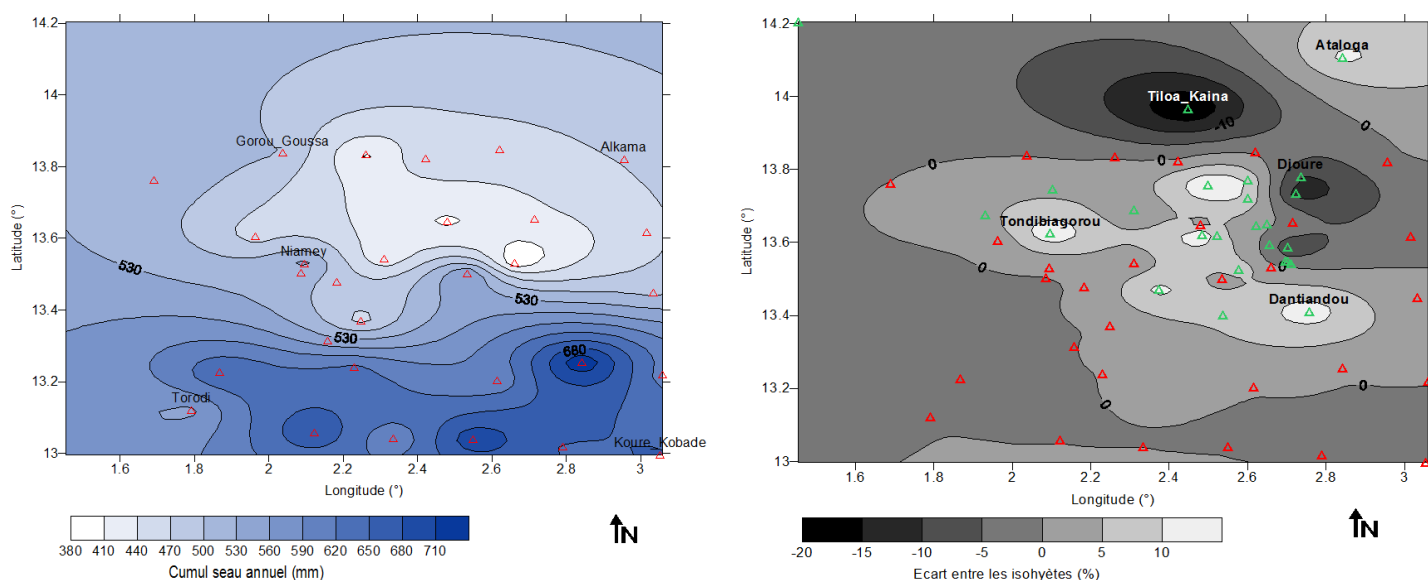


FIG. 2.4 – Isohyètes des cumuls seau pour la saison 2010 des 30 stations EPSAT et comparaison avec les isohyètes pour le réseau complet.

La figure 2.2 présente la moyenne des cumuls seau 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 2010, 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 2.4 montre cet écart relatif ($[\text{cumul } 30 \text{ stations} - \text{cumul } 55 \text{ stations}] / \text{cumul } 30 \text{ stations}$) entre les isohyètes pour 30 stations et pour 55 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 2010 que le réseau de 30 stations surestime une partie de la bande nord, vers Tiloa Kaina. 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 2010 de la zone de Djoure et Samadey de plus de 10 %.

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.

2.1.3 Comparaison de la saison 2010 avec la moyenne sur les 21 années de données

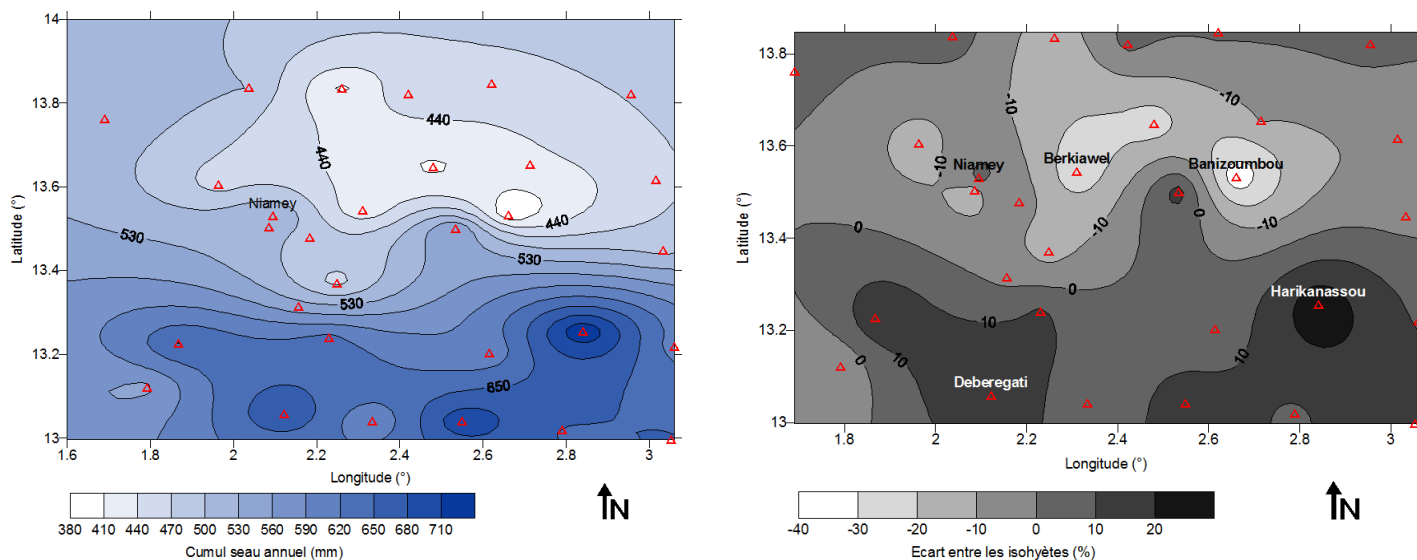


FIG. 2.5 – Saison 2010 et anomalies par rapport à la moyenne 1990-2010.

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°.

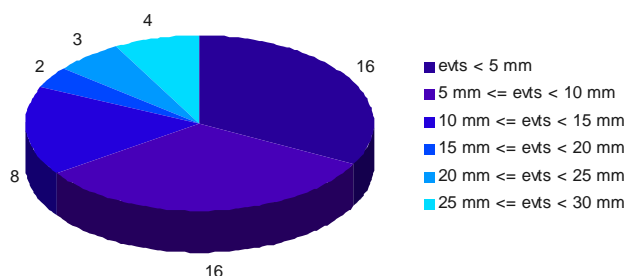
On observe pour la saison 2010, une tendance à un surplus de pluviométrie dans la partie sud de notre zone d'étude. On a plus particulièrement une zone autour de Harikanassou et Tanaberi et une zone autour de Deberegati en excès de 10 à 20 % par rapport à la moyenne. Cependant cette tendance est contrebalancée par un réel déficit pluviométrique au nord qui atteint les 30 % autour de Banizoumbou, Berkiawel et Beri Koira. 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 2010 a paradoxalement été plutôt moins pluvieuse dans le nord de notre zone que dans le sud.

