

EPSAT

N I G E R

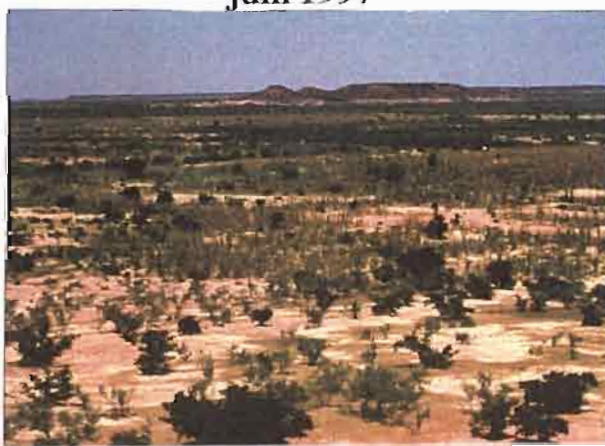
Vers une estimation
des précipitations
par satellite au Sahel

EPSAT-NIGER SUIVI A LONG TERME

CAMPAGNE 1996

Jean Denis TAUPIN et Joseph ROBIN

juin 1997



ORSTOM

DMN

AVANT-PROPOS

Le dispositif du réseau pluviographique adopté en 1996 est la configuration minimale, à un ou deux postes près, qui devrait être maintenue pour les années suivantes dans le cadre de l'étude des précipitations sur la zone du degré carré d'HAPEX-Sahel (**Goutorbe et al., 1994**), dans la mesure où les financements prévus de l'ORSTOM et du programme FIRMA (Fonds d'Incitation à la Recherche Météorologique en Afrique) continuent à être accordés. Les moyens humains ont été réduits considérablement puisque, depuis le mois d'août 1996, seul un ingénieur de l'ORSTOM reste opérationnel dans le cadre de la formation des techniciens de la DMN (Direction de la Météorologie du Niger) à la maintenance du réseau ainsi qu'au traitement des données. En comptant une seconde année de transition, saison des pluies 1997, les agents de la DMN devraient normalement gérer seuls le réseau dès la saison 1998.

Trente-sept pluviographes ont été maintenus pour une maille de base d'environ 25 km pour assurer le suivi pluviométrique à long terme du degré carré, dans le cadre du choix du futur site de validation en zone sahélienne du satellite micro-ondes TRMM (Tropical rainfall Measurement Mission, **Simpson et al., 1988**) qui sera lancé en 1997. Les études concernant le kilomètre carré de Kobong ainsi que le dispositif de pluviographes au sol ont été arrêtés. Une station supplémentaire a été installée vers Say, à la demande de nos partenaires de l'Université dans le cadre d'un projet agronomique. Le site central reste encore opérationnel, malgré une légère réduction, pour quelques études complémentaires dans le cadre de SALT (Savanne A Long Terme) et du suivi de la nappe du CT3.

Comme chaque année, est présentée, dans ce rapport, une première analyse de la saison des pluies à différentes échelles de temps et suivant une procédure comparative identique avec les autres années (**Lebel et al., 1991 ; Taupin et al., 1992, 1993b, 1995a, 1995b, 1996**).

Comme les années précédentes, un annuaire des pluies journalières enregistrées sur les 37 stations pourra être disponible auprès du centre ORSTOM de Niamey.

SOMMAIRE

1. Caractéristiques de la saison des pluies 1996		1
2. Le réseau de pluviographes		14
3. Analyses préliminaires des données pluviographiques		22
4. Conclusions		49
Références		50
Annexe 1	Gestion du réseau de pluviographes	A1.1
Annexe 2	Isohyètes des cumuls par épisodes	A2.1
Annexe 3	Tableaux des cumuls journaliers	A3.1
Annexe 4	Cumuls mensuels	A4.1
Annexe 5	Cumuls saisonniers sur le réseau nigérien	A5.1
Annexe 6	Fonctions de structure au pas de temps de l'événement, de la décade et du mois	A6.1
Annexe 7	Listes des fichiers créés lors du traitement des données pluviographiques	A7.1

**EPSAT-NIGER
SUIVI A LONG TERME
CAMPAGNE 1996**

Jean Denis TAUPIN et Joseph ROBIN

juin 1997

ORSTOM

DMN

CARACTERISTIQUES DE LA SAISON DES PLUIES 1996 SUR LA REGION DE NIAMEY

En 1996, la région de Niamey a vu sa première pluie arrivée le 14 avril et sa dernière pluie le 23 octobre. Jusqu'au début de juin les pluies restent éparées et de faibles quantités (21 stations reçoivent moins de 10 mm entre le 14 avril et le 1er juin), la saison des pluies commençant véritablement au début du mois de juin. Le mois de juillet marque une pause pluviométrique non négligeable dans la saison des pluies en terme de nombre d'averses et de cumul (23 stations enregistrent un cumul inférieur à 100 mm). Par contre durant le mois d'août ce retard pluviométrique est fortement compensé (26 stations enregistrent un cumul supérieur à 200 mm), d'autre part les mois de septembre et octobre sont relativement pluvieux, ce qui classe l'année pluviométrique 1996 comme une année globalement normale par rapport à la période 68-94 (la moyenne arithmétique sur l'ensemble des stations est égale à 505,2 mm).

1.1 Distribution spatiale des cumuls saisonniers

La saison 1996 (période de référence choisie 15 avril-15 octobre), avec une moyenne estimée par krigeage de 503 mm, et un écart-type de 56 mm, apparaît comme une année un peu meilleure que l'année 1995 tant en terme de cumul saisonnier que de répartition des précipitations. Bien que considérée comme une année normale par rapport à la période sèche que connaît le Sahel depuis 1968, la saison des pluies 1996 reste fortement déficitaire par rapport à la période 1950-94 (548 mm, station de référence Niamey aéroport) et par rapport à la période 1950-1967 (654 mm).

Comme les années précédentes, la variabilité spatiale sur la zone reste importante, les hauteurs saisonnières s'échelonnant entre 374,3 mm et 597,0 mm. La répartition spatiale des pluies montre des cumuls en général plus importants au sud qu'au nord, en relation avec le gradient climatologique que l'on observe en Afrique de l'Ouest à grande échelle, mais cependant, on trouve des poches de sécheresse au sud dans la zone de Kollo (station n° 54 - 408,9 mm) et réciproquement des valeurs de pluies fortes au nord-ouest de la zone d'étude vers Koyria et Boubon golf (station n°82 et 85 - 597,0 et 569,1 mm). (**figure 1a**).

Les valeurs extrêmes, minimale et maximale, ont été enregistrées à la station de Gardana Kouara (n°50 - 374,3 mm) et Koyria (n°82 - 597,0 mm) (**tableau 1**). Ces deux stations ont la particularité d'être à peu près à la même latitude, ce qui montre bien que l'existence d'un gradient latitudinal aux échelles locales n'a aucune signification, d'autre part elles sont situées à 62 km l'une de l'autre, ce qui donne un gradient moyen de pluie de $3,9 \text{ mm.km}^{-1}$ sur cette distance. On note aussi à cette échelle des gradients pluviométriques beaucoup plus importants puisque l'on trouve un gradient de près de 10 mm.km^{-1} entre les stations de Guilahel (n°49) et Kollo distantes de 14 km. A l'échelle du site central, le plus fort gradient pluviométrique atteint 30 mm.km^{-1} entre les stations de Brousse Tigrée et Samadey Bagou (n°410) distantes de 4,3 km (**figure1b**).

1.2 Distribution temporelle

En 1996, la distribution temporelle des pluies a été fortement hétérogène, bien que la durée de la saison des pluies ait été normale. La première pluie, qui a touché le degré carré à Kollo (n°54) et dans la partie nord-est du degré carré, est arrivée le 14 avril, suivie dans les deux jours d'averses éparées qui dans certains endroits ont atteint près de 20 mm (stations de IH Jachere-n°105 et Kare-n°29). On peut noter toutefois que seule la partie sud de la zone d'étude est principalement affectée par ces précipitations suivant ainsi le schéma

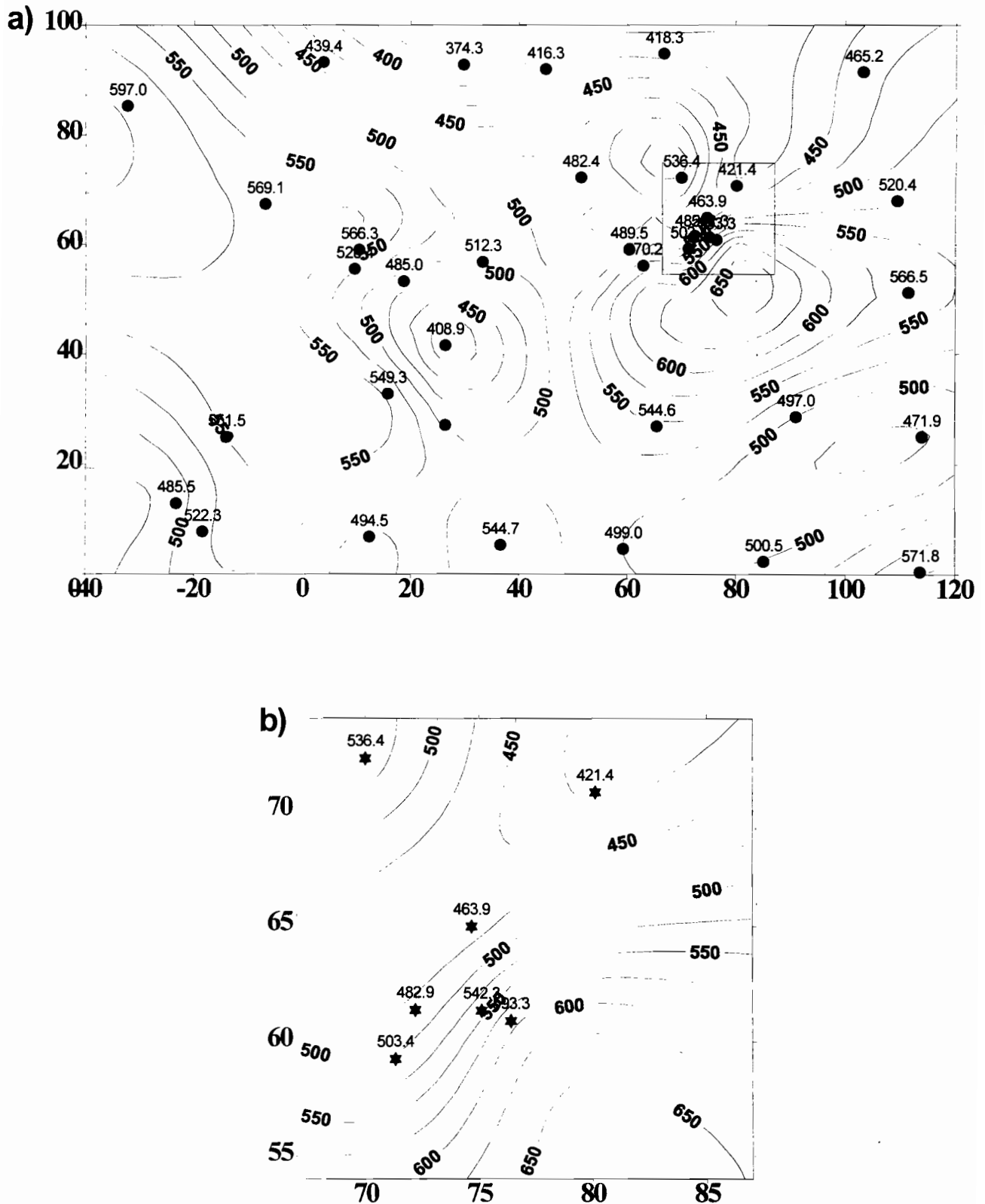


Figure 1: Isohyètes (mm) de la saison des pluies 1996 (15 avril 15 octobre) sur le degré carré de Niamey. 36 stations (cumuls seu). Coordonnées en km ; origine 2°E, 13°N. a) zone d'étude complète ; b) zoom sur le site central.

Tableau 1: Cumuls mesurés sur la période de fonctionnement et sur la période 15 avril - 15 octobre.

Station	n°Epsat	date installation	date démontage	cumul seuu période totale	cumul seuu 15/04-15/10
Alkama	43	12/04	29/10	465,2	464,2
Banizoumbou	11	permanent	permanent	503,4	503,4
Bazanga	5	03/04	01/11	570,2	570,2
Beri Koira	21	09/04	28/10	482,4	482,4
Berkiawel	28	09/04	28/10	512,3	511,8
Bogdjottou	412	17/04	08/11	522,3	522,3
Bololadie	84	26/03	08/11	551,5	551,5
Boubon	85	29/03	31/10	569,1	569,1
BrousseTigree	401	04/04	04/11	593,3	593,3
Darey	18	14/04	24/10	421,4	421,4
Debere Gati	25	26/03	07/11	494,5	494,5
Fandou Beri	9	permanent	permanent	489,5	489,5
Gamonzon	34	02/04	05/11	566,5	566,5
Gardama	50	15/04	25/10	374,3	374,3
Gorou Goussa	80	15/04	25/10	439,4	439,4
Guilahel	49	25/03	07/11	549,3	549,3
Hama Jachere	411	04/04	04/11	542,3	542,3
Harikanassou	41	02/04	05/11	497,0	497,0
IH Jachere	105	25/03	07/11	lacune	lacune
Kaligorou	61	12/04	29/10	520,4	519,4
Kare	29	25/03	07/11	544,7	543,8
Kokorbe Fandou	73	11/04	24/10	418,3	418,3
Kollo	54	28/03	06/11	408,9	404,5
Koure Kobade	26	01/04	30/10	571,8	571,8
Koure Sud	51	01/04	30/10	544,6	544,6
Koyria	82	29/03	31/10	597,0	597,0
Mali Djibo	269	04/04	04/11	482,9	482,9
Massi Koubou	78	09/04	28/10	416,3	416,3
Niamey Aeroport	94	permanent	permanent	485,0	485,0
Niamey IRI	83	permanent	permanent	528,4	528,4
Niamey Orstom	70	permanent	permanent	566,3	566,3
SD Bagou	410	05/04	04/11	463,9	463,9
Sandideye	57	02/04	05/11	471,9	471,9
Tanaberi	32	28/03	06/11	499,0	499,0
Torodi	86	26/03	08/11	485,5	485,5
Wankama	116	05/04	24/10	536,4	536,4
Yillade	35	01/04	30/10	500,5	500,5

Tableau 2: Liste des 38 événements majeurs enregistrés en 1996 à partir de 37 stations.

Un événement majeur est comptabilisé dès lors que 30% (P) au moins des stations en fonctionnement (N) enregistrent une quantité de pluie supérieure à 1 mm. Les cumuls T sont exprimés en 1/10 mm ainsi que les quantités maximales de pluies enregistrées pendant l'événement en 5, 10, 15, 30, 60 minutes. Les nombres de taille réduites correspondent aux stations où l'on a relevé l'intensité maximale à un pas de temps donné pendant l'événement. i, j correspondent respectivement à la première et à la dernière station touchée. Le temps de passage de l'événement sur le degré carré est donné en minutes. La moyenne pluviométrique krigée par événement, sur le degré carré, est donnée en millimètre.

No	debut	fin	N	P	i	j	5	10	15	30	60	T	Duree	moy. k
1	16/ 4 a 7h10'	16/ 4 a 8h45'	36	30.6	86	49	12	20	25	30	30	30	100	0.4
							86	86	86	86	86	86		
2	2/ 6 a 16h15'	3/ 6 a 2h30'	36	97.2	35	78	103	166	227	297	320	535	620	21.7
							25	25	25	57	57	25		
3	6/ 6 a 3h45'	6/ 6 a 8h25'	36	86.1	61	86	74	144	211	298	325	330	285	5.6
							84	84	84	84	84	84		
4	9/ 6 a 10h 0'	9/ 6 a 16h 5'	35	91.4	61	86	156	293	398	634	882	1010	370	26.7
							61	61	61	61	61	61		
5	18/ 6 a 9h35'	18/ 6 a 11h35'	36	50.0	43	18	71	127	181	220	220	225	125	3.1
							5	5	5	5	5	5		
6	25/ 6 a 3h 5'	25/ 6 a 9h 0'	36	100.0	34	84	104	178	228	307	364	445	360	24.0
							41	41	41	34	34	34		
7	7/ 7 a 0h 5'	7/ 7 a 8h10'	36	100.0	43	26	92	149	199	307	382	530	490	28.5
							83	29	29	29	80	80		
8	16/ 7 a 20h35'	16/ 7 a 22h30'	36	41.7	61	21	72	128	168	247	255	255	120	3.5
							116	116	116	116	116	116		
9	22/ 7 a 8h30'	22/ 7 a 12h 5'	34	41.2	86	11	54	107	156	214	245	245	220	1.9
							34	34	34	34	34	34		
10	23/ 7 a 15h25'	23/ 7 a 21h35'	36	94.4	43	32	148	237	359	525	560	700	375	12.0
							5	5	5	5	5	5		
11	26/ 7 a 3h55'	26/ 7 a 10h45'	36	100.0	32	82	59	102	132	252	290	350	415	10.2
							11	105	105	105	105	105		
12	27/ 7 a 17h20'	27/ 7 a 21h50'	36	58.3	105	82	129	243	349	639	750	795	275	3.1
							82	82	82	82	82	82		
13	30/ 7 a 14h20'	30/ 7 a 18h40'	36	55.6	70	51	89	150	214	379	540	540	265	7.3
							28	28	80	80	80	80		
14	30/ 7 a 18h47'	30/ 7 a 21h15'	36	41.7	50	86	80	128	155	206	210	210	155	1.7
							86	94	94	86	86	86		
15	2/ 8 a 10h25'	2/ 8 a 16h45'	35	97.1	43	25	110	190	256	421	514	545	385	19.7
							35	34	34	35	35	35		
16	3/ 8 a 14h45'	3/ 8 a 18h40'	36	100.0	57	86	57	103	136	194	220	230	240	10.6
							28	28	41	41	41	41		
17	7/ 8 a 2h20'	7/ 8 a 8h45'	36	100.0	34	86	90	159	209	296	381	450	390	16.6
							32	32	32	84	84	84		
18	9/ 8 a 20h55'	9/ 8 a 22h55'	37	40.5	34	32	53	80	111	143	160	165	125	1.1
							61	61	34	34	34	34		
19	12/ 8 a 11h45'	12/ 8 a 19h25'	37	100.0	35	84	93	141	184	262	335	460	465	21.9
							85	57	57	57	57	25		
20	16/ 8 a 12h50'	16/ 8 a 16h45'	37	40.5	32	116	108	185	235	291	305	305	240	5.6
							84	84	84	84	84	84		
21	16/ 8 a 19h20'	17/ 8 a 0h35'	37	100.0	105	86	111	206	246	293	355	570	320	21.8
							57	57	57	57	32	32		
22	18/ 8 a 7h15'	18/ 8 a 15h25'	37	100.0	34	29	85	136	207	283	377	490	495	29.5
							105	105	51	116	105	105		
23	21/ 8 a 1h45'	21/ 8 a 6h25'	36	100.0	26	82	120	201	268	344	428	470	285	18.4
							85	43	43	43	43	43		

climatologique classique de la mise en place progressive de la mousson sur la zone (20 stations ont reçu au plus 1 mm au mois d'avril). Durant le mois de mai, des averses plus nombreuses de type convection locale génèrent de la pluie un peu partout sur le degré carré, mais l'hétérogénéité spatiale demeure marquée par une absence de précipitation supérieure à 1 mm sur 10 stations. C'est en fait au début du mois de juin que la saison démarre effectivement sur l'ensemble des stations (**figure 2**). Au cours du mois de juin, l'apport pluviométrique est conséquent sur l'ensemble du degré carré et dépasse même la moyenne relevée sur la période 50-89 à la station de Niamey aéroport (**figure 3**). Par contre, le mois de juillet, surtout dans sa deuxième décennie, marque un arrêt important de la pluviosité, qui coïncide avec la période de sécheresse intra-saisonnière déjà repérée les années précédentes,

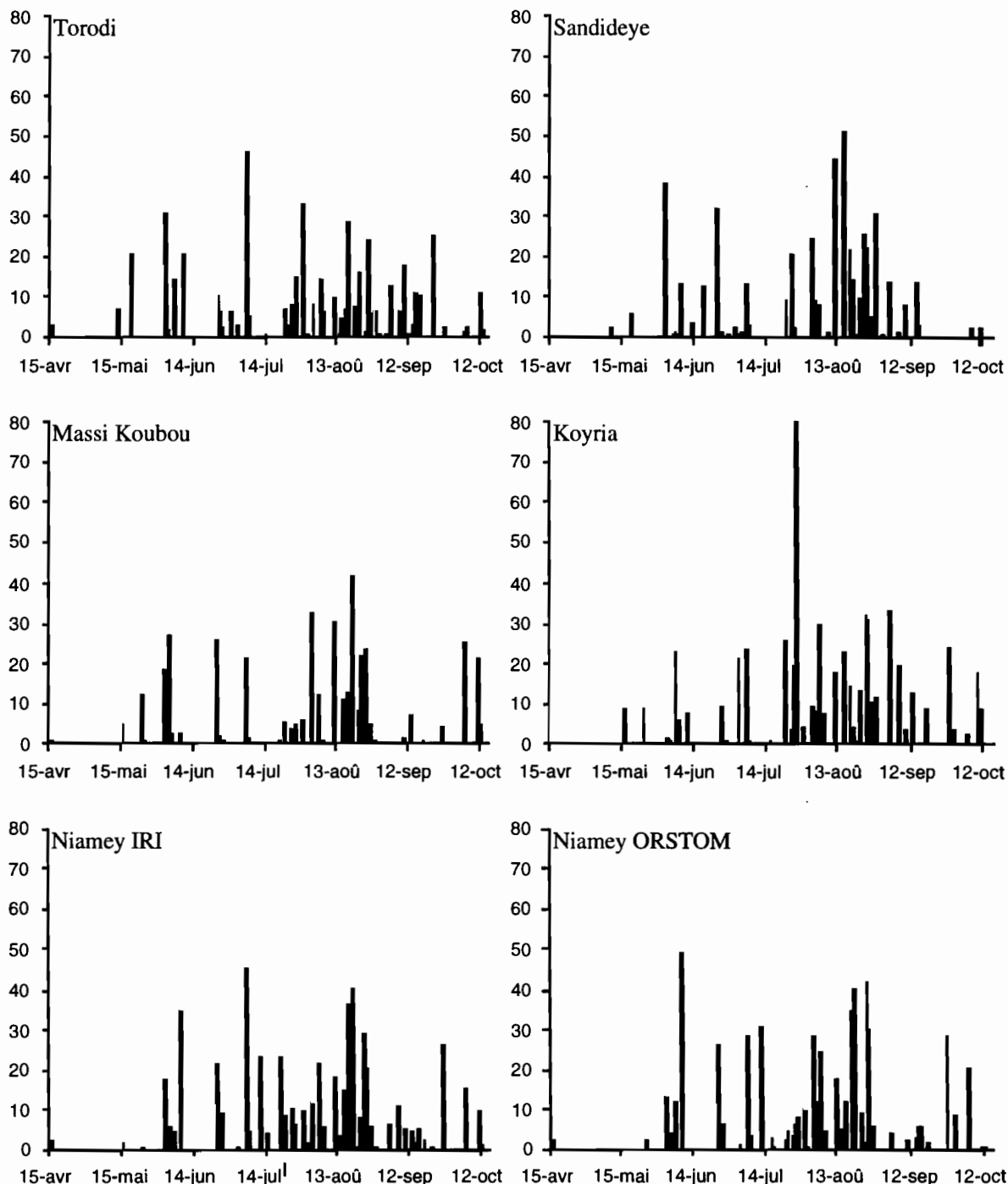


Figure 2: Chronologies des pluies journalières (mm) enregistrées sur 6 stations.

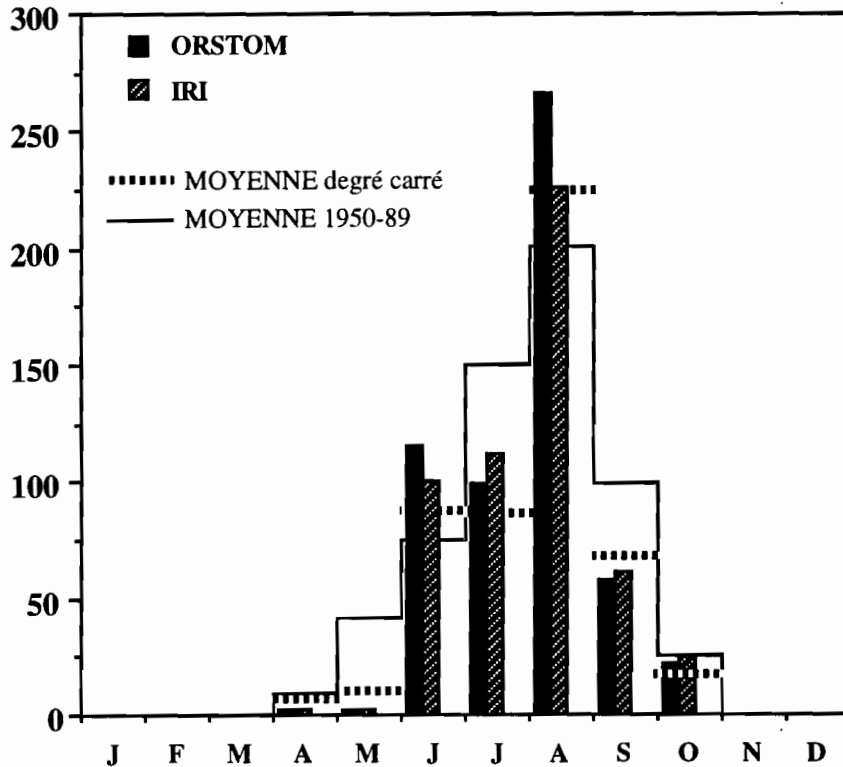


Figure 3: Comparaison des cumuls mensuels 1996 (mm) des 2 stations de Niamey avec les cumuls moyens mensuels sur la période 1950-89.

ce qui amène à un cumul sur la zone plus faible que le cumul pluviométrique enregistré durant le mois de juin, conduisant à la fin de juillet à un déficit pluviométrique important.

Au mois d'août, par contre, le nombre de jours de pluie ainsi que la hauteur moyenne sont importants (en moyenne 1 jour sur 2), ce qui va compenser en majeure partie le déficit en eau du mois de juillet. Les deux derniers mois vont aussi apporter une contribution importante à la saison, environ 18% du cumul saisonnier, ce qui permettra en fin de compte d'avoir une saison pluviométrique normale par rapport à la période sèche de 1968-94. Durant le mois de septembre, le nombre d'averses reste important (en moyenne 1 pluie tous les 4 jours) et en octobre, 2 à 3 pluies moyennes intéresseront tout la zone d'étude.

La première pluie spatialement importante (au moins 30% de stations touchées) est tombée le 16 avril (31% de stations touchées), mais la première averse conséquente en terme quantitatif est enregistrée le 2 juin (tableau 2). Les dernières pluies importantes spatialement ont été enregistrées courant octobre, elles coïncident avec les dernières pluies les plus tardives, cela implique que le retrait de la mousson cette année sur le degré carré a eu lieu rapidement et que l'on a pas assisté à des remontées par à-coup sur la zone, car on aurait enregistré alors des précipitations à caractère très local.

Le nombre d'événements majeurs en 1996 est égal à 38, comparable aux années 90 et 93 qui étaient des années plutôt déficitaires. On peut donc reprendre les conclusions déjà évoquées pour la saison 1995 que la relation hauteur de pluie saisonnière et nombre d'événements n'est donc pas aussi implicite.

Le cumul total des événements majeurs représente 89 % du total saisonnier soit 446 mm. Si l'on se base sur les événements majeurs, qui peuvent être considérés, en l'occurrence, comme représentatif du total saisonnier, la distribution des précipitations au cours de la saison met en évidence une très forte représentation des précipitations au mois d'août. Le cumul des événements majeurs pour les mois de juillet, août et septembre représente 77,2% (86% en 1995) du total, respectivement 15,3% (8 événements), 48,7% (14 événements) et 13,2% (7 événements) du cumul saisonnier. Le mois d'octobre pour sa part rentre pour 4,6% du cumul saisonnier. Par comparaison au poste de Niamey aéroport (période 1950-1989),

juillet, août, septembre et octobre représentent respectivement 26%, 32%, 15% et 5% du cumul saisonnier. L'épisode qui a donné la hauteur de pluie moyenne la plus importante sur le degré carré (29,5 mm) s'est passé le 18 août. Par rapport aux cinq saisons précédentes ce cumul maximal enregistré sur la saison est de loin le plus faible, le plus fort cumul moyen événementiel pour les autres années s'échelonnant entre 37 et 54 mm.

La comparaison des cumuls mensuels pour 2 stations de la zone de Niamey montre une dispersion assez faible des valeurs en dehors du mois d'août. Comparativement avec les moyennes mensuelles de la période 1950-89, on note un déficit important que l'on retrouve chaque année en mai et en septembre, alors que le cumul pluviométrique sur la période juin à août reste globalement identique avec une redistribution hétérogène principalement en juin et juillet. On peut donc penser que la période de sécheresse a conduit à un rétrécissement de la période de pluviométrie utile du point de vue agronomique qui est passée de 6 mois (mai à octobre) à 4 mois (juin à septembre) (**figure 3**).

1.3 Situation pluviométrique annuelle à l'échelle du Niger

La saison 1996 sur l'ensemble du territoire nigérien montre trois caractéristiques climatologiques différentes (**figure 4**). Au nord, les isohyètes inférieures à 300 mm sont en concordance avec celles de la période 1968-94, on observe donc, une certaine normalité pluviométrique. Par contre, pour une pluviométrie supérieure à 300 mm, dans la partie sud-ouest du Niger principalement, on observe un excédent pluviométrique par rapport à la période actuelle et même légèrement supérieur à la pluviométrie moyenne de la période 1950-94. On peut par contre observer une zone déficitaire circonscrite à la région de Zinder, où la pluviométrie n'a pas dépassé les 300 mm (en année normale sur la période 1968-94, on peut s'attendre à une pluviométrie d'environ 450 mm).

Par comparaison avec les cartes d'isohyètes du Niger des années 1990 à 1995 (**figure 5**), la saison 96 se démarque par cette hétérogénéité des conditions pluviométriques entre le nord et le sud. Pour le sud on a un comportement du même type qu'en 1991 et 1992, années normales, tandis que pour le nord, on se rapprocherait plutôt des cartes de 1990 et 1993, années déficitaires, surtout pour l'isohyète 100 mm. Cette hétérogénéité spatiale à l'échelle d'un pays ou sur des zones plus petites, met en évidence l'importance des conditions météorologiques locales qui vont fortement conditionner la présence de la pluie et sa quantité. Il est aussi intéressant de constater que l'effet de lissage pluviométrique auquel on pourrait s'attendre à la fin de la saison n'est pas une règle, ceci étant bien mis en évidence dans la région de Zinder, seule zone fortement déficitaire, où l'on observe que le nombre ainsi que la quantité moyenne de pluie par événement sont inférieurs aux années précédentes, comme ci l'état d'humidité antérieur de l'air et du sol conditionnait l'impact des précipitations futures. Ceci est peut-être à relier au processus d'évapotranspiration qui conditionne en partie la genèse et le développement des systèmes convectifs en Afrique Sahélienne. L'absence localement de conditions favorables à la reprise évaporatoire pourrait ainsi compromettre la naissance de convection locale, réduisant ainsi les précipitations et enclenchant un processus déficitaire.