2.2 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.

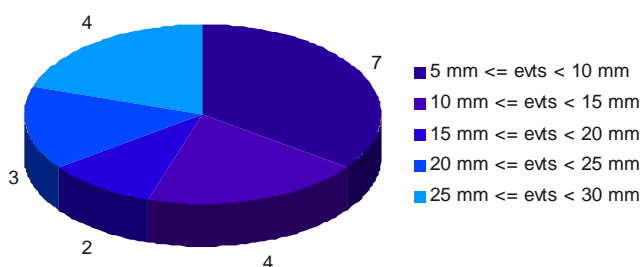
2.2.1 Description générale

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 2010 (cf. annexe A4 et A5), on compte 49 évènements majeurs distincts (moyenne 1991-2010 : 42) pour un cumul moyen de 473 mm (moyenne 1991-2010 : 461,6 mm). Ces évènements majeurs contribuent à hauteur de 94 % de la pluviométrie enregistrée cette saison (moyenne 1991-2010 : 88 %).



(a) Evènements majeurs

FIG. 2.6 – Répartition des évènements en fonction de leur cumul moyen pour la saison 2010.



(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 2010 on recense 20 évènements de grande extension, la moyenne de 1991 à 2010 étant de 21,85. Avec un cumul moyen de 315 mm ces évènements représentent 63 % de la pluviométrie annuelle (moyenne 67 %). On remarque également (cf. figure 2.6) que tous les évènements ayant un cumul moyen supérieur à 15 mm sont des évènements de grande. La pluviométrie de la saison 2010 a donc été fortement structurée à l'échelle du degré carré de Niamey et, comme pour 2009, on note une corrélation marquée entre l'intensité des évènements et leur extension spatiale.

La figure 2.7 montre la contribution des 2 types d'évènements définis précédemment au cumul saisonnier moyen. On remarque pour la saison 2010 que les évènements de grande extension contribuent pour deux-tiers au cumul (63 %), et que le tiers restant se répartit entre les autres évènements structurés et des pluies fortement localisées.

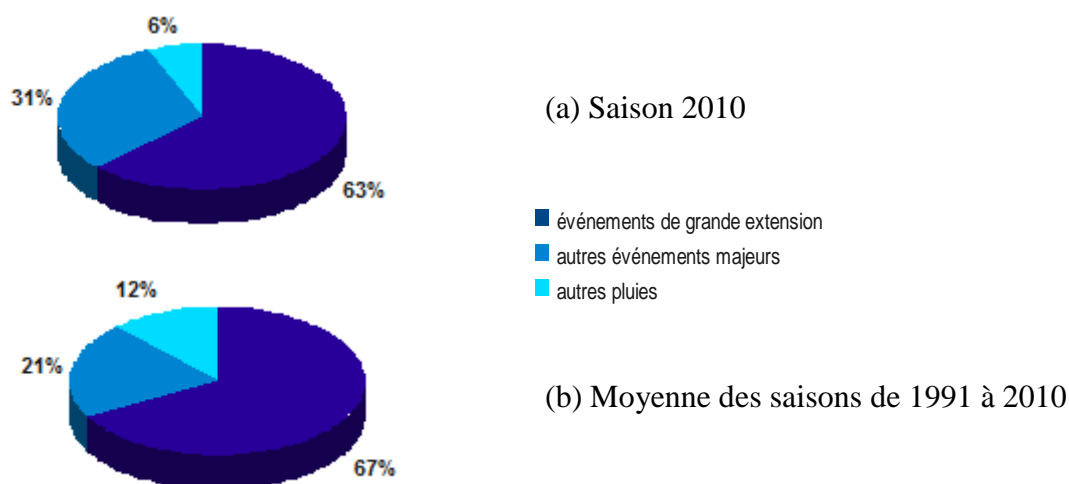


FIG. 2.7 – Contribution des différents types d'évènements au cumul moyen.

2.2.2 Les gradients locaux

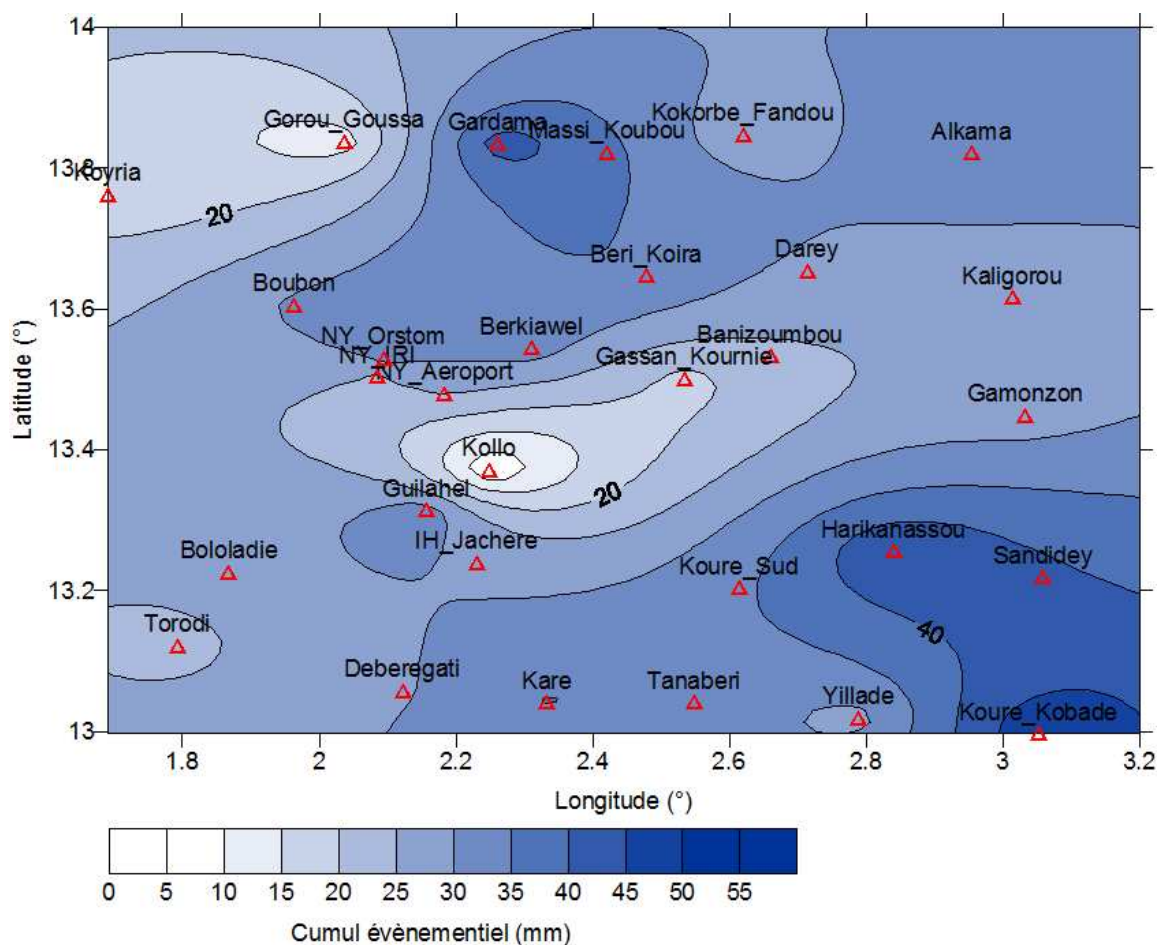


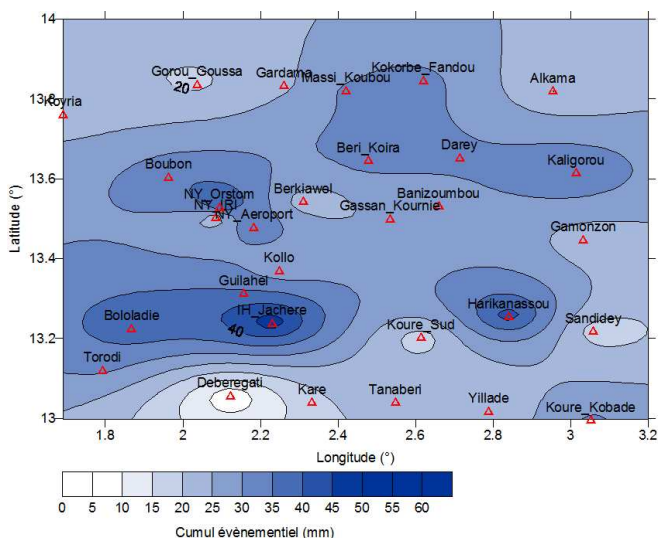
FIG. 2.8 – Isohyètes de l'évènement du 26 Juin 2010.

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.

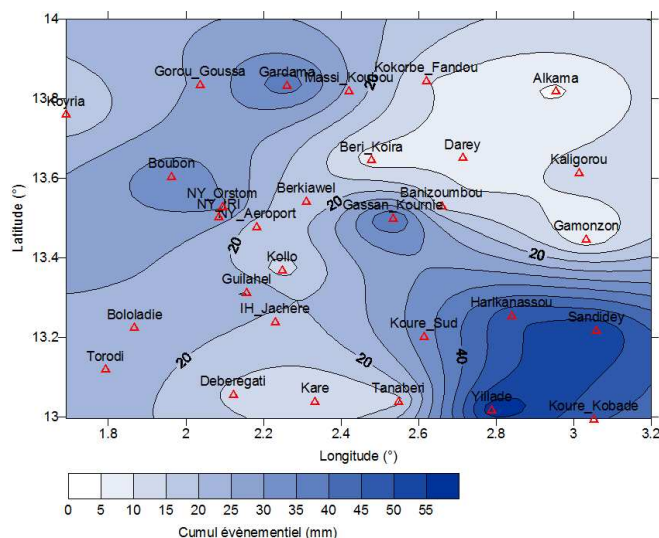
Si on s'intéresse aux principaux événements de la saison 2010 en terme d'apport au cumul total, on constate effectivement des gradients élevés pouvant atteindre les 3 mm/km à l'échelle de notre réseau de 30 stations.

C'est pour l'évènement du 26 Juin 2010 (cf. figure 2.8) de pluviométrie moyenne 28,98 mm, qu'on obtient les valeurs les plus élevées :

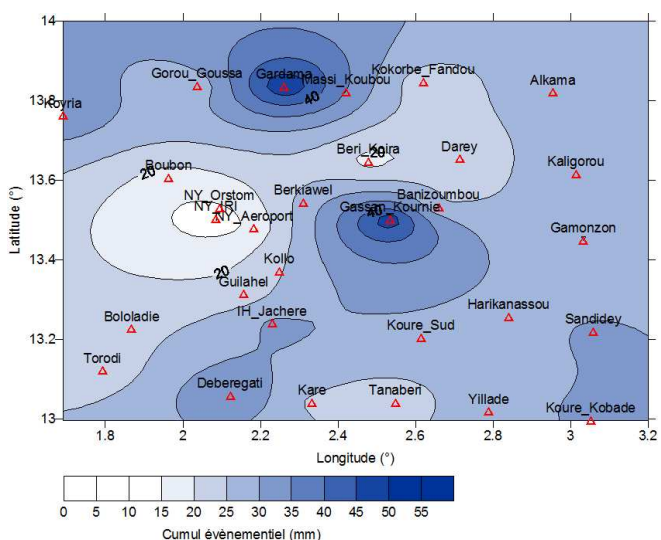
- 1,51 mm/km entre Gardama (45,99 mm) et Gorou Goussa (9,19 mm),
- 1,86 mm/km entre Niamey Aéroport (26 mm) et Kollo (0 mm),
- 3,12 mm/km entre Guilahel (36,66 mm) et Kollo séparées seulement de 11,72 km.



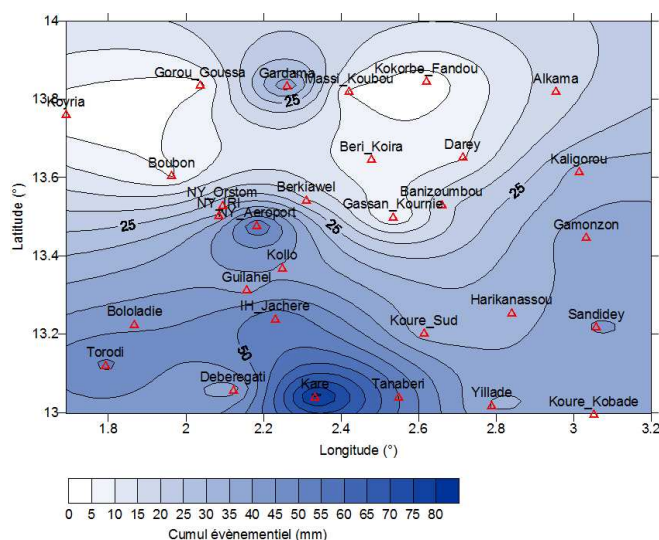
(a) Evènement du 16 Juillet 2010



(b) Evènement du 10 Août 2010



(c) Evènement du 13 Août 2010



(d) Evènement du 30 Août 2010

FIG. 2.9 – Isohyètes de quatre évènements marquants de 2010.

Pour l'évènement du 16 Juillet 2010 (cf. figure 2.9), de pluviométrie moyenne 27,64 mm on obtient :

- 1,50 mm/km entre Kare (34,49 mm) et Deberegati (2,16 mm),
- 2,15 mm/km entre les deux extrêmes de l'évènement, IH Jachère (52,61 mm) et Deberegati.

Pour l'évènement du 10 Août 2010, de pluviométrie moyenne 23,44 mm on obtient :

- 2,10 mm/km entre Sandidey (56,78 mm) et Gamonzon (2,84 mm),
- 2,49 mm/km entre Gassan Kournie ou Fandou Beri 2 (48,44 mm) et Beri Koira (5,28 mm).

Pour l'évènement du 13 Août 2010, de pluviométrie moyenne 26,66 mm on obtient :

- 1,24 mm/km entre Gardama (54,58 mm) et Gorou Goussa (24,31 mm),
- 2,19 mm/km entre Gassan Kournie (54,14 mm) et Beri Koira (16,09 mm).