1.4 Comparaison avec les résultats acquis les autres années de l'expérience EPSAT-NIGER - 1990 à 1996

Comme chaque année, on a essayé de tirer quelques conclusions climatologiques à l'échelle de la saison sur la zone d'étude. Cette année la fourchette des hauteurs de pluie s'est fortement rétrécie par rapport aux autres années où l'écart entre les deux extrêmes était égal au double de la valeur la plus faible. Malgré ce rétrécissement de l'écart, la carte des isohyètes ne présente pas de lissage comme on a pu le montrer précédemment avec la présence de forts gradients pluviométriques entre certaines stations. C'est ce que l'on retrouve bien les six autres années de mesures du dispositif EPSAT-NIGER qui présentent, tant dans l'espace que dans le temps, une variabilité importante (**figure 6**). Sur l'échantillon que constitue les sept années de l'étude, on peut envisager d'esquisser quelques remarques concernant la climatologie de cette zone spécifiquement pour la période actuelle. La

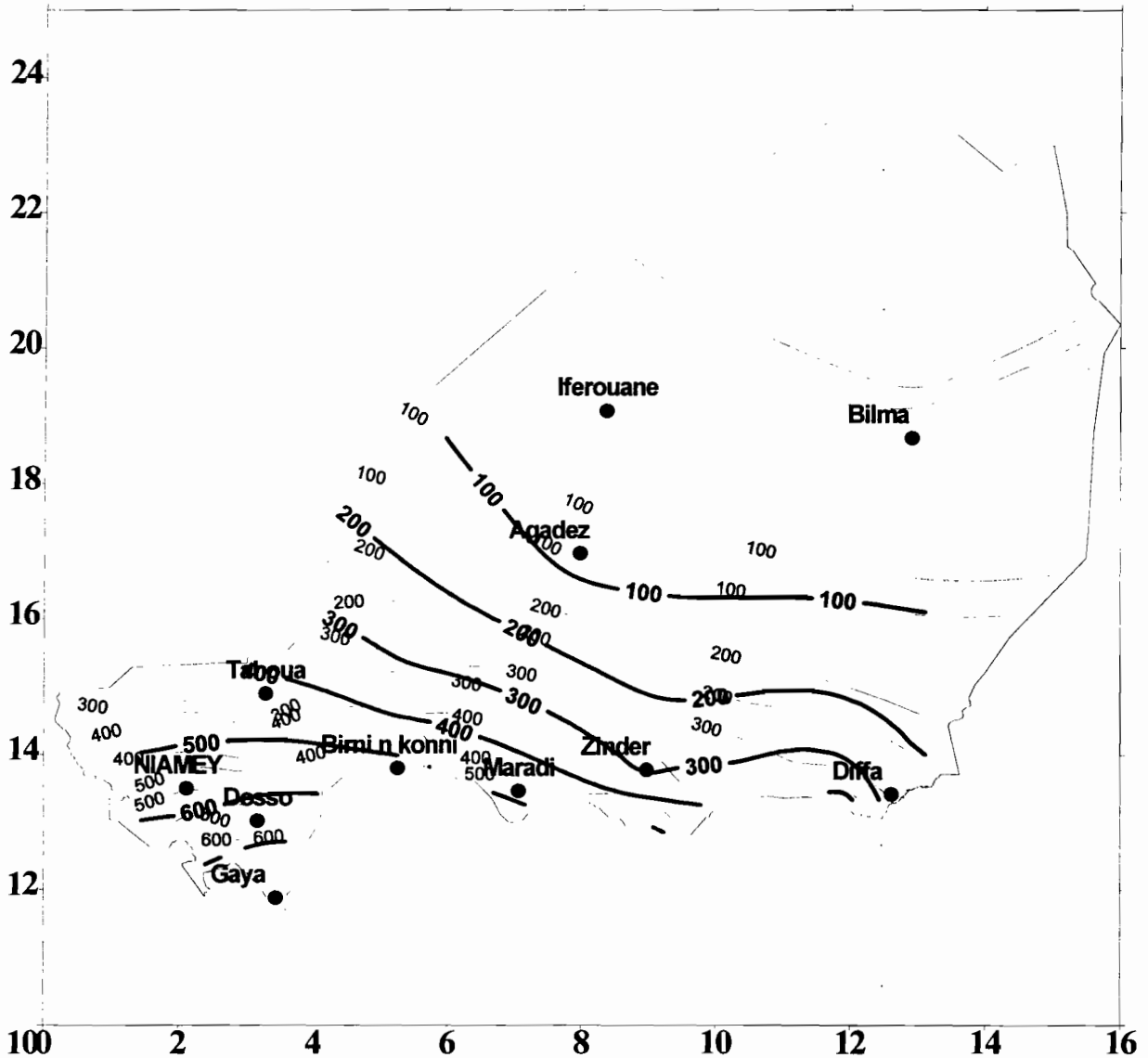


Figure 4: Comparaison des isohyètes de la saison 1996 (trait gras plein) sur le Niger avec les isohyètes inter-annuelles sur la période 1950- 1994 (trait plein) et sur la période 1968 - 1994 (tireté).

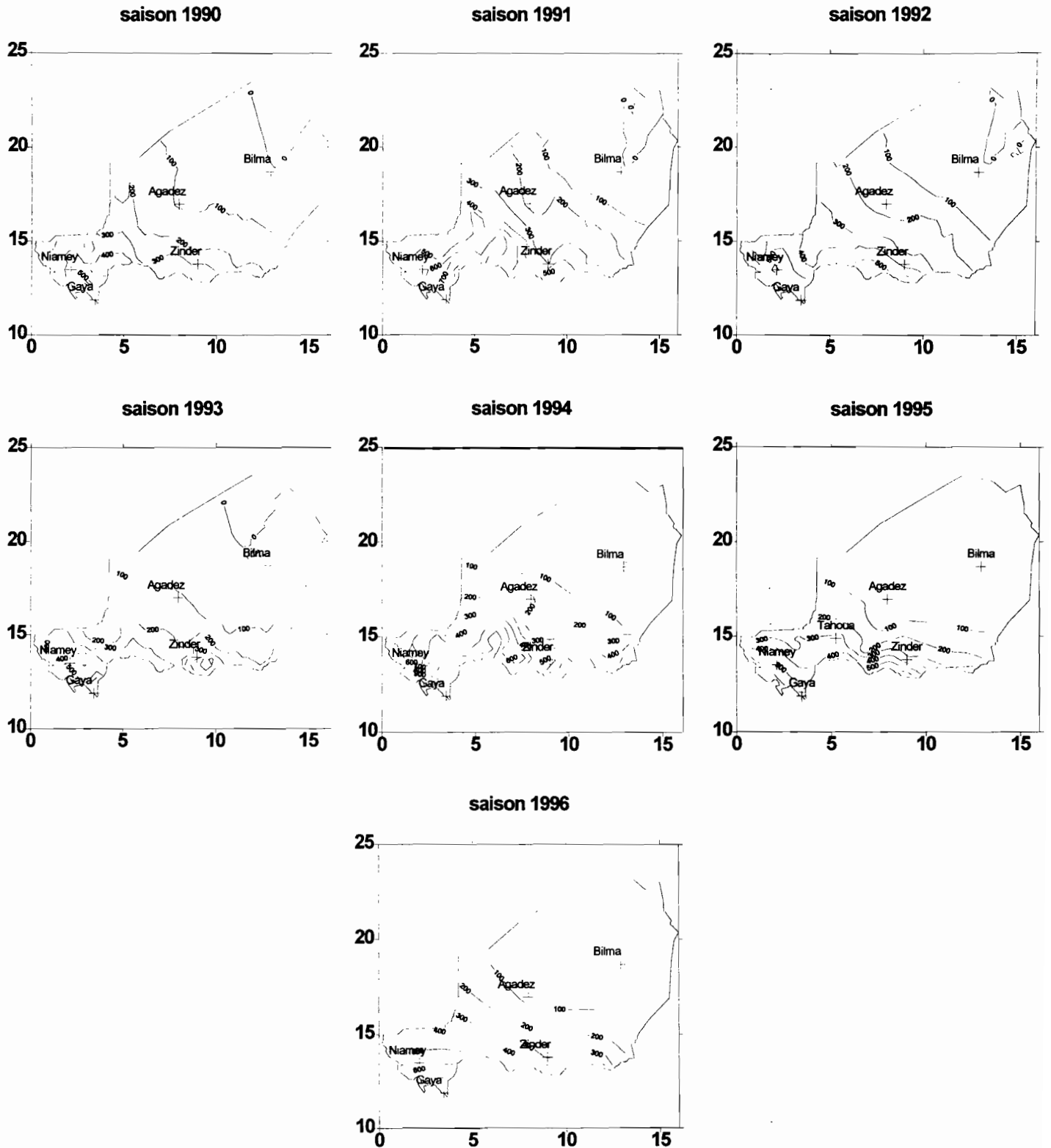


Figure 5: Comparaison des isohyètes annuelles sur le Niger (mm) pour les années 1990 à 1996.

moyenne sur le degré carré est de 511 mm, ce qui est du même ordre de grandeur que la moyenne de la période sèche 1968-89 calculée pour la station de Niamey aéroport. Mais sur ces 7 années, 2 années sont normales, 1 excédentaire et les 3 restantes sont déficitaires. Si on enlève l'année excédentaire la moyenne n'est plus que de 486 mm, on observe donc une tendance nettement déficitaire compensée par l'apport exceptionnel d'une bonne saison des pluies.

Comme chaque année on analyse les cartes de cumul des différentes années (somme des grilles saisonnières issues du krigeage, **figure 7**) pour regarder l'évolution spatiale de la répartition des pluies. La carte des cumuls montre progressivement, surtout à partir de 1994, la prédominance d'un gradient nord-sud caractéristique de la climatologie de l'Afrique Occidentale, que l'on ne distingue pas toujours à l'échelle annuelle. D'autre part la structure cumulée de cette année et de l'année précédente ne diffèrent pratiquement pas et il est possible que l'on ait atteint un certain régime d'équilibre.

Comme chaque année, il est impératif de rappeler, qu'au vu de la forte variabilité spatiale qui existe à l'échelle saisonnière sur la zone d'étude, le calcul d'une moyenne spatiale sur une surface donnée n'est représentatif que si le réseau de mesures rend compte, du moins en partie, de cette hétérogénéité. Pour le Sahel, les résultats montrent qu'une dizaine de postes, répartis régulièrement sur la surface où l'on veut calculer la pluie moyenne, est suffisant (**Taupin et al., 1993a**). Il reste cependant que cette moyenne "régionale" est à manipuler avec précaution, sachant que la variabilité des valeurs est telle que 30 à 40 % des stations s'en éloignent de plus d'un écart-type.

Le **tableau 3** résume les principaux paramètres statistiques pluviométriques obtenus sur le degré carré pour les sept années d'étude:

Tableau 3: Valeurs pluviométriques caractéristiques enregistrées au cours des sept campagnes d'EPSAT-NIGER (1990-96).

Année	Cumuls saisonniers en mm						Maxima à une station (mm)		
	Moy D.C. (μ)	Min (m)	Max (M)	ECT	(M-m)/ μ (%)	C.V. (%)	Max. 5'	Max. 60'	Max. Evt
1990	419	292	659	62	88	14,8	30,0	75,0	102,0
1991	522	341	725	79	74	15,1	17,5	85,0	162,0
1992	513	389	782	68	77	13,3	29,0	74,5	92,0
1993	463	314	621	84	66	18,1	15,5	80,8	95,5
1994	663	492	856	90	55	13,5	15,0	108,8	120,0
1995	495	323	636	72	63	14,5	16,2	75,5	89,5
1996	503	374	597	56	44	11,1	15,6	88,2	110,0

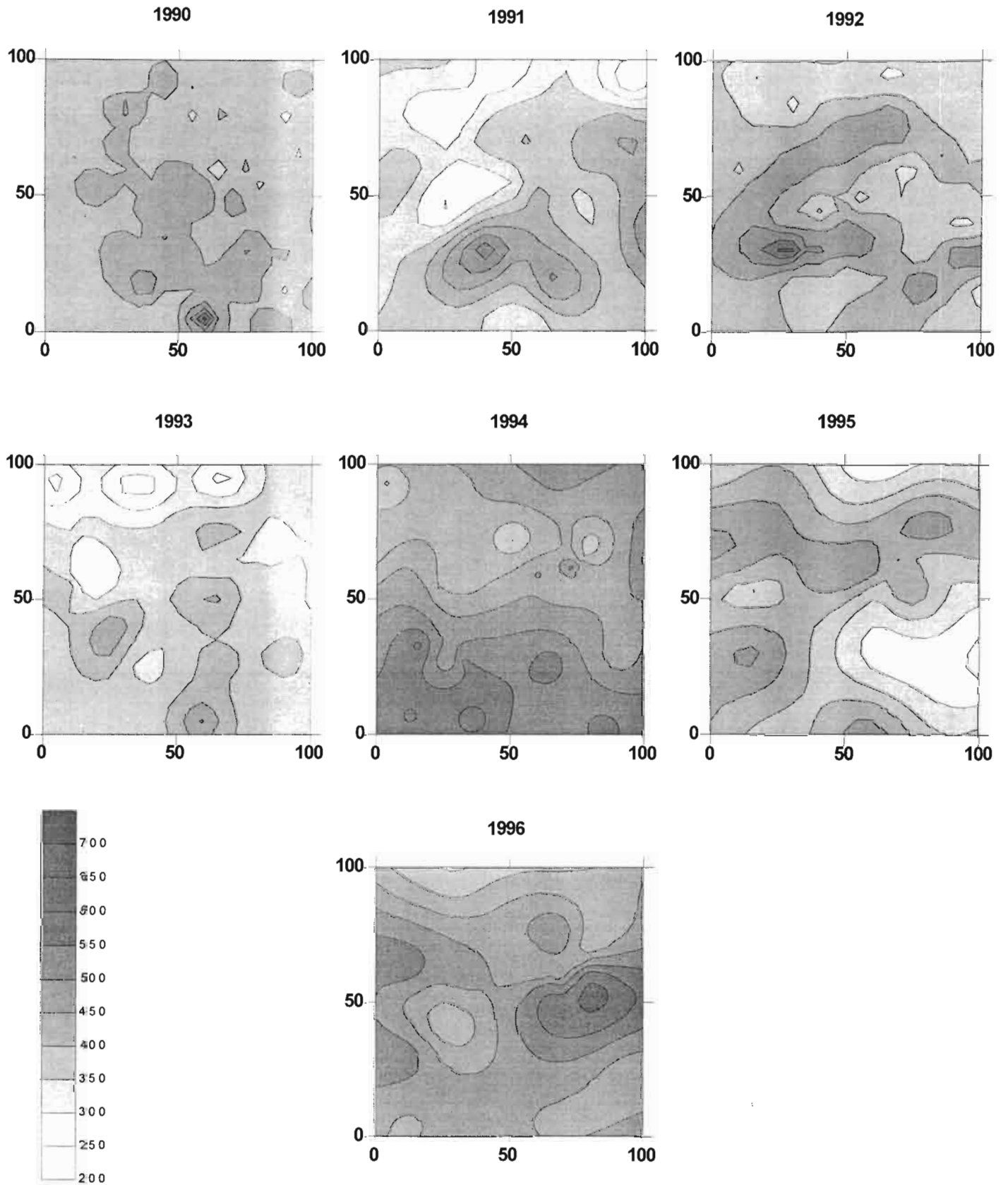


Figure 6: Répartition de la pluviométrie sur le degré carré de Niamey, de 1990 à 1996.

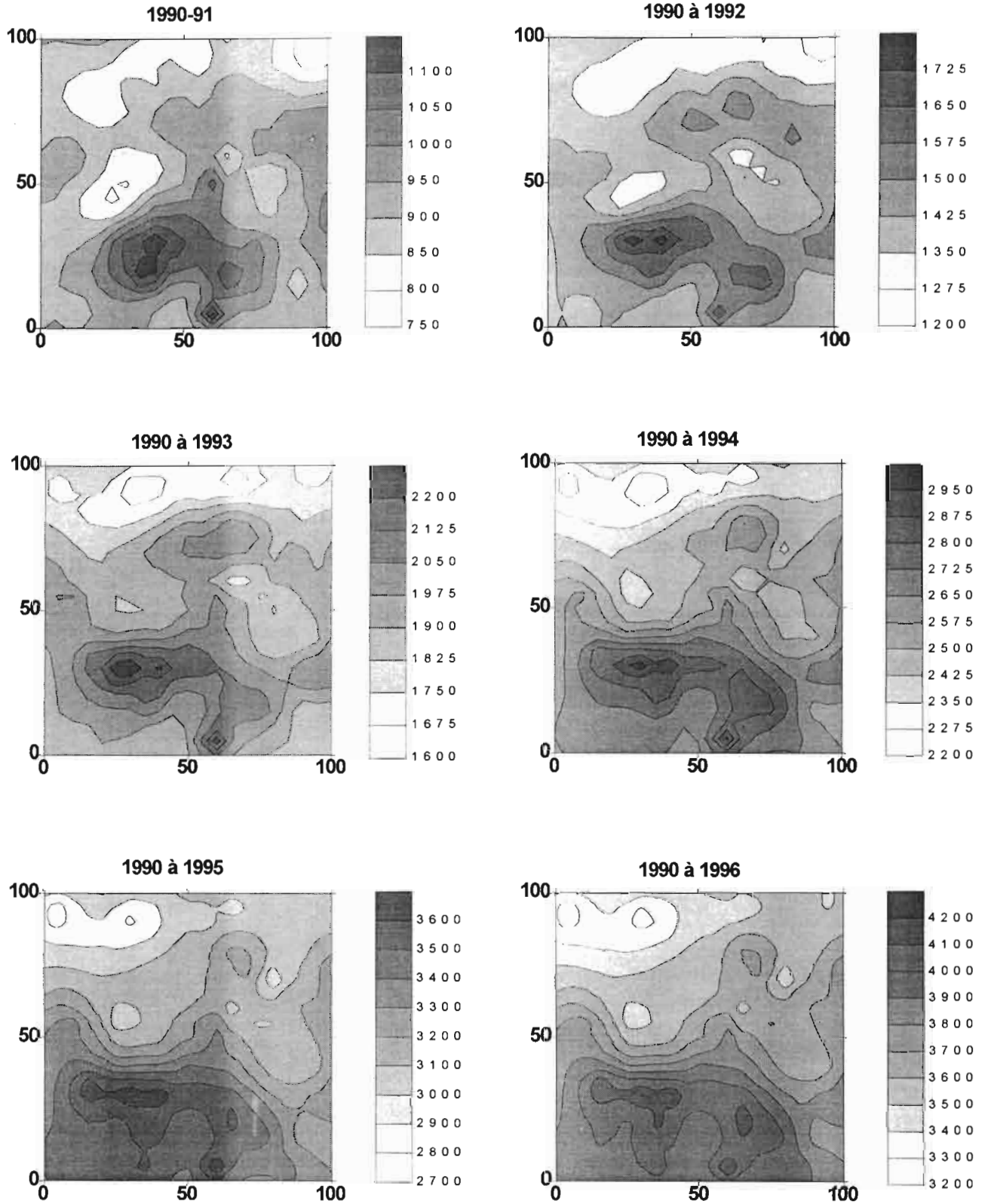


Figure 7: Comparaison de la pluviométrie annuelle cumulée des différentes années.