L'évènement du 30 Août 2010, plus gros contributeur au cumul saisonnier (moyenne : 29,39 mm) est également un bon exemple de forts gradients de pluviométrie :

- 1,95 mm/km entre Gardama (47,72 mm) et Gorou Goussa (0 mm),
- 2,5 mm/km entre Kare (89,99 mm) et Deberegati (32,48 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 2.1.1)

Chapitre 3 : Analyse temporelle de la saison

3.1 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.

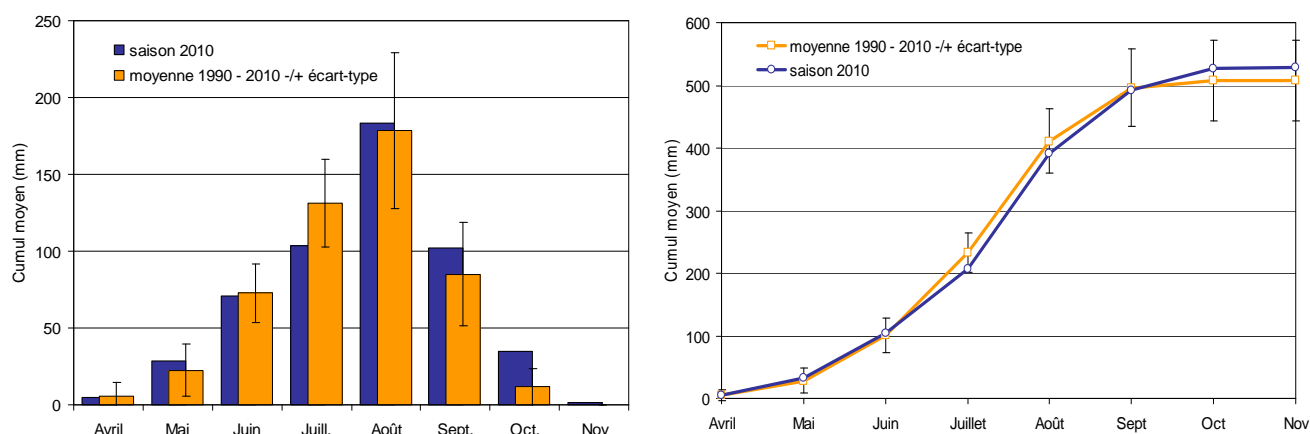


FIG. 3.1 – Comparaison de la pluviométrie mensuelle de la saison 2010 à celle de la moyenne des saisons de 1990 à 2010.

La figure 3.1 montre que la progression mensuelle de la pluviométrie sur le degré carré de Niamey pour la saison 2010 s'est déroulée en cohérence avec la moyenne des 21 années de suivi. Avec un cumul annuel de 528 mm pour 2010 et une moyenne de 508 mm depuis 1990, on constate que la pluviométrie de la saison 2010 est moins concentrée dans le temps, avec des pluies plus importantes en fin de saison par rapport à la moyenne 1990-2010. Ces pluies se sont prolongées jusqu'au mois de novembre 2010. On étudiera plus en détail cette question de la durée de la saison dans la section 3.2.1.

Si on s'intéresse aux apports de juillet et août par rapport à la pluviométrie de la saison, on remarque que les apports de la saison 2010 sont légèrement inférieurs à la moyenne (54% pour 61%). Sur la figure A6 en annexe, on s'aperçoit que la tendance depuis 1990 semble être à l'augmentation de ces apports mais depuis la saison 2009 ils ne se concentrent pas seulement sur les mois de juillet et août, mais se poursuivent jusqu'en novembre (apports 2010 des mois de août et septembre 54%). 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.

3.2 Caractérisation de la saison

3.2.1 Les évènements majeurs : critère climatique

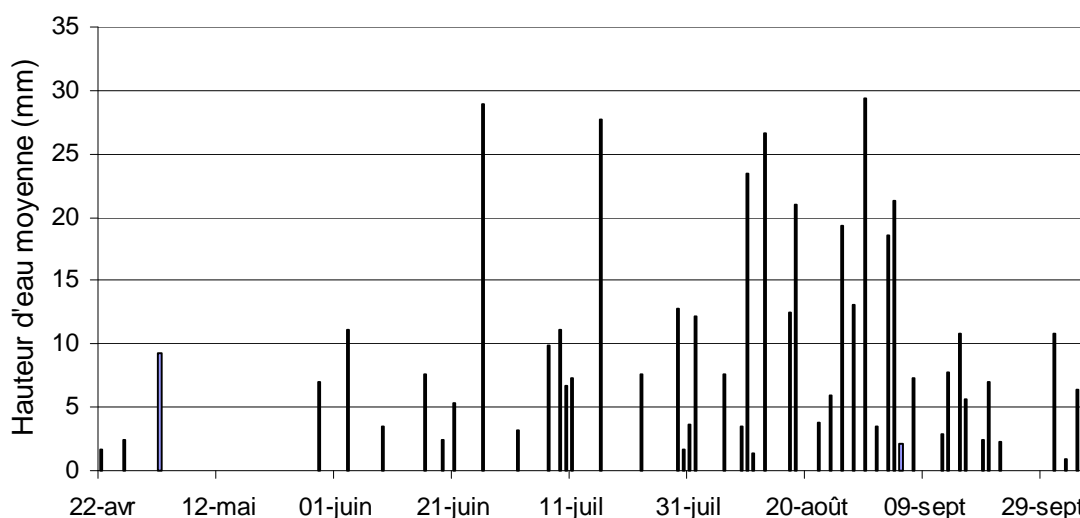


FIG. 3.2 – Répartition des évènements majeurs de la saison 2010 (hauteur d'eau moyenne sur le degré carré de Niamey en mm).

Les évènements pluvieux définis précédemment (cf. section 2.2) nous permettent ici de mieux caractériser l'évolution de la saison 2010 selon un critère climatique. Le premier évènement majeur enregistré, qui marque le début de la saison, a lieu le 22 Avril, il touche 33% des stations pour un cumul moyen par station de 1,71 mm. Le dernier, qui marque la fin de la saison, a lieu le 6 octobre, touche 63% des stations pour un cumul moyen par station de 8,91 mm. La saison dure donc 167 jours avec une moyenne d'un évènement tous les 3.4 jours.

Si le début de la saison est légèrement tardif avec un premier évènement dans la dernière décade d'avril, la fin de la saison 2010 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 3 Juin (86% des stations touchées, 11,06 mm en moyenne) et le dernier le 5 Octobre (80% des stations touchées, 6,43 mm en moyenne). On obtient alors une durée de la saison effective sur chaque station de 124 jours.



(a) Evènements majeurs

(b) Evènements de grande extension

FIG. 3.3 – Répartition mensuelle des évènements majeurs et des évènements de grande extension de la saison 2010.

Quand on regarde la répartition mensuelle des évènements (cf. figure 3.3), on s'aperçoit qu'ils se répartissent assez bien sur les mois de juillet, août et septembre. Quant aux évènements de grande extension, ils se concentrent sur juillet et août.

3.2.2 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.