LE RESEAU DE PLUVIOGRAPHES

2.1 Le réseau en 1996

L'expérimentation EPSAT-Niger est dans une phase de suivi à long terme depuis la saison 1994, ceci a impliqué une diminution progressive du nombre de pluviographes au fur et à mesure que les expérimentations s'achevaient. Comme pour les années antérieures la couverture pluviographique s'étend sur environ 16 000 km², limitée en longitude par les méridiens 1°40 E et 3°E et en latitude par les parallèles 13 et 14° N. Cette année, par rapport à 1995, l'arrêt des expérimentations du site de Kobong et des pluviographes au sol a vu le nombre de stations fortement diminué. Le réseau est passé de 67 à 37 postes et peut être considéré maintenant comme le réseau minimum de veille pour les années futures si le dispositif est maintenu (**tableaux 4 et 5, figure 8**). Le type de pluviographe est à augets basculeurs, muni d'un cône de 400 cm² (**Lebel et al., 1991**). Ce réseau comporte une maille de base de 25 km qui, au regard des travaux qui ont déjà été effectués, semble suffisante pour obtenir des valeurs moyennes de pluie sur les surfaces de l'ordre du degré carré. Sur le site central, 2 stations ont été supprimées, Chef de village (n° 268) et Samadey 2 (n° 405). A la demande de l'Université, dans le cadre d'une étude du bilan hydrique sur parcelle cultivée, un poste a été installé dans le sud de notre zone d'étude, non loin de Torodi (Bogdjottou - n°412).

2.2 Installation et surveillance du réseau

Cinq postes seulement, au lieu de 8 la saison dernière, ont fonctionné en permanence entre la fin de la saison des pluies 1995 et le début de la saison des pluies 1996. Les autres ont été démontés, nettoyés, testés et entreposés durant la saison sèche. Comme chaque année, un certain nombre de cartes électroniques "oedipe" se sont avérées hors d'usage au cours de la saison (2) et ont été remplacées immédiatement à partir du stock constitué par le surplus de pluviographes issus du réseau dense d'EPSAT-Niger. Cependant, il est à noter que le matériel électronique vieilli considérablement et que le maintien d'un réseau minimum les prochaines années amènera obligatoirement le renouvellement de l'appareillage en totalité. Le planning d'installation des stations (**tableau 1**) a commencé le 25 mars (Guilahel, n°49) et s'est terminé le 17 avril (Bogdjottou, n°412).

La plupart des stations implantées près des villages, ont été surveillées en permanence par un gardien, ce qui évite les déprédations et vols constatés sur quelques stations non surveillées situées loin des villages comme celle de IH jachère. Pour obtenir un suivi de la meilleure qualité possible, compte tenu du personnel disponible et du budget, chaque station a reçu une visite de contrôle tous les 31 jours durant toute la saison des pluies. Les cartouches ont été changées environ tous les 45 jours pour permettre de suivre l'évolution de la saison des pluies en temps le moins décalé possible.

En fin de saison, le démontage des stations s'est effectué entre le 24 octobre et le 8 novembre.

2.3 Fonctionnement

En 1996, le taux de fonctionnement reste d'un bon niveau. Pour les 37 pluviographes, le taux a atteint 98,6% (108 jours de panne pour 7962 jours d'appareillage). Sept appareils ont connu des avaries et 33% des pannes sont dues aux conditions externes, entonnoir bouché, blocage des augets (**tableau 6**). Il est par contre évident qu'il faut réduire le plus possible le temps entre deux visites de contrôle (3 semaines à 1 mois semble raisonnable du point de

Tableau 4: Liste des 37 postes du réseau en 1996, classés par ordre alphabétique.

station	Identification	Latitude			Longitude			Altitude	X	Y	EPSAT
		deg	min	sec	deg	min	sec				
Alkama	1321204300	13	49	19	02	57	28	205	103,32	91,39	43
Banizoumbou	1321201100	13	31	58	02	39	37	202	71,34	59,25	11
Bazanga Bangou	1321200500	13	30	20	02	34	59	266	63,01	56,21	5
Beri Koira	1321202100	13	38	59	02	28	37	215	51,49	72,26	21
Berkiawel	1321202800	13	30	41	02	18	31		33,33	56,86	28
Bogdjottou	1321241200	13	04	50	01	49	48		-18,41	7,75	412
Bololadie	1321208400	13	13	29	01	52	12		-14,06	24,98	84
Boubon Golf	1321208500	13	36	24	01	56	09		-6,93	67,46	85
Brousse Tigree	1321240100	13	32	51	02	42	27		76,43	60,88	401
Darey	1321201800	13	38	12	02	44	32	250	80,14	70,80	18
Debere Gati	1321202500	13	03	40	02	06	52	230	12,38	6,78	25
Fandou Beri	1321200900	13	31	55	02	33	31	232	60,36	59,14	9
Gamonzon	1321203400	13	27	40	03	01	54		111,49	51,28	34
Gardana Kouara	1321205000	13	50	04	02	16	33	212	29,78	92,78	50
Gorou Goussa	1321208000	13	50	18	02	02	08		3,83	93,22	80
Guilahel	1321204900	13	17	41	02	08	45	274	15,77	32,79	49
Hama jachère	1321241100	13	33	05	02	41	44		75,14	61,33	411
Harikanassou	1321204100	13	15	28	02	50	28	208	90,99	28,65	41
IH Jachere hapex I	1321210500	13	14	38	02	14	39		26,41	27,11	105
Kaligorou	1321206100	13	36	44	03	00	47	200	109,4	68,09	61
Kare	1321202900	13	02	52	02	20	19	200	36,65	5,32	29
Kokorbe Fandou	1321207300	13	51	10	02	37	11		66,85	94,82	73
Kollo	1321205400	13	22	27	02	14	40	198	26,42	41,61	54
Koure Kobade	1321202600	13	00	17	03	03	00	220	113,71	0,52	26
Koure Sud	1321205100	13	14	31	02	36	18	255	65,45	26,89	51
Koyria	1321208200	13	46	00	01	42	00		-32,38	85,25	82
Mali Djibo	1321226900	13	33	06	02	40	06		72,21	61,36	269
Massi Koubou	1321207800	13	49	37	02	25	00	250	44,95	91,94	78
Niamey Aeroport	1321209400	13	28	47	02	10	23		18,71	53,36	94
Niamey IRI	1321208300	13	30	00	02	05	21		9,63	55,6	83
Niamey ORSTOM	1321207000	13	31	52	02	05	48	220	10,44	59,07	70
SD Bagou	1321241000	13	35	05	02	41	50		74,71	64,96	410
Sandideye	1321205700	13	13	31	03	03	14	230	114,01	25,06	57
Tanaberi	1321203200	13	02	30	02	32	53		59,34	4,63	32
Torodi	1321208600	13	07	00	01	47	06		-23,27	12,97	86
Wankama	1321211600	13	39	00	02	38	55		70,02	72,28	116
Yillade	1321203500	13	01	16	02	47	10	237	85,12	2,35	35

X, Y coordonnées dans le degré carré (origine du repère 2 E, 13 N) :

$$Y = (\text{Latd.} - 13) * 111,2 \quad \text{en km}$$

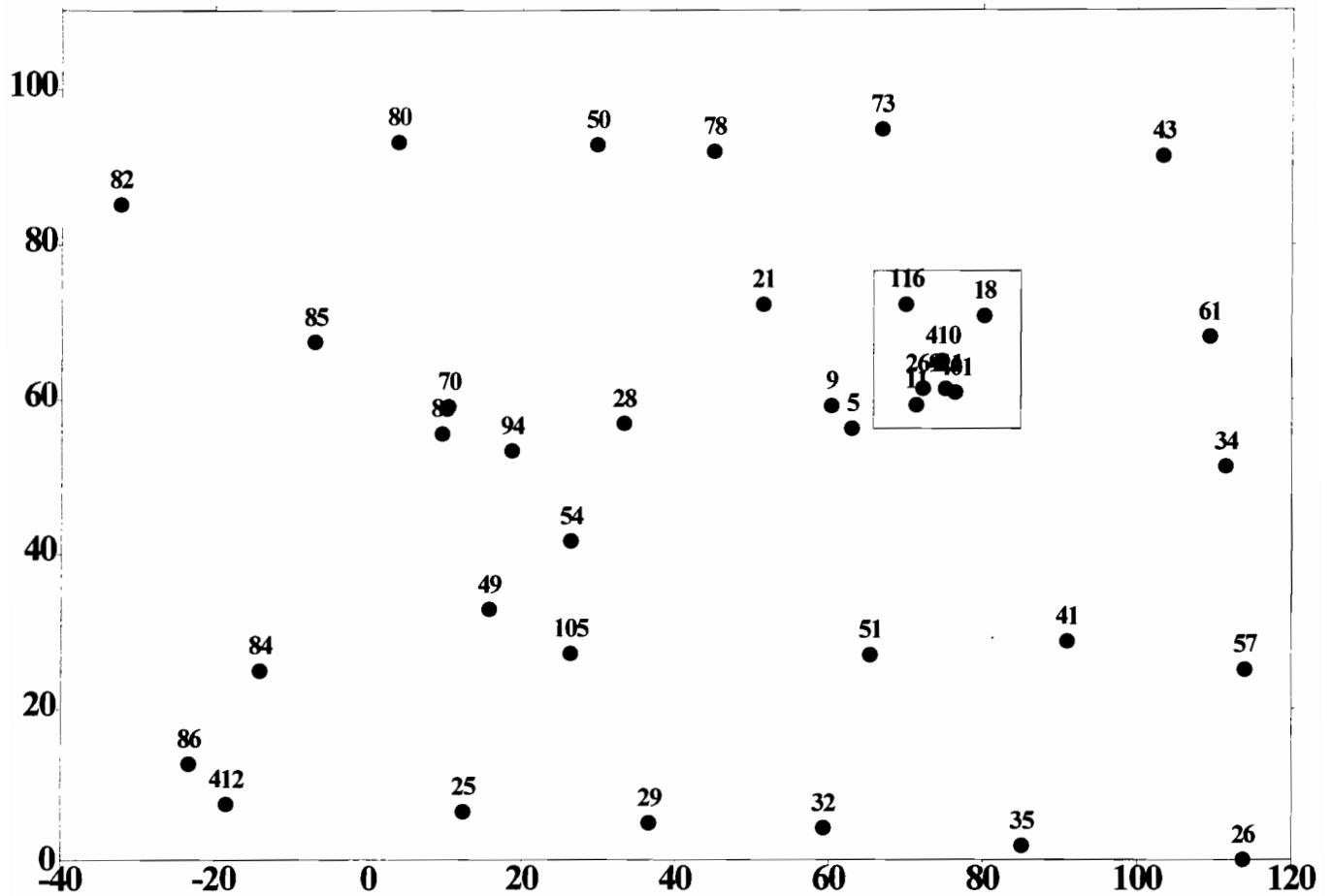
$$X = (\text{Longd.} - 2) * (108,3 - 0,5 * Y / 111,2) \quad \text{en km} \quad \text{Latd. et Longd. en degré décimaux}$$

Par rapport à 1995, le réseau sur le site central a été allégé, on a démonté les stations de Chef de Village (268) et Samadey 2 (405). On a supprimé les 25 stations de Kobong (301 à 325). On a supprimé les stations au sol Banizoumbou sol (911), Deberegati sol (925), Gorou goussa sol (980), Kollo sol (954). On a, par contre, implanté une nouvelle station Bogdjottou (412).

Tableau 5: Liste des 37 sites du réseau en 1996, classés par numéro.

EPSAT	station	Identification	Latitude			Longitude			Altitude	X	Y
			deg	min	sec	deg	min	sec			
5	Bazanga Bangou	1321200500	13	30	20	02	34	59	266	63,01	56,21
9	Fandou Beri	1321200900	13	31	55	02	33	31	232	60,36	59,14
11	Banizoumbou	1321201100	13	31	58	02	39	37	202	71,34	59,25
18	Darey	1321201800	13	38	12	02	44	32	250	80,14	70,80
21	Beri Koira	1321202100	13	38	59	02	28	37	215	51,49	72,26
25	Debere Gati	1321202500	13	03	40	02	06	52	230	12,38	6,78
26	Koure Kobade	1321202600	13	00	17	03	03	00	220	113,71	0,52
28	Berkiawel	1321202800	13	30	41	02	18	31		33,33	56,86
29	Kare	1321202900	13	02	52	02	20	19	200	36,65	5,32
32	Tanaberi	1321203200	13	02	30	02	32	53		59,34	4,63
34	Gamonzon	1321203400	13	27	40	03	01	54		111,49	51,28
35	Yillade	1321203500	13	01	16	02	47	10	237	85,12	2,35
41	Harikanassou	1321204100	13	15	28	02	50	28	208	90,99	28,65
43	Alkama	1321204300	13	49	19	02	57	28	205	103,32	91,39
49	Guilahel	1321204900	13	17	41	02	08	45	274	15,77	32,79
50	Gardana Kouara	1321205000	13	50	04	02	16	33	212	29,78	92,78
51	Koure Sud	1321205100	13	14	31	02	36	18	255	65,45	26,89
54	Kollo	1321205400	13	22	27	02	14	40	198	26,42	41,61
57	Sandideye	1321205700	13	13	31	03	03	14	230	114,01	25,06
61	Kaligorou	1321206100	13	36	44	03	00	47	200	109,40	68,09
70	Niamey ORSTOM	1321207000	13	31	52	02	05	48	220	10,44	59,07
73	Kokorbe Fandou	1321207300	13	51	10	02	37	11		66,85	94,82
78	Massi Koubou	1321207800	13	49	37	02	25	00	250	44,95	91,94
80	Gorou Goussa	1321208000	13	50	18	02	02	08		3,83	93,22
82	Koyria	1321208200	13	46	00	01	42	00		-32,38	85,25
83	Niamey IRI	1321208300	13	30	00	02	05	21		9,63	55,60
84	Bololadie	1321208400	13	13	29	01	52	12		-14,06	24,98
85	Boubon Golf	1321208500	13	36	24	01	56	09		-6,93	67,46
86	Torodi	1321208600	13	07	00	01	47	06		-23,27	12,97
94	Niamey Aeroport	1321209400	13	28	47	02	10	23		18,71	53,36
105	IH Jachere hapex1	1321210500	13	14	38	02	14	39		26,41	27,11
116	Wankama	1321211600	13	39	00	02	38	55		70,02	72,28
269	Mali Djibo	1321226900	13	33	06	02	40	06		72,21	61,36
401	Brousse Tigree	1321240100	13	32	51	02	42	27		76,43	60,88
410	SD Bagou	1321241000	13	35	05	02	41	50		74,71	64,96
411	Hama jachère	1321241100	13	33	05	02	41	44		75,14	61,33
412	Bogdjottou	1321241200	13	04	50	01	49	48		-18,41	7,75

RESEAU TOTAL



SITE CENTRAL

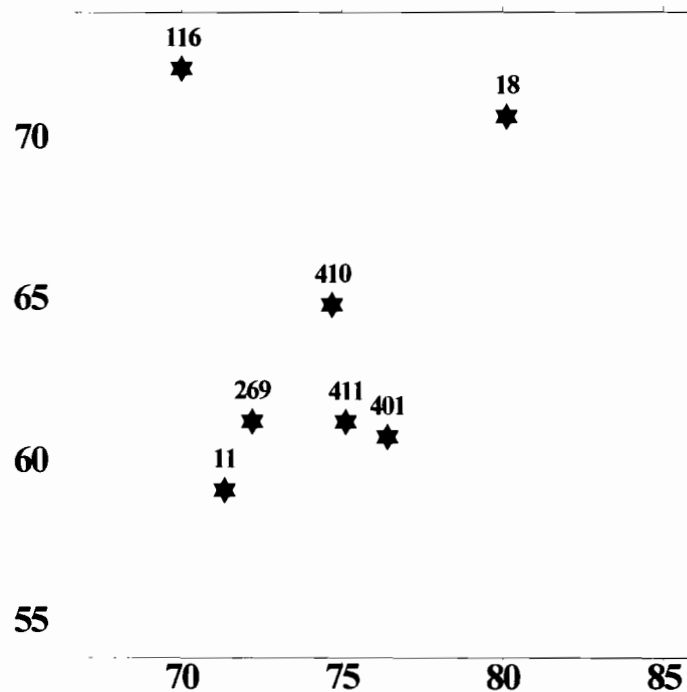


Figure 8: Dispositif de mesures durant la saison 1996. a) zone complète
Coordonnées en km - Origine: 2°E, 13°N. b) site central

vue coût/qualité des données), car la moitié des pannes enregistrées en 1996 se sont produites peu de temps après la visite de contrôle.

Sur l'ensemble des stations, 81 % des postes ne présentent donc pas de lacune augets (pour le détail des pannes des stations en lacunes se reporter à l'annexe A-1). Ce faible taux de lacunes tant sur les augets qu'éventuellement sur les seaux a permis de reconstituer les cumuls saisonniers et mensuels de l'ensemble des stations à l'exception de la station IH Jachère victime de vandalisme.

2.4 Dérives en temps

Comme les années précédentes, on constate une dérive en temps bien supérieure à celle donnée par le constructeur qui est normalement de 10 secondes par mois (**tableau 7**). Le nombre de postes utilisés en 1996 étant réduit on a écarté ceux présentant des dérives trop importantes. Les dérives sont comprises entre -3 et +48 minutes pour 100 jours.