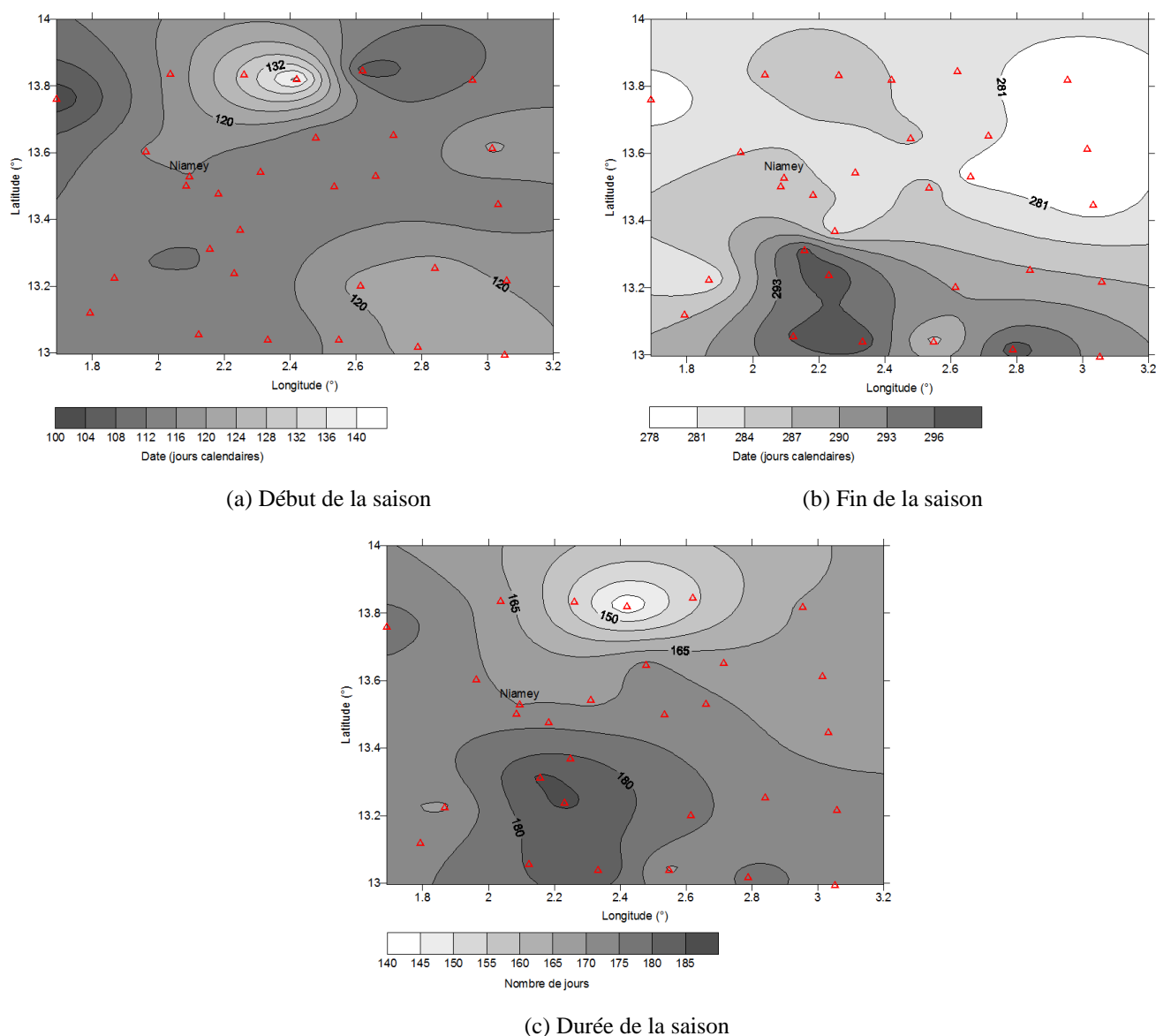


FIG. 3.4 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2010 suivant le critère hydrologique.

En fonction des stations la durée de la saison varie entre 137 et 187 jours (aux stations de Massi Koubou et Kare). La saison commence entre le 9 Avril et le 27 Mai et finit entre le 5 et le 26 octobre.

Sur la figure 3.4 on observe une disparité spatiale. En effet dans la partie sud de la zone d'étude on remarque que la saison a débuté plus tôt et c'est poursuivit plus tard.

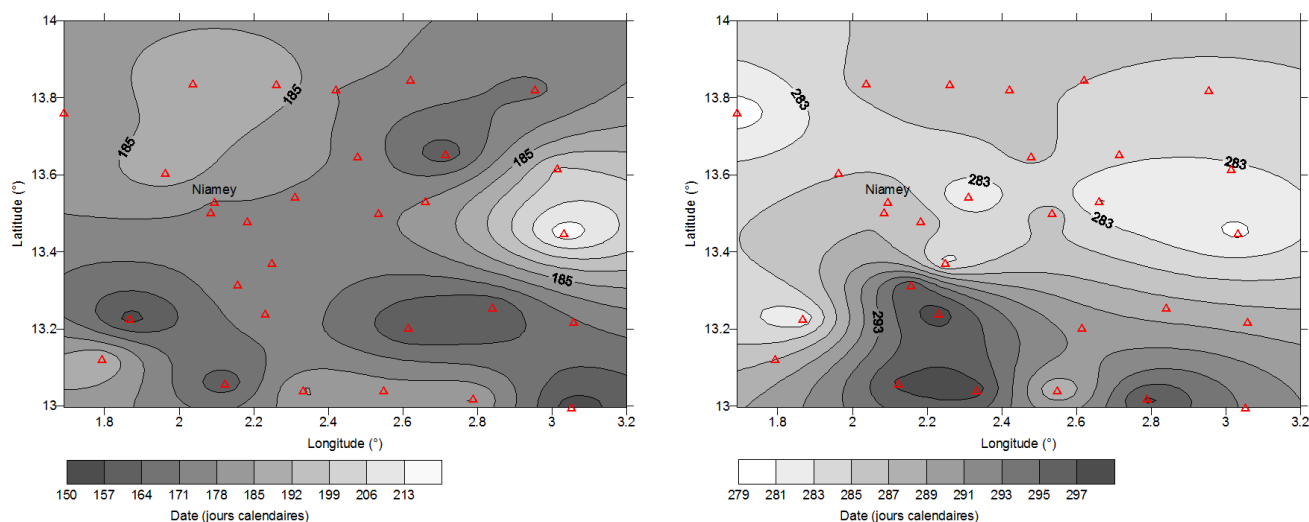
La moyenne arithmétique des valeurs de chaque station nous donne une date de début de saison le 25 Avril, soit 3 jours plus tard que celle déterminée par le critère climatique. Quant à la fin de saison, on trouve en moyenne la date du 13 Octobre, soit une semaine après celle déterminée par le critère climatique. Selon ce critère hydrologique, la saison 2010 dure donc en moyenne 171 jours, elle est plus longue que la saison 2009 (149 jours).

3.2.3 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.