2.5 Comparaison valeurs seau et valeurs augets

Cette année, l'écart entre le cumul augets et le cumul seau pour la saison est resté particulièrement faible grâce à la révision complète du mécanisme de basculement pendant la saison sèche. La plupart des postes ont aussi été haubanés, ce qui a réduit l'écart durant les événements où la vitesse du vent était importante (**tableau 8**). L'écart maximal a été ramené à 5,7% et seulement 2 postes ont un écart supérieur à 5,0%. L'écart relatif moyen seau-augets sur les 30 postes sans lacune est égal à 2,1%. La distribution des écart relatifs est parfaitement définie par une loi de Pearson III de paramètre de forme égal à 1,78 et de paramètre d'échelle égal à 1,20 (**figure 9**).

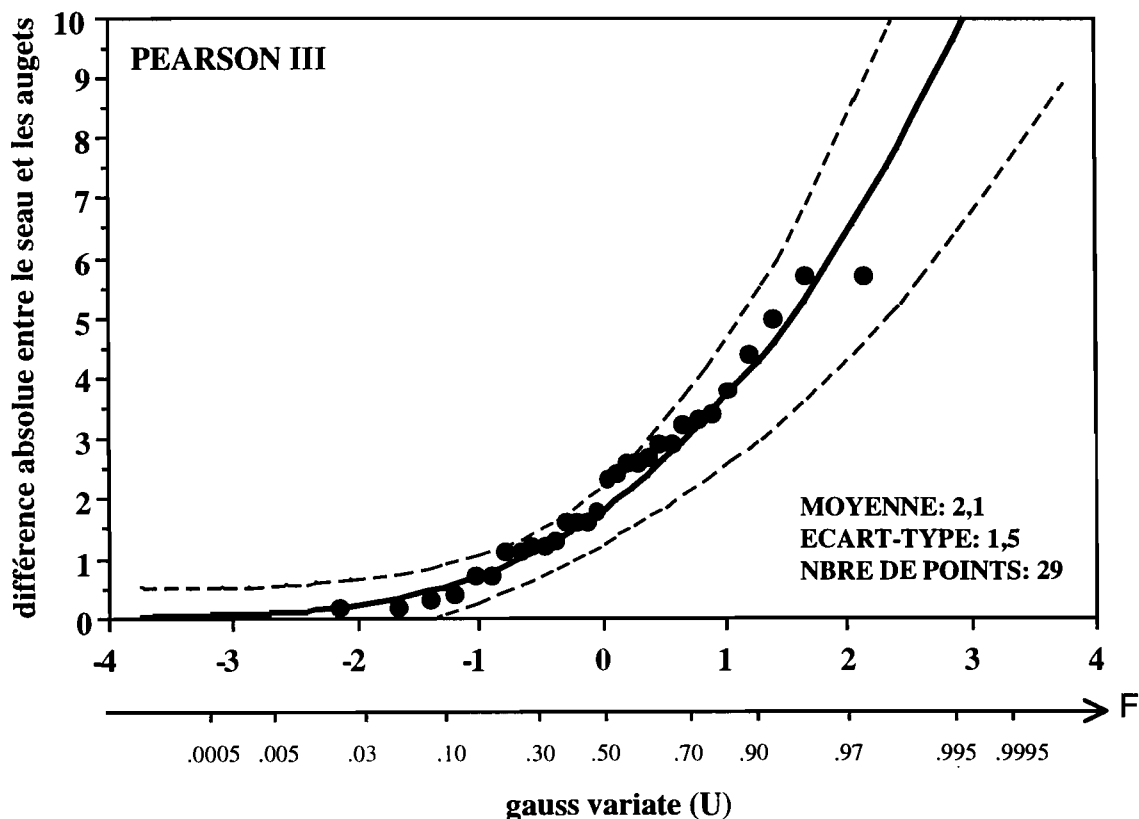


Figure 9: Ajustement d'une loi de Pearson III aux écarts relatifs entre les cumuls saisonniers enregistrés par le seau d'une part et par les augets d'autre part.

Tableau 7: Dérives de temps calculées pour chaque cartouche lors du dépouillement, rapportées à 100 jours de fonctionnement.

Station	Cart. 1	Cart. 2	Cart. 3	Cart. 4	Cart. 5
Alkama	26	27	26	26	
Banizoumbou	29	29	29	29	
Bazanga Bangou	-1	-1	-1	-1	
Beri Koira	23	25	23	23	
Berkiawel	23	25	25	26	
Bogdjottou	7	7	7	7	
Bololadie	29	30	29	29	
Boubon Golf	27	26	26		
Brousse Tigree	6	6	6	6	
Darey	7	7	7	7	
Debere Gati	9	10	9	10	10
Fandou Beri	9	7	7	7	
Gamonzon	29	30	29	29	
Gardana Kouara	10	10	10	10	
Gorou Goussa	0	0	-1	-1	
Guilahel	26	27	27	27	
Hama jachère	36	36	36	36	
Harikanassou	12	12	12	12	
IH Jachere hapex1	46	48	48	48	48
Kaligorou	29	30	29	29	
Kare	6	7	7	6	6
Kokorbe Fandou	4	4	4	4	
Kollo	-3	-1	-1	-1	
Koure Kobade	13	13	13	13	
Koure Sud	6	7	7	7	
Koyria	6	6	6	6	
Mali Djibo	6	6	6		
Massi Koubou	29	30	29	29	
Niamey Aeroport	13	lacune	lacune	7	
Niamey IRI	4	6	4	4	
Niamey ORSTOM	27	26	27	26	
SD Bagou	12	10	10	10	
Sandideye	29	29	29	29	
Tanaberi	-1	0	-1	-1	
Torodi	30	30	32	32	
Wankama	12	12	12	12	
Yillade	26	27	26	26	

Tableau 8: comparaison des valeurs totales de la saison (mm), seuil et augets.

delta = (augets - seuil)/seuil, en pour cent.

Station	n°Epsat	période de comparaison		cumul augets	cumul seuil	delta %
Alkama	43	12/04	29/10	438,5	465,2	-5,7
Banizoumbou	11	13/03	19/08	lacune	503,5	
Bazanga	5	03/04	01/11	598,5	570,2	5,0
Beri Koirra	21	09/04	28/10	491,0	482,4	1,8
Berkiawel	28	09/04	28/10	518,5	512,3	1,2
Bogdjottou	412	17/04	08/11	521,5	522,3	-0,2
Bololadie	84	26/03	08/11	564,0	551,5	2,3
Boubon	85	29/03	31/10	590,5	569,1	3,8
BrousseTigree	401	04/04	04/11	613,0	593,3	3,3
Darey	18	14/04	24/10	lacune	421,4	
Debere Gati	25	26/03	07/11	502,5	494,5	1,6
Fandou Beri	9	07/03	04/11	511,0	489,5	4,4
Gamonzon	34	02/04	05/11	564,5	566,5	-0,4
Gardama	50	15/04	25/10	lacune	374,3	
Gorou Goussa	80	15/04	25/10	454,5	439,4	3,4
Guilahel	49	25/03	07/11	533,5	549,3	-2,9
Hama Jachere	411	04/04	04/11	559,5	542,3	3,2
Harikanassou	41	02/04	05/11	509,0	497,0	2,4
IH Jachere	105	25/03	07/11	lacune	lacune	
Kaligorou	61	12/04	29/10	528,5	520,4	1,6
Kare	29	25/03	07/11	lacune	544,7	
Kokorbe Fandou	73	11/04	24/10	423,0	418,3	1,1
Kollo	54	28/03	06/11	413,5	408,9	1,1
Koure Kobade	26	01/04	30/10	573,5	571,8	0,3
Koure Sud	51	01/04	30/10	551,0	544,6	1,2
Koyria	82	29/03	31/10	589,5	597,0	-1,3
Mali Djibo	269	04/04	04/11	496,0	482,9	2,7
Massi Koubou	78	09/04	28/10	415,5	416,3	-0,2
Niamey Aeroport	94	01/03	11/11	lacune	485,0	
Niamey IRI	83	01/03	22/10	532,0	528,4	0,7
Niamey Orstom	70	28/02	28/10	lacune	566,3	
SD Bagou	410	05/04	04/11	490,5	463,9	5,7
Sandideye	57	02/04	05/11	484,0	471,9	2,6
Tanaberi	32	28/03	06/11	486,0	499,0	-2,6
Torodi	86	26/03	08/11	493,5	485,5	1,6
Wankama	116	05/04	24/10	552,0	536,4	2,9
Yillade	35	01/04	30/10	504,0	500,5	0,7

ANALYSE PRELIMINAIRE DE LA STRUCTURE DES CHAMPS PLUVIOMETRIQUES

3.1 Cumuls saisonniers

Comme pour la plupart des années, exception faite de la saison 1992, les cumuls saisonniers enregistrés sur le degré carré, pour la période de référence 15 avril-15 octobre, se répartissent selon une loi normale, de moyenne arithmétique égale à 505 mm avec un écart-type de 55,3 mm (**figure 10**).

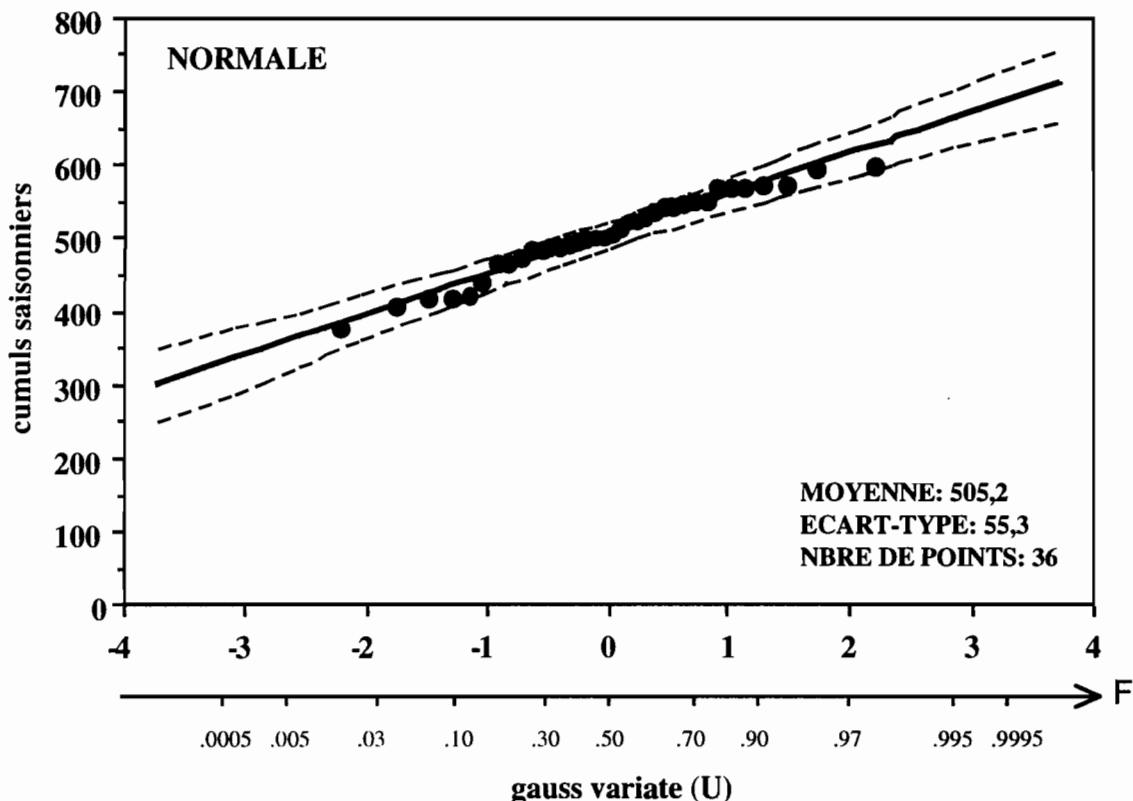


Figure 10: Ajustement d'une loi normale sur les cumuls de la période 15 avril - 15 octobre.

Quand on regarde le variogramme saisonnier (**figure 11**), cette année est très particulière car on ne retrouve pas de structure réellement organisée telles celles que l'on a pu trouver les années précédentes. On ne visualise pas non plus de portée alors que l'interdistance minimale est de l'ordre de 5 km (pour les années précédentes la portée variait entre 10 et 30 km). La variance est aussi beaucoup plus faible que pour la période 90-95. On a regardé si le variogramme présentait une anisotropie dans une des deux directions privilégiée de la propagation des systèmes pluvio-géniques au Sahel, N-S (direction d'allongement) et E-O (direction d'avancement) et si l'on pouvait ainsi faire apparaître une fonction de structure qui aurait pu être mieux définie. Malheureusement, les variogrammes apparaissent encore beaucoup plus chaotiques, avec la présence d'une forte pépite et d'un signal qui oscille fortement autour d'une valeur moyenne d'environ 2500 mm² (**figure 12**).

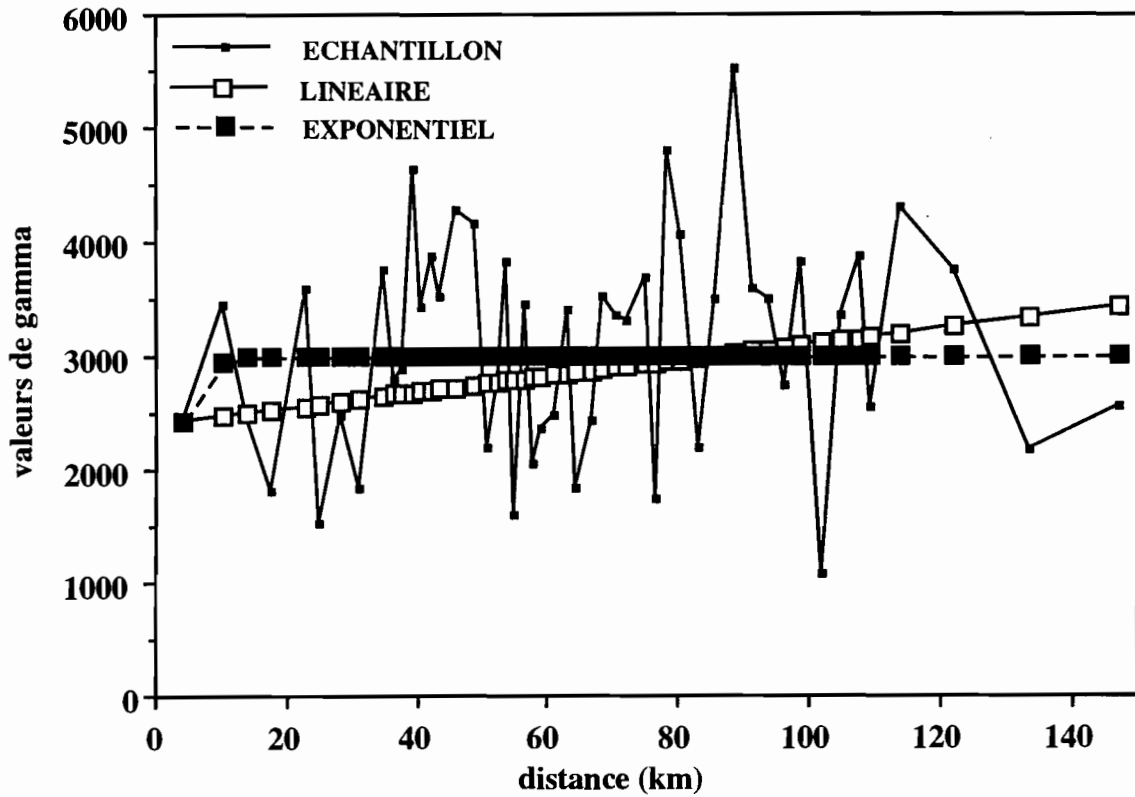


Figure 11: Fonction de structure des cumuls (15 avril-15 octobre), et essai d'ajustement par un variogramme exponentiel (0, 2.5, 3000) et un variogramme linéaire (2400, 7).