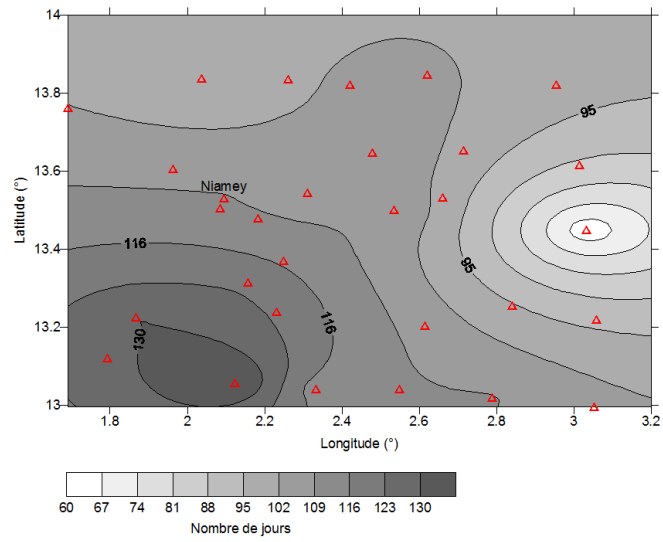
Selon ce critère, la saison 2010 commence entre le 29 Mai et le 11 Août en fonction des stations et finit entre le 6 et le 26 Octobre. En moyenne on retient les dates du 26 Juin et du 14 Octobre pour une durée de 110 jours (maximum: 143 jours à Deberegati, minimum: 57 jours à Gamonzon). Cette durée est 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 3.5 que la saison a commencé plus tardivement dans la zone de Gamonzon à Kaligorou. La saison s'est finie plus tardivement dans la partie Sud. 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 évènements pluvieux entraine des situations localement très différentes.



(a) Début de la saison

(b) Fin de la saison



(c) Durée de la saison

FIG. 3.5 – Dates de début et de fin (a et b), ainsi que la durée (c) de la mousson pour la saison 2010 suivant le critère agronomique.

Chapitre 4 : Appareillage complémentaire

4.1 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.

4.2 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 2010 chaque appareil a reçu 3 visites :

- installation fin mars (lancement différé le 1 Avril)
- 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 4.1.

KONNI		MARADI		TAHOUA		ZINDER	
Date	p (mm)	Date	p (mm)	Date	p (mm)	Date	p (mm)
24-avr.	4.2						
25-avr.	10.8			25-avr.	Traces		
avril	15	avril	0	avril	0	avril	0
5-mai	0.1	6-mai	12.2	2-mai	6	6-mai	4.4
8-mai	1.2			18-mai	1.7	28-mai	1.4
31-mai	3.5			26-mai	3.5		
mai	4.8	mai	12.2	mai	11.2	mai	5.8
3-juin	9.2			3-juin	18.1	2-juin	2.4
4-juin	0.8	4-juin	15.7	5-juin	6.1	4-juin	1.5
9-juin	42.3	9-juin	2.9	14-juin	8.7	8-juin	0.8
14-juin	1.2	14-juin	0.8	20-juin	8	9-juin	1.4
21-juin	11.9	21-juin	2.6	25-juin	38.6	11-juin	10.4
25-juin	8.2	25-juin	24.2	30-juin	1.1	13-juin	8.5
26-juin	21.5	29-juin	17.6			16-juin	9.2
						25-juin	14.5
						26-juin	2.9
						29-juin	7.5
juin	95.1	juin	63.8	juin	80.6	juin	59.1
5-juil.	6.5	2-juil.	10.2	9-juil.	5.7	2-juil.	8.7
7-juil.	15.8	4-juil.	21.6	10-juil.	13.3	7-juil.	9.2
9-juil.	10.3	10-juil.	3.5	15-juil.	5.7	15-juil.	2.7
13-juil.	18.7	15-juil.	19.2	17-juil.	0.5	16-juil.	0.9

15-juil.	41.9	19-juil.	16.6	20-juil.	2.8	20-juil.	5.6
21-juil.	27.3	21-juil.	17.8	21-juil.	4.7	22-juil.	17.2
23-juil.	2.3	23-juil.	10.4	23-juil.	1.1	23-juil.	4.7
27-juil.	9.4	26-juil.	30.4	27-juil.	8.1	24-juil.	7.4
30-juil.	11.2	27-juil.	0.8	31-juil.	14.2	26-juil.	0
31-juil.	3.1	28-juil.	21.4			27-juil.	2.3
		30-juil.	13.3			29-juil.	32.3
		31-juil.	6.1			31-juil.	6.7
juillet	146.5	juillet	171.3	juillet	56.1	juillet	97.7
1-août	0.5	2-août	14.2	1-août	7.7	1-août	24
3-août	3.6	4-août	7.8	5-août	5.3	6-août	30.5
5-août	37	6-août	46.4	8-août	Traces	8-août	36
6-août	6.7	8-août	19.9	10-août	30.1	9-août	54
7-août	33	9-août	6.9	11-août	0.2		
10-août	23.6	10-août	17.8	12-août	7.3		
18-août	19.5	13-août	10.2	17-août	0.3		
19-août	0.5	14-août	11.4	22-août	5.1		
22-août	24.7	18-août	6.4	23-août	0.8		
23-août	0.1	21-août	28.4	26-août	26.8		
25-août	4.1	25-août	10.2	28-août	0.6		
28-août	0.3	27-août	4.5	29-août	2		
30-août	15.9	28-août	4.3	30-août	16.5		
31-août	1.2	30-août	0.9	31-août	19.7		
		31-août	2.9				
août	170.7	août	192.2	août	122.4	août	nan
1-sept.	0.5	2-sept.	26.7	1-sept.	2.9		
3-sept.	46	3-sept.	16.9	3-sept.	0.2		
7-sept.	17.6	7-sept.	2.3	7-sept.	41.7		
8-sept.	2.8	9-sept.	26.8	13-sept.	7.7		
10-sept.	3.7	13-sept.	1.4	15-sept.	17		
15-sept.	2.5	15-sept.	17.9	16-sept.	2.9		
18-sept.	2.6	16-sept.	35.2	19-sept.	0.4		
		26-sept.	2.6				
septembre	75.7	septembre	129.8	septembre	72.8	septembre	nan
1-oct.	4.1	2-oct.	3.5	1-oct.	1		
2-oct.	13.5	4-oct.	3.2	18-oct.	11.2		
4-oct.	29.3	21-oct.	2.6	24-oct.	0.8		
12-oct.	5.8	24-oct.	3.7				
18-oct.	4.5						
octobre	57.2	octobre	13	octobre	13	octobre	nan
Total	565	Total	582.3	Total	356.1	Total	nan

TAB. 4.1 – Récapitulatif des pluies relevées sur le réseau synoptique en 2010.

Conclusion

Le réseau de la zone d'étude du degré carré de Niamey est composé pour cette année 2010 de 55 pluviographes équipés d'enregistreurs de type Hobos. Le taux global de fonctionnement a atteint les 89%.

Comme les précédentes, cette saison présente une forte variabilité spatiale des cumuls saisonniers. La moyenne spatiale sur la zone d'étude (378,9 mm) est inférieure au cumul moyen de la période de référence 1951-1990 (562,3 mm).