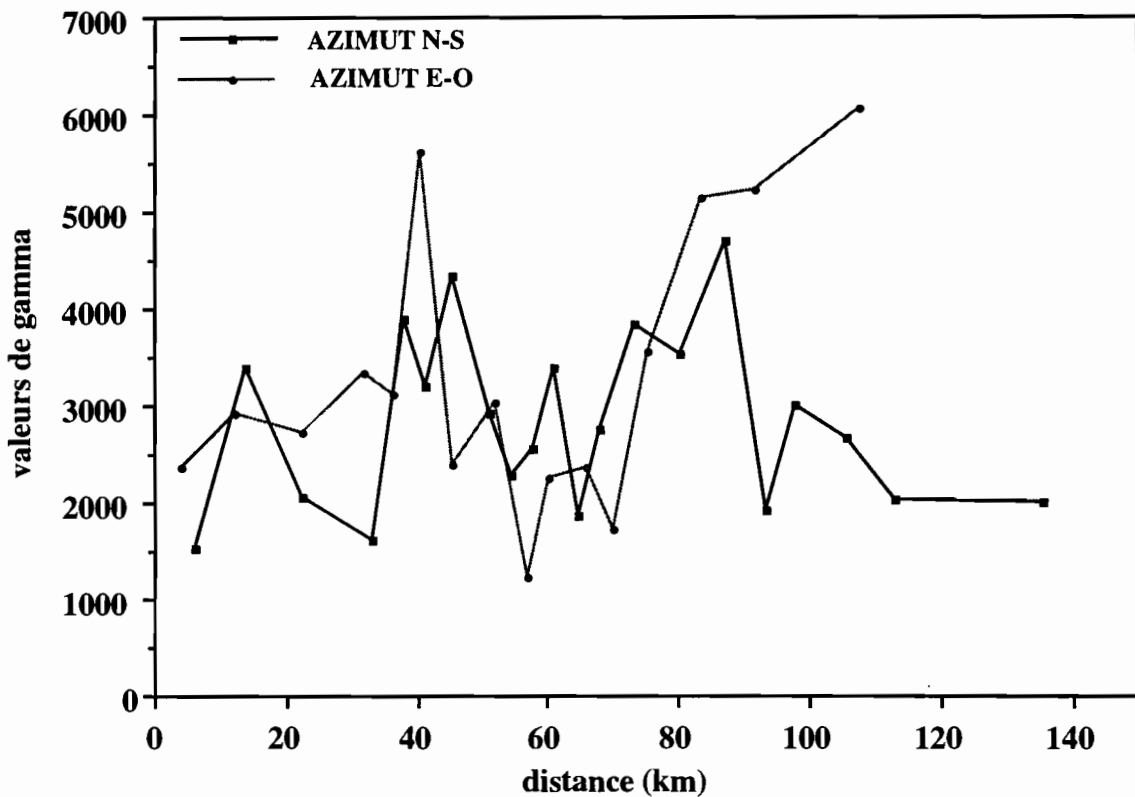


Figure 12: Fonction de structure des cumuls 1996 suivant l'azimut N-S et E-O.

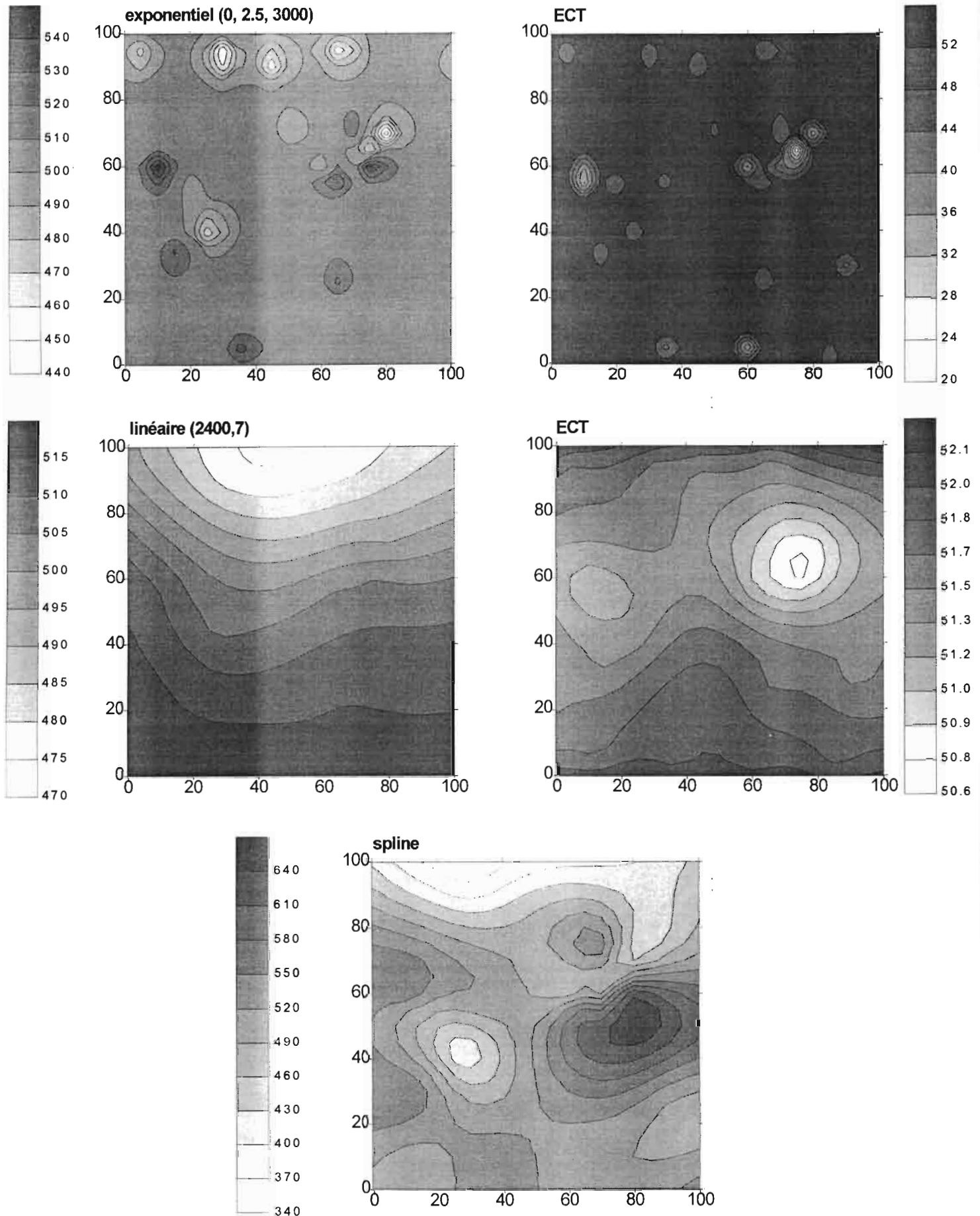


Figure 13: Isohyètes de la saison 1996 sur le degré carré. Comparaison des modèles exponentiel, linéaire et spline.

On a quand même essayer de modéliser la fonction de structure des cumuls 1996 en fonction des 2 hypothèses suivantes :

- 1- la portée existe mais elle est comprise entre 0 et 5 km, celle-ci représentant donc la distance de décorrélation entre les stations, on a ainsi ajusté une fonction exponentielle au variogramme, de pépite 0, de portée 2,5 km et de palier 3000 mm²,
- 2- Le variogramme a une forte pépite et est décrit par une fonction linéaire de pépite 2400 mm² et de pente 7.

Le calcul de la moyenne sur le degré carré montre que les différents variogrammes utilisés donnent une moyenne identique (**tableau 9**), il en est de même pour la moyenne calculée par une simple fonction spline. La moyenne calculée sur le site central par krigeage linéaire et exponentiel donne une valeur réaliste par comparaison avec la moyenne arithmétique, par contre celle calculée par fonction spline diverge considérablement, ceci étant dû au rapprochement des isohyètes dans cette zone.

Tableau 9 : Comparaison des moyennes saisonnières sur la zone ARCOL obtenues à partir de différents ajustements de la fonction de structure. Les ajustements sont définis par la pépite, la portée, le palier.

	exponentiel (0,2.5, 3000)	linéaire (2400, 7)	spline	arithmétique
degré carré	494,7	493,0	492,5	493,7
site central	502,4	500,6	552,9	506,3

Par contre, la construction de la carte d'isohyètes à partir des 3 fonctions (**figure 13**) est complètement différente. La carte tracée à partir du variogramme exponentiel paraît tout à fait irréaliste, tant dans sa représentation globale de la structure spatiale des précipitations que dans sa représentation ponctuelle. La carte tracée à partir du variogramme linéaire est aussi un peu trop simpliste et ne prend pas en compte les particularités locales. La carte tracée à partir de la fonction spline apparaît plus réaliste dans sa structure mais elle extrapole une zone atteignant 650 mm dans la partie est du degré carré qui semble due à un artefact de calcul lié au modèle. Les cartes des écarts-types d'estimation de krigeage associés donnent une valeur plus constante pour la fonction de structure linéaire, ce qui est logique puisque la fonction est définie en tout point.

A partir des deux fonctions de structure on a recherché la présence du gradient climatologique nord-sud. Pour la fonction exponentielle il n'apparaît pas tandis que pour la fonction linéaire on le visualise nettement ce qui est évident puisque on l'impose. On a essayé d'améliorer le variogramme expérimental en travaillant sur les résidus à la dérive climatologique. On a tout d'abord estimé ce gradient à partir du calcul de la moyenne krigée sur des bandes est-ouest (**figure 14**) de 5 km de large. Ce gradient est parfaitement visualisé et est parfaitement linéaire du nord au sud du degré carré ($r^2 = 0,94$). La décroissance calculée à partir des bandes de 5 km de large donne une valeur d'environ 0,4 mm/km, ce qui est moitié moindre que le gradient enregistré à l'échelle du Niger.

On a calculé en tout point un résidu à cette dérive selon la formule :

$$e_i = z_i - M(x_i, y_i)$$

où e_i est le résidu à la station i , z_i le cumul saisonnier mesuré à cette station et $M(x_i, y_i)$ est la dérive estimée par la relation obtenue précédemment :

$$M(x_i, y_i) = 524,8 - 0,41y_i$$

x_i et y_i sont les coordonnées en km dans le repère d'origine (2°E, 13°N).

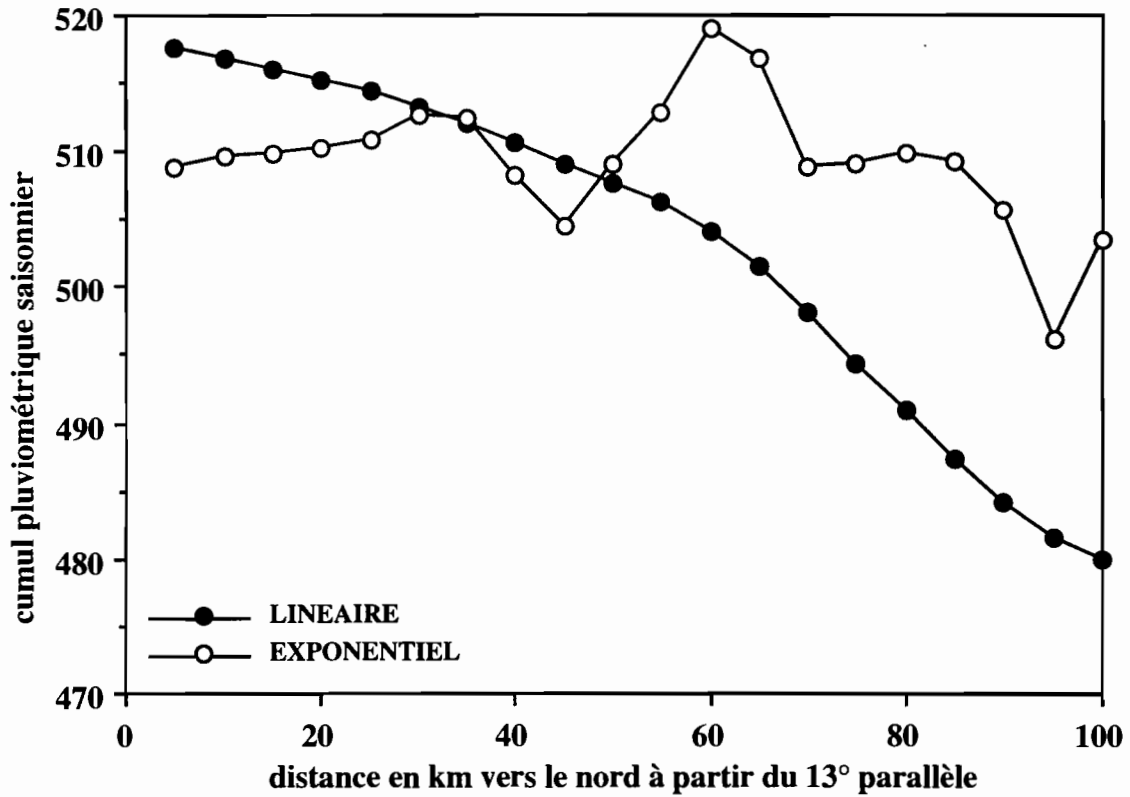


Figure 14: Moyenne des cumuls (15 avril - 15 octobre) calculée par krigeage sur des bandes latitudinales de largeurs 5 kilomètres.

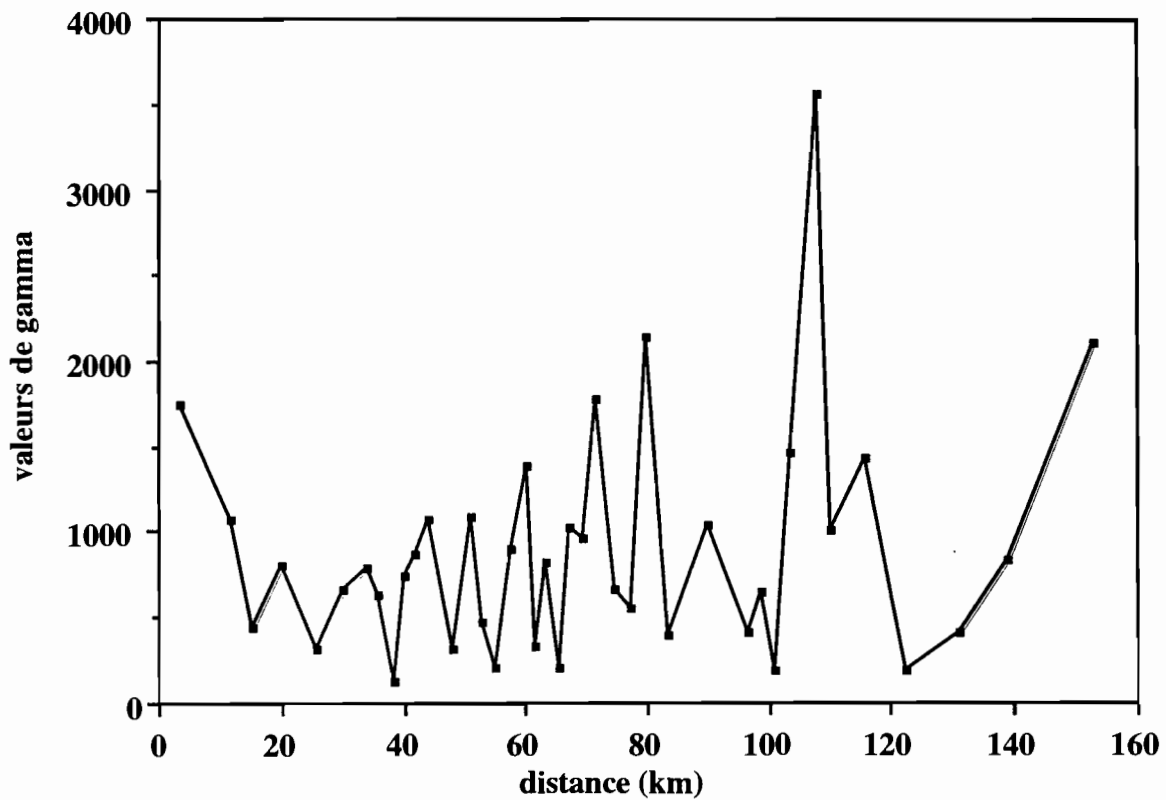


Figure 15: Structure des cumuls (15 avril - 15 octobre). Variogramme des résidus à la dérive $M(x,y) = 524,8 - 0,41y$.

Le calcul du variogramme des résidus à la dérive climatologique régionale (1mm.km^{-1}) n'apporte pas d'amélioration par rapport au variogramme issu des données brutes (**figure 15**).

Comme chaque année, pour vérifier la qualité de la modélisation des champs saisonniers, on a comparé par validation croisée les différents modèles d'interpolation du champ saisonnier proposé. On peut, à partir d'un échantillon comprenant la moitié des valeurs aux stations, reconstituer un autre échantillon constitué de l'autre moitié des valeurs. Les deux échantillons étant choisis sur la base d'un réseau homogène couvrant toute la zone d'étude. On prend, comme critère à minimiser, la somme du carré des écarts entre valeurs mesurées et valeurs reconstituées. Les deux sous-échantillons sont ensuite inversés. La procédure s'effectue en comparant plusieurs modèles d'interpolation avec ou sans dérive. Cette reconstitution a été utilisée sur l'ensemble du réseau (**tableau 10**).

Tableau 10: Comparaison des estimateurs de valeurs ponctuelles par reconstitution des 18 cumuls (15 avril - 15 octobre) d'un échantillon test à l'aide des 18 valeurs restantes (zone du degré carré). Moyenne des valeurs mesurées de l'échantillon test : 505,7 mm; écart-type : 43,4 mm. Moyenne des valeurs de l'échantillon servant à la reconstitution : 504,6 mm ; écart-type 63,7 mm.
 Z^*_i : valeur estimée. Toutes les valeurs sont en mm.

Estimateur	Moyenne des $(Z_i - Z^*_i)^2$	Ecart-type des Z^*_i	Moyenne des Z^*_i
Krigeage des observations Z_i			
dérive nulle			
variog. linéaire : pépité = 2400 pente = 7	41,5	10,3	504,7
variog. exponentiel : pépité = 0 $\alpha = 2,5$	43,0	10,6	508,2
variog. sphérique : pépité = 0 portée = 10	44,3	15,4	510,1
variog. sphérique : pépité = 0 portée = 50	45,1	39,1	507,9
fonction spline	63,7	61,4	499,9
dérive linéaire			
variog. linéaire : pépité = 2400 pente = 7	44,2	23,7	503,9
variog. exponentiel : pépité = 0 $\alpha = 2,5$	44,6	25,6	508,3
variog. sphérique : pépité = 0 portée = 10	46,0	28,0	510,5
variog. sphérique : pépité = 0 portée = 50	46,0	42,6	507,2
Plan moyen $M(x,y) = 524,8 - 0,41y$	40,2	12,0	503,9
Plan moyen $M(x,y) = 505,7$	43,4	0	505,7
Plan moyen $M(x,y) = 504,6$	43,4	0	504,6

En premier lieu, on a divisé en deux l'échantillon des 36 totaux saisonniers sans lacune couvrant toute la zone d'étude. Les résultats figurant au **tableau 10** montrent, que cette année, les différents interpolateurs utilisés à l'exception de la fonction spline, ont une qualité de reconstitution identique. Il en est de même pour le plan moyen qui présente l'écart moyen minimal. Cependant, les résultats issus du variogramme sphérique, dont la portée a été fixée arbitrairement à 50 km, ne donne pas une mauvaise reconstitution, et on peut s'étonner du manque de sensibilité de la portée du variogramme dans la reconstitution.

3.2 Analyse par épisodes

Le nombre d'épisodes majeurs en 1996 est égal à 38, selon les critères d'extension spatiale et de continuité temporelle définis précédemment (cf. tableau 2). La circulation des systèmes convectifs sur la zone du degré carré respecte en général la circulation E-O, la première station touchée par la pluie se trouvant à l'est du degré carré et la dernière à l'ouest du degré carré (12 événements majeurs) ou E-S (4 événements majeurs) ou bien encore E-N (5 événements majeurs). Quelques systèmes abordent la zone par le nord ou par le sud et se dégagent vers l'ouest (3 événements majeurs). Les autres événements se répartissent en trois groupes : convections strictement locales (2), systèmes venant d'un des bords du degré carré mais dégénérant sur la zone (2), systèmes prenant naissance sur le degré carré et s'éloignant vers l'ouest (4). Par rapport aux années précédentes, le nombre d'épisodes majeurs est un des plus faibles (1991-47 ; 1992-50 ; 1993-38 ; 1994-55 ; 1995-32 ; 1996-38) bien que le cumul saisonnier soit normal. Au vu de l'échantillon dont on dispose maintenant l'hypothèse émise d'un lien entre le nombre d'événements majeurs et le cumul saisonnier ne semble pas véritablement fondée. De même, le nombre d'événements de très grande extension spatiale (plus de 80% de stations touchées) n'apparaît pas comme un critère pertinent pour déterminer la qualité de la saison des pluies (**tableau 11**).

Tableau 11: Comparaison pour les années 1991 à 1996 du nombre d'événements majeurs, du cumul saisonnier, du cumul total des événements majeurs (au moins 30% de stations touchées) et du pourcentage en nombre d'épisodes et en hauteur du total saisonnier des événements ayant touchés plus de 80 % des stations en fonctionnement.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996
nb évts > 30%sts	47	50	38	55	32	38
cumul saisonnier	522	513	463	663	495	503
cumul évts majeurs	519	504	424	538	454	446
80%sts cumul en %	80	85	75	71	84	80
80%sts nbre en %	64	54	70	55	66	68

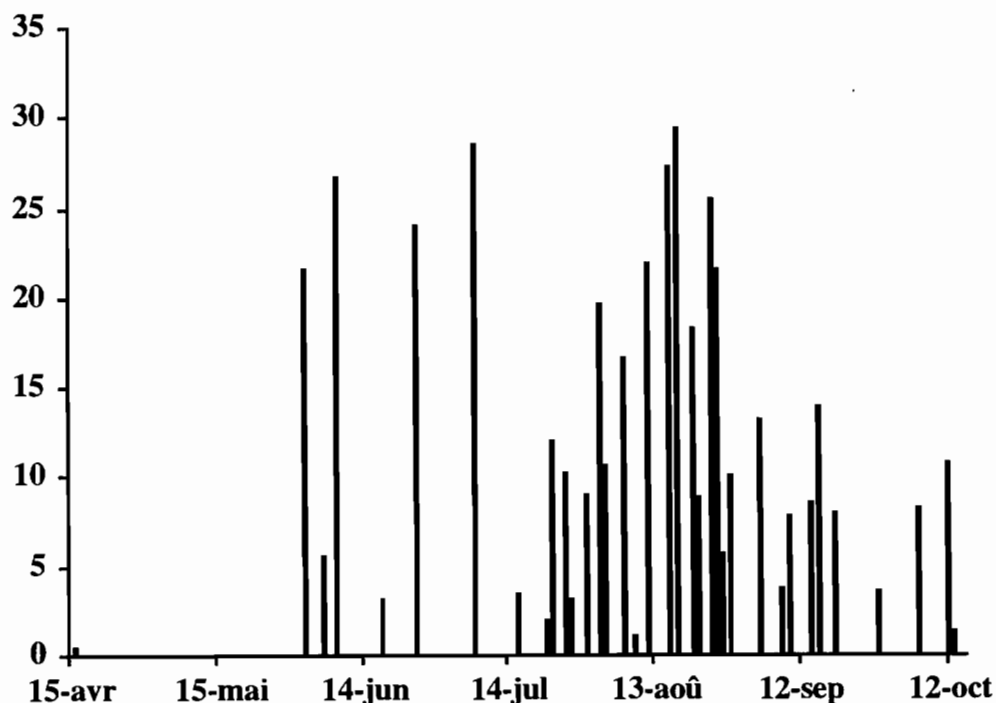


Figure 16: Chronologie et cumul moyen des événements majeurs (mm) enregistrés sur le degré carré.

Sur les six années, on peut, par contre, constater que la participation des événements majeurs dans le cumul total de la saison varie d'une année sur l'autre entre 81,1% et 99,5%, ceci ne semble pas être corrélé à la qualité de la saison, mais cela reste un bon indicateur de l'importance des événements locaux à faible dispersion spatiale et à leur contribution plus ou moins grande au cumul saisonnier.

La répartition des événements majeurs au cours de la saison 1996 (**figure 16**), montre un regroupement principalement entre le 20 juillet et fin août où se concentrent 53% des épisodes pour un total de 63% du cumul total des événements majeurs. Durant le mois de mai, aucun événement majeur n'est présent, ce qui concorde bien avec l'analyse stationnelle pour ce mois ci qui révèle de faibles précipitations d'origine locale et de faible ampleur spatiale. On remarque par contre, particulièrement cette année que le début de saison est marqué par plusieurs événements qui vont apporter une forte contribution au cumul total, tandis qu'en fin de saison, les systèmes pluvieux, bien que plus nombreux, ont des hauteurs nettement plus faibles.

L'histogramme des cumuls des épisode majeurs sur le degré carré (**figure 17**) montre que le nombre des épisodes à cumul inférieur à 10 mm en 1996 représente 50 % des événements. Par rapport aux années antérieures (**figure 18**) le pourcentage d'événements majeurs ayant une moyenne surfacique inférieure à 10 mm, sur le degré carré, varie entre 40 et 65%. Pour les seuils supérieurs, les différentes courbes donnent des écarts non négligeables, mais globalement chaque saison a un comportement identique. La seule particularité que l'on peut noter, en 1996, est l'absence d'événement majeur dont la hauteur moyenne est supérieure à 30 mm. Dans des études précédentes, on a montré qu'au niveau d'une station donnée, l'importance du cumul pluviométrique est directement corrélée au nombre de pluies supérieures au seuil de 10 mm, ces pluies comptabilisant environ 75% du cumul pluviométrique à la station. En ce qui concerne les moyennes spatiales, ceci est encore plus vrai puisque le cumul des événements majeurs dont la hauteur moyenne est supérieure à 10 mm représente de 75 à 90% du cumul de l'ensemble des événements majeurs (**figure 19**).

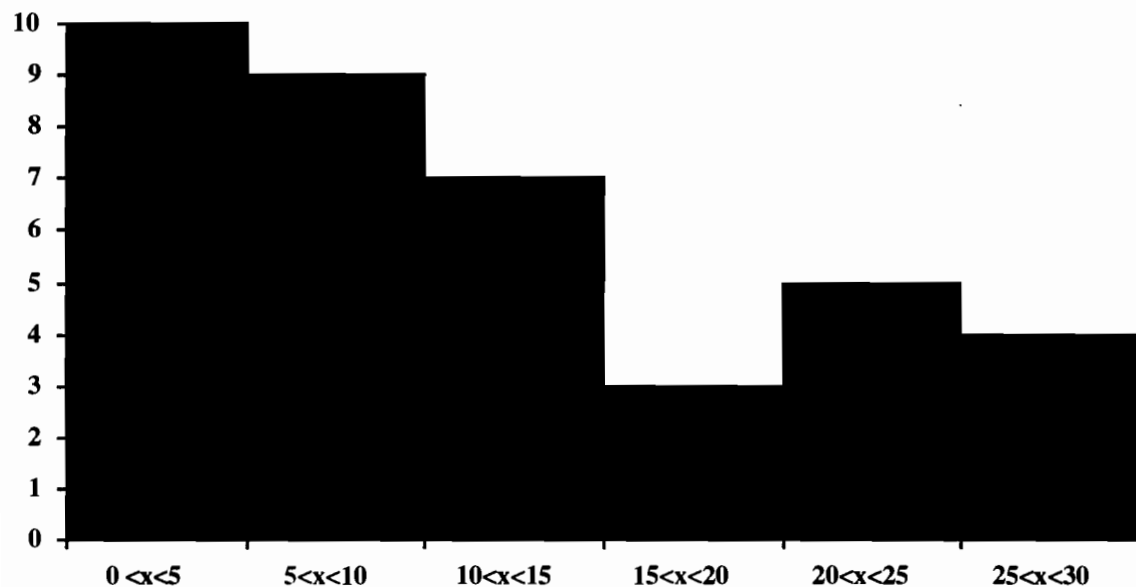


Figure 17: Histogramme du cumul en mm des épisodes spatiaux majeurs de la saison 1996.

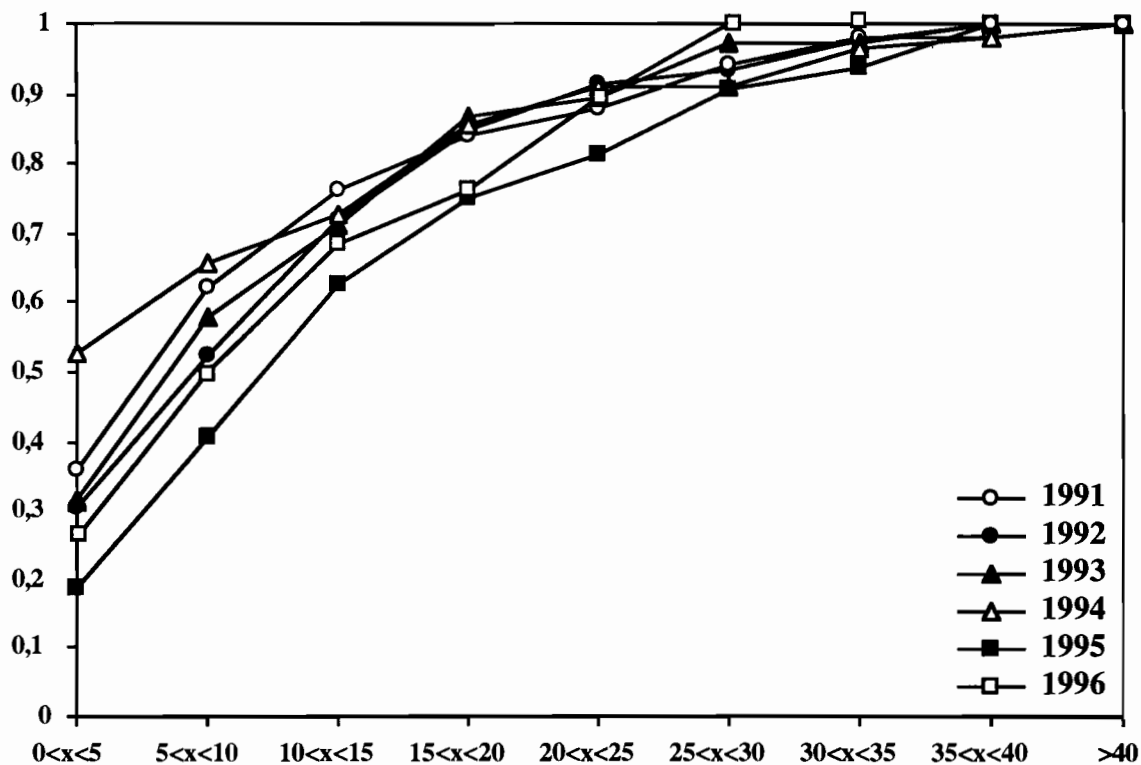


Figure 18: Fréquence cumulée de la hauteur en mm des épisodes spatiaux majeurs des différentes saisons 91-96.

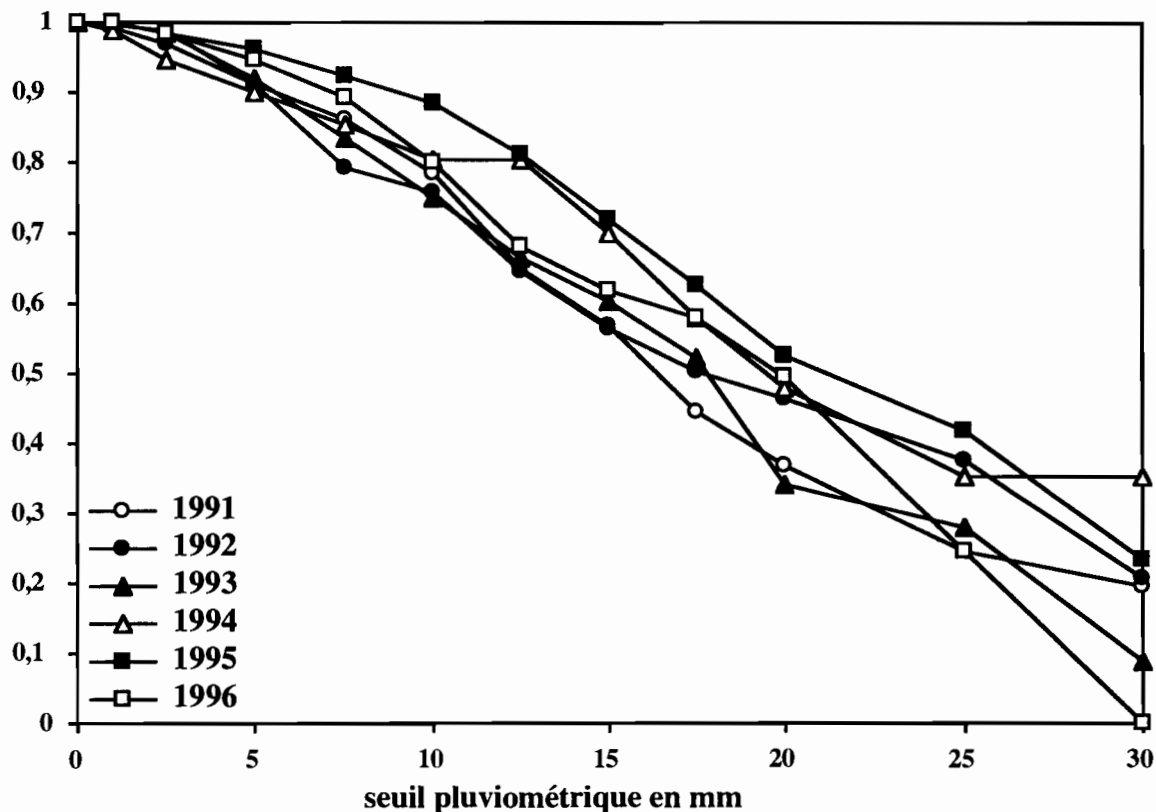


Figure 19: Répartition du cumul des événements majeurs en fonction du seuil pluviométrique pour les saisons de 1991 à 1996.