On dénombre 49 épisodes majeurs (définis selon les critères d'extension spatiale et de continuité temporelle), valeur supérieure à la moyenne enregistrée depuis 1991 (42 évènements). Ces évènements 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 propre à cette partie de l'Afrique de l'Ouest.

Selon le critère climatique, le premier évènement majeur enregistré, qui marque le début de la saison, a lieu le 22 Avril et le dernier, qui marque la fin de la saison, a lieu le 6 Octobre. La saison dure donc 167 jours avec une moyenne d'un évènement tous les 3.4 jours.

Selon le critère hydrologique, la saison commence le 25 Avril, soit 3 jours plus tard que celle déterminée par le critère climatique et finit le 13 octobre, soit une semaine après celle déterminée par le critère climatique. La saison 2010 dure donc en moyenne 171 jours, elle est plus longue que la saison 2009 (149 jours).

Enfin, selon le critère agronomique, la saison 2010 commence le 26 Juin et finit 14 octobre pour une durée de 110 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 2010.

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
Gogueize	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_Aeroport	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 cumuls 5 mn pour la saison 2010.

Stations	Date d'installation	Date de démontage	Période de fonctionnement (jour)	Cumul 5 mn total (mm)
Alkama	15/04/2010	23/11/2010	222	472
Ataloga	15/04/2010	23/11/2010	222	433.2
Banizoumbou	Permanent	Permanent	Permanent	354.5
Beri_Koira	13/04/2010	10/11/2010	211	399.5
Beri_Koira2	13/04/2010	10/11/2010	211	320.5
Berkiawel	12/04/2010	22/11/2010	224	396.8
Billingol	16/04/2010	11/11/2010	209	424
Bololadie	19/04/2010	09/11/2010	204	666.2
Boubon	09/04/2010	03/11/2010	208	445.1
Dantiandou	13/04/2010	11/11/2010	212	456.6
Darey	16/04/2010	22/11/2010	220	434.6
Deberegati	19/04/2010	09/11/2010	204	694.9
Dey_Tegui2	08/04/2010	02/11/2010	208	434.3
Diri_Bangou	13/04/2010	24/11/2010	225	519.2
Djoure	12/04/2010	22/11/2010	224	504.8
Gamonzon	15/04/2010	23/11/2010	222	600.7
Gardama	08/04/2010	02/11/2010	208	485.9
Fandou_Beri2	13/04/2010	10/11/2010	211	387.6
Gogueize	12/04/2010	10/11/2010	212	400.8
Gorou_Goussa	08/04/2010	02/11/2010	208	507
Guilahel	19/04/2010	08/11/2010	203	541.5
Harikanassou	14/04/2010	23/11/2010	223	770.3
IH_Jachere	19/04/2010	08/11/2010	203	640
Kafina	16/04/2010	22/11/2010	220	515
Kalassi	16/04/2010	10/11/2010	208	422.6
Kaligorou	15/04/2010	22/11/2010	221	459.6
Kare	19/04/2010	08/11/2010	203	576.5
Kiran_Fandou_Beri	13/04/2010	10/11/2010	211	358.9
Kokorbe_Fandou	12/04/2010	22/11/2010	224	448.9
Kollo	16/04/2010	24/11/2010	222	441.1
Kolo_Diogono	12/04/2010	22/11/2010	224	387.7
Kolo_Loga	12/04/2010	22/11/2010	224	392.2
Kone_Beri	08/04/2010	02/11/2010	208	441.5
Koure_Kobade	15/04/2010	23/11/2010	222	658.3
Koure_Sud	14/04/2010	24/11/2010	224	579.3
Koyria	09/04/2010	03/11/2010	208	526.4
Massi_Koubou	08/04/2010	02/11/2010	208	471.9
MKZ	16/04/2010	10/11/2010	208	415.6
NY_Aéroport	Permanent	Permanent	Permanent	491.4
NY_IRI	Permanent	Permanent	Permanent	499.6
NY_Orstom	Permanent	Permanent	Permanent	564
Samadey	16/04/2010	10/11/2010	208	458.4
Sandidey	15/04/2010	23/11/2010	222	597.3
Sofia_mare	16/04/2010	10/11/2010	208	400.5
Tanaberi	14/04/2010	24/11/2010	224	723
Tillaberi	09/04/2010	03/11/2010	208	534.4
Tilola_Kaina	08/04/2010	02/11/2010	208	585

Tondibiagorou	08/04/2010	02/11/2010	208	375.9
Tondikiboro_Case	16/04/2010	10/11/2010	208	426.5
Tondikiboro_limni	16/04/2010	10/11/2010	208	403.3
Torodi	19/04/2010	09/11/2010	204	539.5
Wankama	Permanent	Permanent	Permanent	420.1
Wankama_Plateau	28/04/2010	22/11/2010	208	411
Wila_Kaina	09/04/2010	03/11/2010	208	455.4
Yillade	14/04/2010	24/11/2010	224	645.1
Konni	01/04/2010	26/11/2010	239	571
Maradi	01/04/2010	24/11/2010	237	602.8
Tahoua	01/04/2010	23/11/2010	236	356.1
Zinder	01/04/2010	25/11/2010	238	493.2

Figure A1 - Qualité de l'acquisition sur la saison 2010.

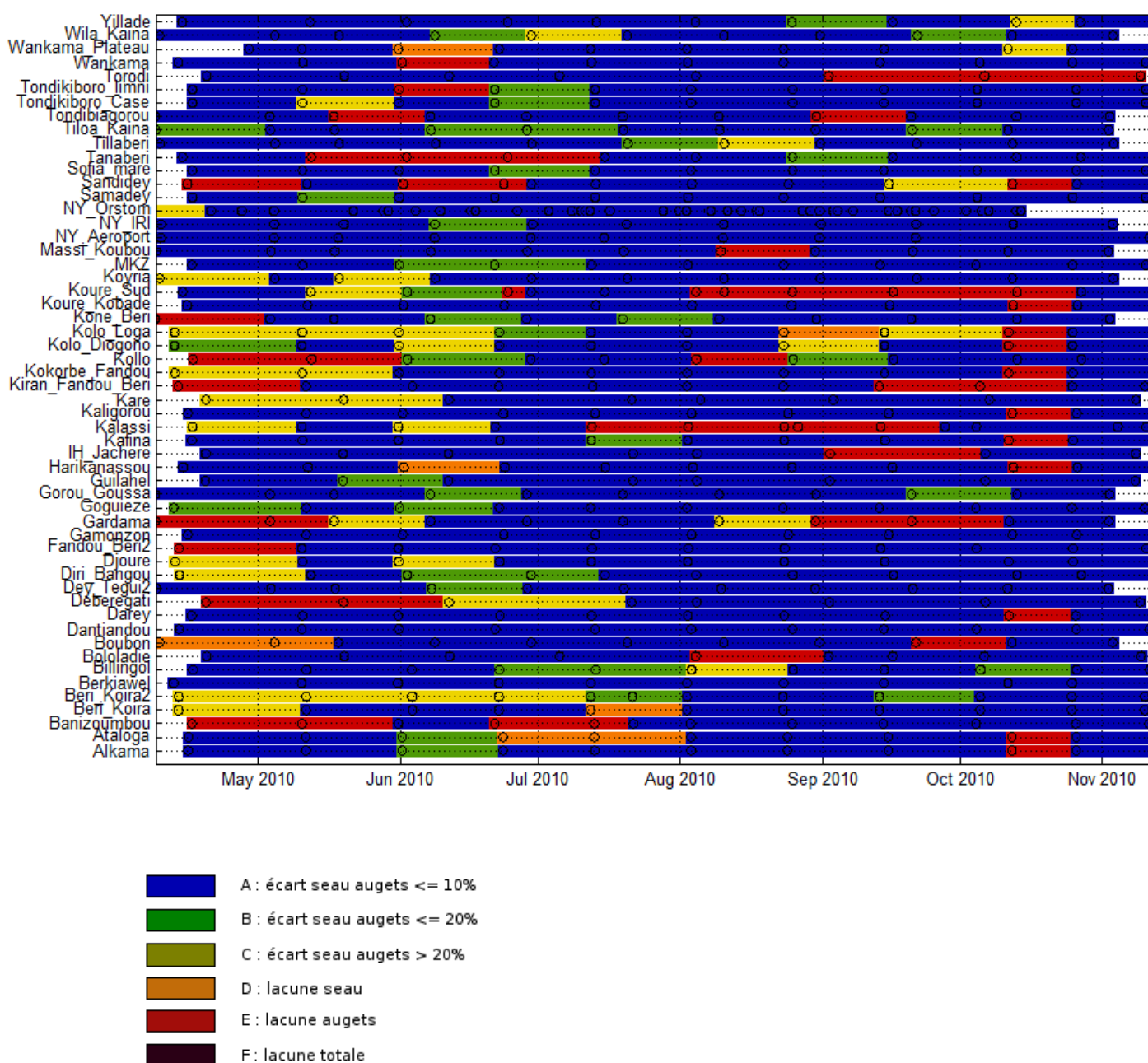


Tableau A3 – Variogramme utilisé pour le krigeage à une échelle annuelle.

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 $\Theta_1 = 90^\circ$
Structure exponentielle 2	Palier $\sigma_2 = 4000 \text{ mm}^2$
	Portée $S_2 = 3,5^\circ$
	Anisotropie $\alpha_2 = 0,5$
	Angle d'anisotropie $\Theta_2 = 90^\circ$

Tableau A4 – Liste des 49 évènements majeurs enregistrés en 2010 à partir de 30 stations.

N°	Début	Fin	Stations Touchées par l'évènement (%)	Cumul Moyen	Durée (min)
1	22/04/2010 22h55	23/04/2010 02h55	33	1.71	240
2	26/04/2010 23h40	27/04/2010 04h30	46	2.41	290
3	02/05/2010 17h00	03/05/2010 02h40	63	9.21	580
4	29/05/2010 00h00	29/05/2010 07h55	74	7.05	475
5	03/06/2010 22h10	04/06/2010 05h40	86	11.06	450
6	09/06/2010 12h20	09/06/2010 17h00	59	3.5	280
7	16/06/2010 16h20	16/06/2010 20h10	86	7.65	230
8	19/06/2010 22h15	20/06/2010 02h20	36	2.38	245
9	21/06/2010 23h15	22/06/2010 05h40	52	5.34	385
10	26/06/2010 02h20	26/06/2010 07h30	96	28.98	310
11	02/07/2010 12h50	02/07/2010 15h10	57	3.24	140
12	07/07/2010 19h15	08/07/2010 01h50	75	9.93	395
13	09/07/2010 22h10	10/07/2010 03h10	64	11.04	300
14	10/07/2010 23h05	11/07/2010 09h40	82	6.65	635
15	11/07/2010 11h35	11/07/2010 17h05	82	7.37	330
16	16/07/2010 01h25	16/07/2010 11h15	100	27.64	590
17	23/07/2010 14h10	23/07/2010 23h20	83	7.68	550
18	29/07/2010 17h40	29/07/2010 23h10	80	12.72	330
19	30/07/2010 03h35	30/07/2010 08h05	50	1.68	270
20	31/07/2010 02h50	31/07/2010 07h05	40	3.63	255
21	01/08/2010 16h40	01/08/2010 22h20	63	12.2	340
22	06/08/2010 13h10	06/08/2010 18h55	50	7.62	345
23	09/08/2010 12h35	09/08/2010 16h15	39	3.51	220
24	10/08/2010 05h50	10/08/2010 20h30	100	23.44	880
25	11/08/2010 02h25	11/08/2010 14h45	61	1.44	740
26	13/08/2010 11h05	13/08/2010 17h00	100	26.66	355
27	17/08/2010 03h35	17/08/2010 10h45	96	12.48	430
28	17/08/2010 22h10	18/08/2010 05h30	89	21.06	440
29	22/08/2010 03h40	22/08/2010 11h35	38	3.73	475
30	24/08/2010 15h25	24/08/2010 19h25	35	5.9	240
31	26/08/2010 01h40	26/08/2010 12h10	96	19.38	630
32	28/08/2010 12h35	28/08/2010 16h55	79	13.11	260
33	30/08/2010 10h30	30/08/2010 22h25	83	29.39	715
34	01/09/2010 10h05	01/09/2010 21h00	66	3.51	655
35	03/09/2010 01h40	03/09/2010 05h50	82	18.56	250

36	03/09/2010 17h10	03/09/2010 23h45	100	21.37	395
37	05/09/2010 06h05	05/09/2010 08h35	39	2.18	150
38	07/09/2010 11h25	07/09/2010 15h55	93	7.38	270
39	12/09/2010 15h05	12/09/2010 18h15	33	2.82	190
40	13/09/2010 20h45	14/09/2010 01h40	41	7.75	295
41	15/09/2010 22h55	16/09/2010 03h20	74	10.86	265
42	16/09/2010 22h05	17/09/2010 04h55	33	5.68	410
43	19/09/2010 22h30	20/09/2010 01h55	56	2.43	205
44	20/09/2010 08h55	20/09/2010 12h35	89	6.93	220
45	22/09/2010 20h05	23/09/2010 00h00	46	2.35	235
46	01/10/2010 19h25	02/10/2010 00h00	96	10.78	275
47	03/10/2010 05h25	03/10/2010 08h55	36	0.92	210
48	05/10/2010 03h00	05/10/2010 08h10	80	6.43	310
49	06/10/2010 20h35	07/10/2010 01h50	63	8.91	315

Tableau A5 – Comparaison pour les années 1991 à 2010 de l'importance des événements majeurs et de grande extension.

	<i>Nb Évts majeurs</i>	<i>Nb Évts grde ext</i>	<i>Moyenne cumuls saisonniers</i>	<i>Moyenne cumuls Évts majeurs</i>	<i>Moyenne cumuls Évts grde ext</i>	<i>% cumul evt maj / cum saison</i>	<i>% cumul evt grde ext / cum saison</i>	<i>% cumul evt grde ext / cum evt maj</i>	<i>% nb evt grde ext / nb evt maj</i>
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	93	77	83	52
2010	49	20	502	473	315	94	63	67	41
Moyenne	42	22	524	462	350	88	67	75	52

Figure A6 – Apports des mois de juillet et août à la pluviométrie de la saison pour les 21 ans de données.