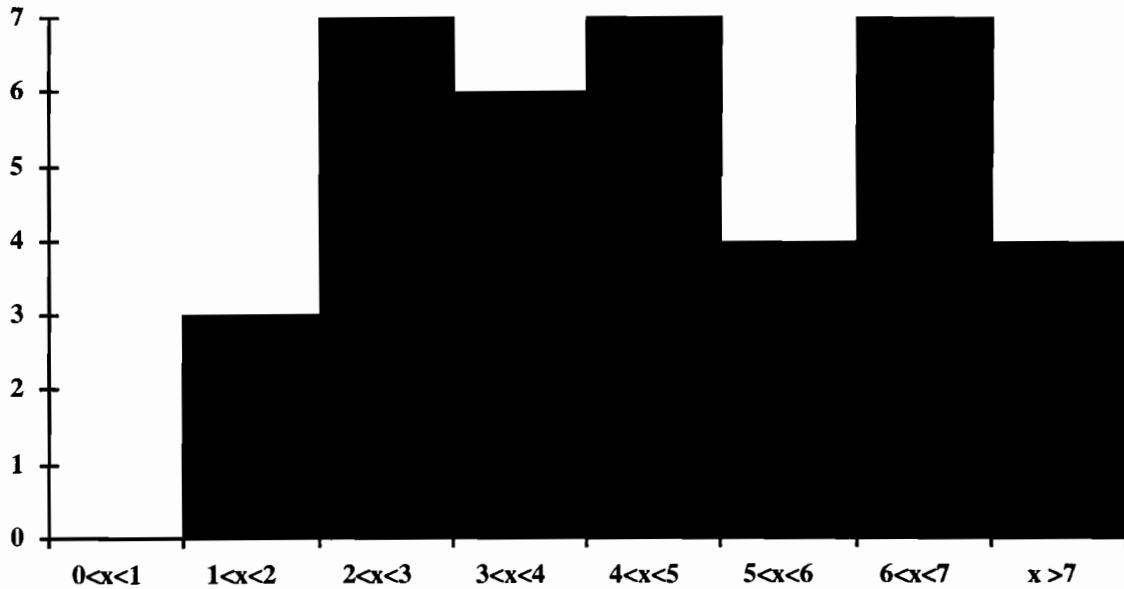


Figure 20: Histogramme de la durée en heure des épisodes spatiaux majeurs de la saison 1996.

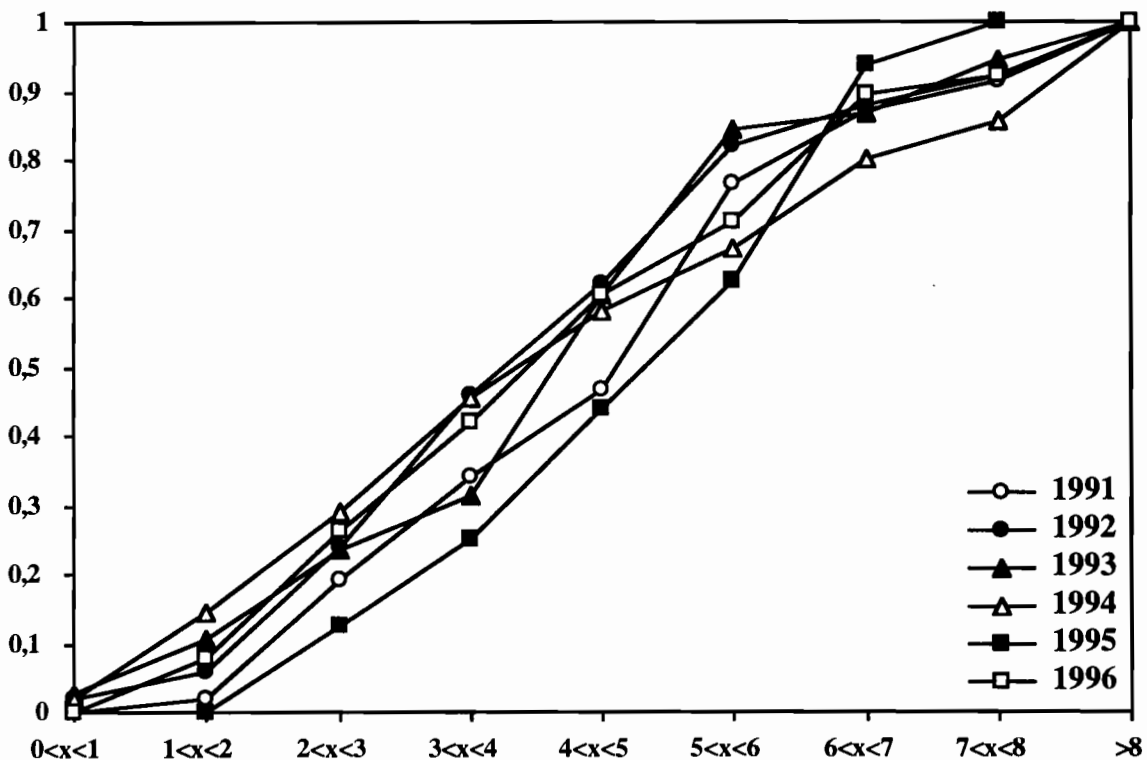


Figure 21: Fréquence cumulée de la durée en heure des épisodes spatiaux majeurs des différentes saisons 91-96.

L'histogramme de répartition de la durée des épisodes majeurs (figure 20) pour la saison 1996 est assez homogène et on n'observe pas de tendance particulière pour une durée comprise entre 2 et 7 heures. Par rapport aux années précédentes (figure 21), on peut distinguer deux types de comportement ; une prédominance des systèmes dont la durée de passage sur le degré carré est supérieure à 4 heures (saison 91 et 95 principalement), que l'on peut rattacher à une climatologie qui a favorisé des systèmes convectifs de mésoéchelle à fort développement de traîne et, une prédominance de systèmes dont la durée de passage sur le degré carré est très rapide que l'on peut relier à une structure type ligne de grain.

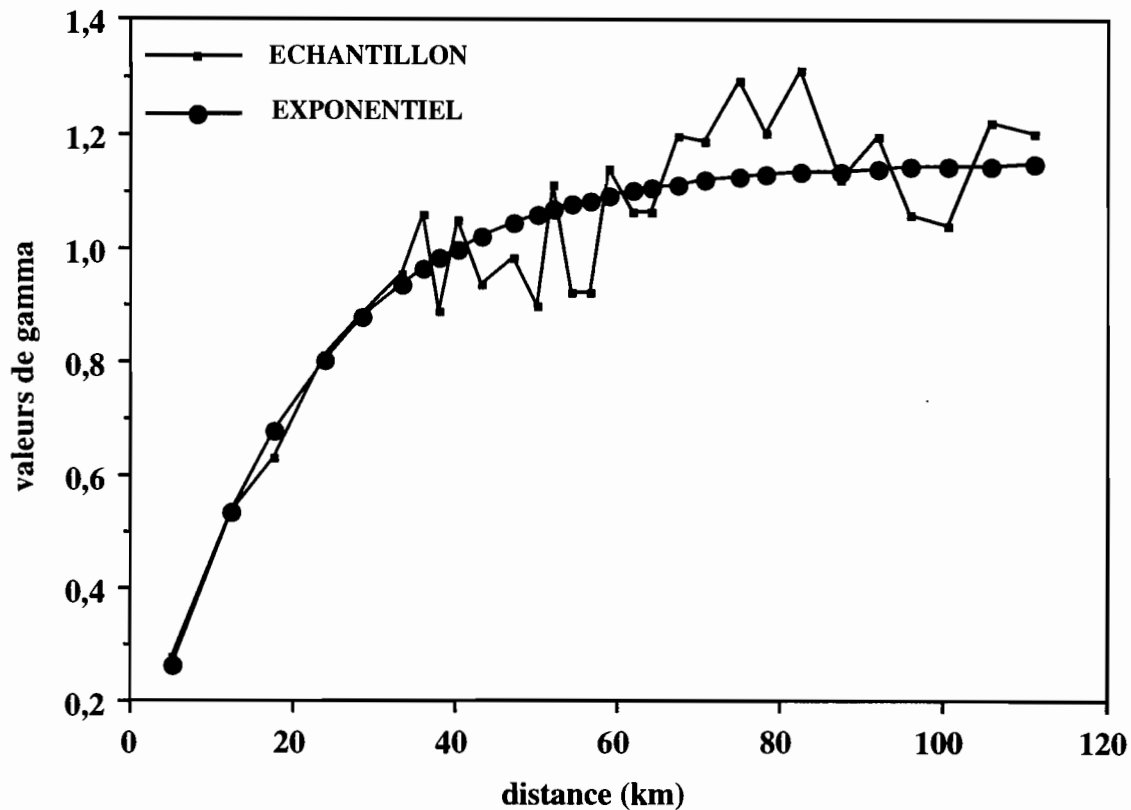


Figure 22: Variogramme climatologique des 26 épisodes de grande extension spatiale (au moins 80% de stations en fonctionnement touchées) observés en 1996.

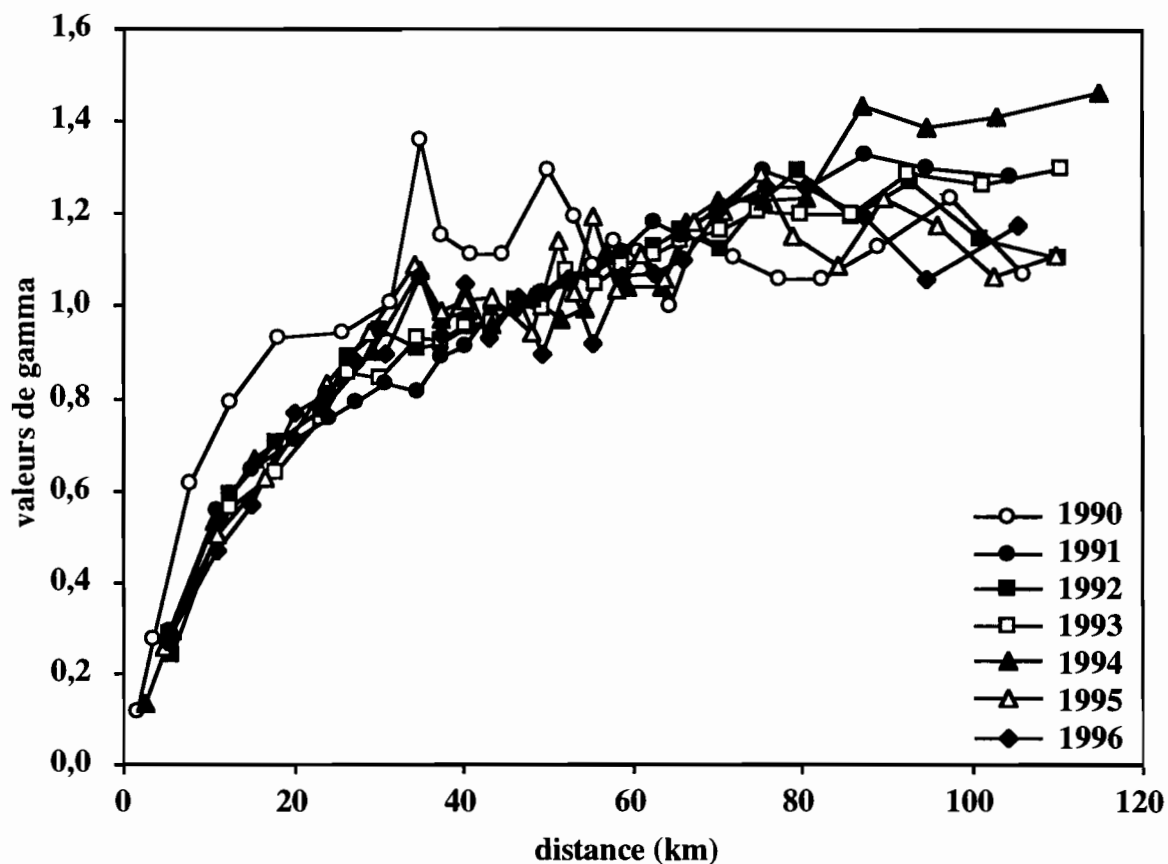


Figure 23: Variogramme climatologique des épisodes de grande extension spatiale (au moins 80% de stations en fonctionnement touchées) observés de 1990 à 1996.

Comme pour les saisons précédentes, les épisodes de grande extension spatiale (au moins 80 % de stations touchées) représentent la plus grosse partie du cumul annuel (79,8 % - 401 mm). Ces événements sont au nombre de 26 (68 % des événements spatiaux), leur structure spatiale est bien définie, et comme pour les autres années, elle est représentée par un variogramme climatologique de type exponentiel (pépite 0, coefficient de forme 20, **figure 22**). La **figure 23** représente les variogrammes climatologiques des épisodes de grande extension spatiale (au moins 80% de stations en fonctionnement touchées) pour les années 1990 à 1996, on peut effectivement constater qu'à part la saison 1990 qui a été la plus déficitaire, les variogrammes des autres saisons s'ajustent parfaitement et montrent ainsi que ces systèmes précipitants appartiennent statistiquement à une famille donc à une genèse et un développement identique que l'on retrouve chaque année.

La distribution fréquentielle des lames d'eau, sur le degré carré, de chacun des 38 épisodes majeurs, calculées par krigeage (**figure 24**) s'ajuste bien, comme toutes les années, par une loi de Pearson III à 2 paramètres, dont le paramètre de forme est égal à 1,82 et le paramètre d'échelle égal à 6,44 mm.

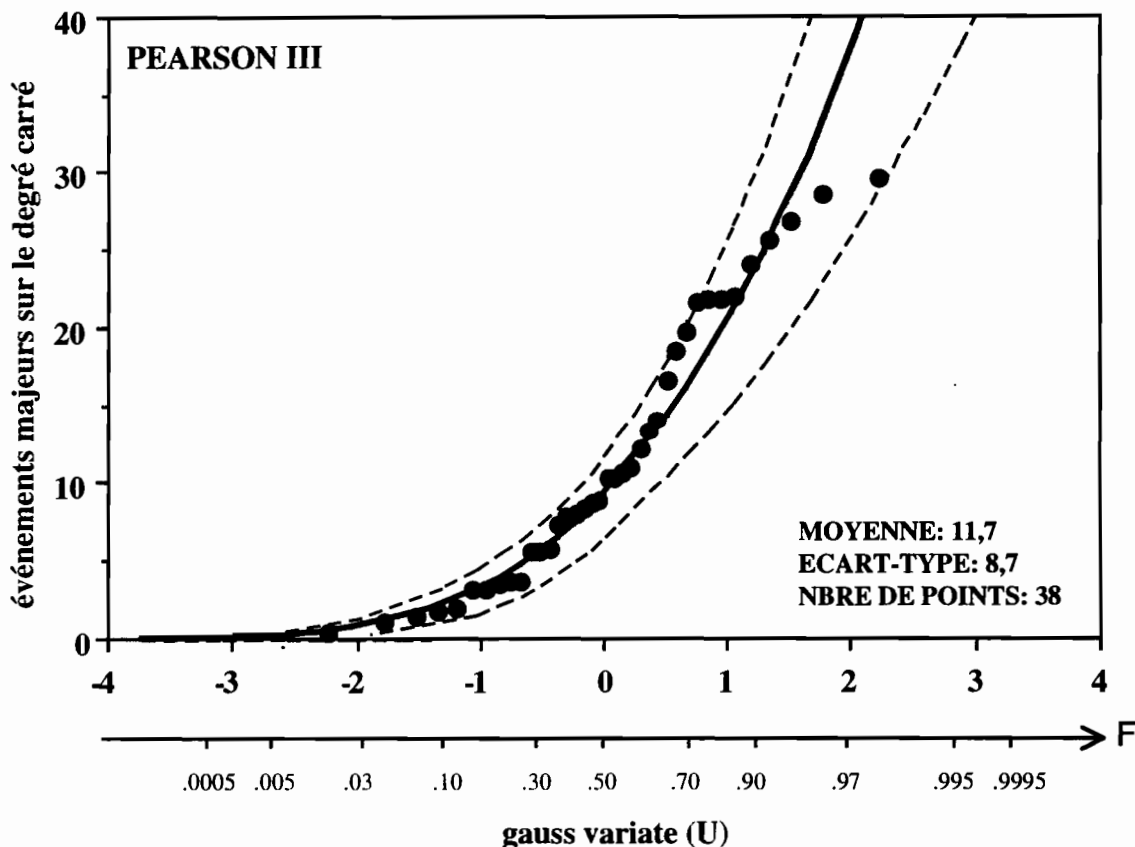


Figure 24: Loi de distribution des cumuls des 38 événements spatiaux majeurs de la saison 1996.

Par comparaison avec la loi de distribution des cumuls spatiaux, les lois d'ajustement des cumuls seuillés à 1 mm des stations ayant enregistré les totaux saisonniers maximal (Koyria) et le second minimal (Kollo) sont aussi des lois de Pearson III à 2 paramètres (**figure 25**) (en fait la loi est distribuée selon les cumuls stationnels journaliers que l'on peut en premier lieu assimiler au cumul par épisode). Cette loi est en fait généralisable à l'ensemble des stations, c'est ce que l'on peut constater pour les différentes saisons dont on dispose. Pour la station de Kollo le paramètre d'échelle est égale à 8,84 mm pour un paramètre de forme égal à 1. Respectivement pour la station de Koyria les paramètres sont égaux à 11,43 mm et 1,03. Pour ces deux stations les paramètres de forme ne sont pas ou peu dissymétriques, alors que celui des cumuls spatiaux est fortement dissymétrique,

comme l'année précédente. L'augmentation du paramètre de forme lorsque l'on passe des cumuls ponctuels aux cumuls spatiaux correspond en fait au lissage opéré par le calcul de la moyenne spatiale.

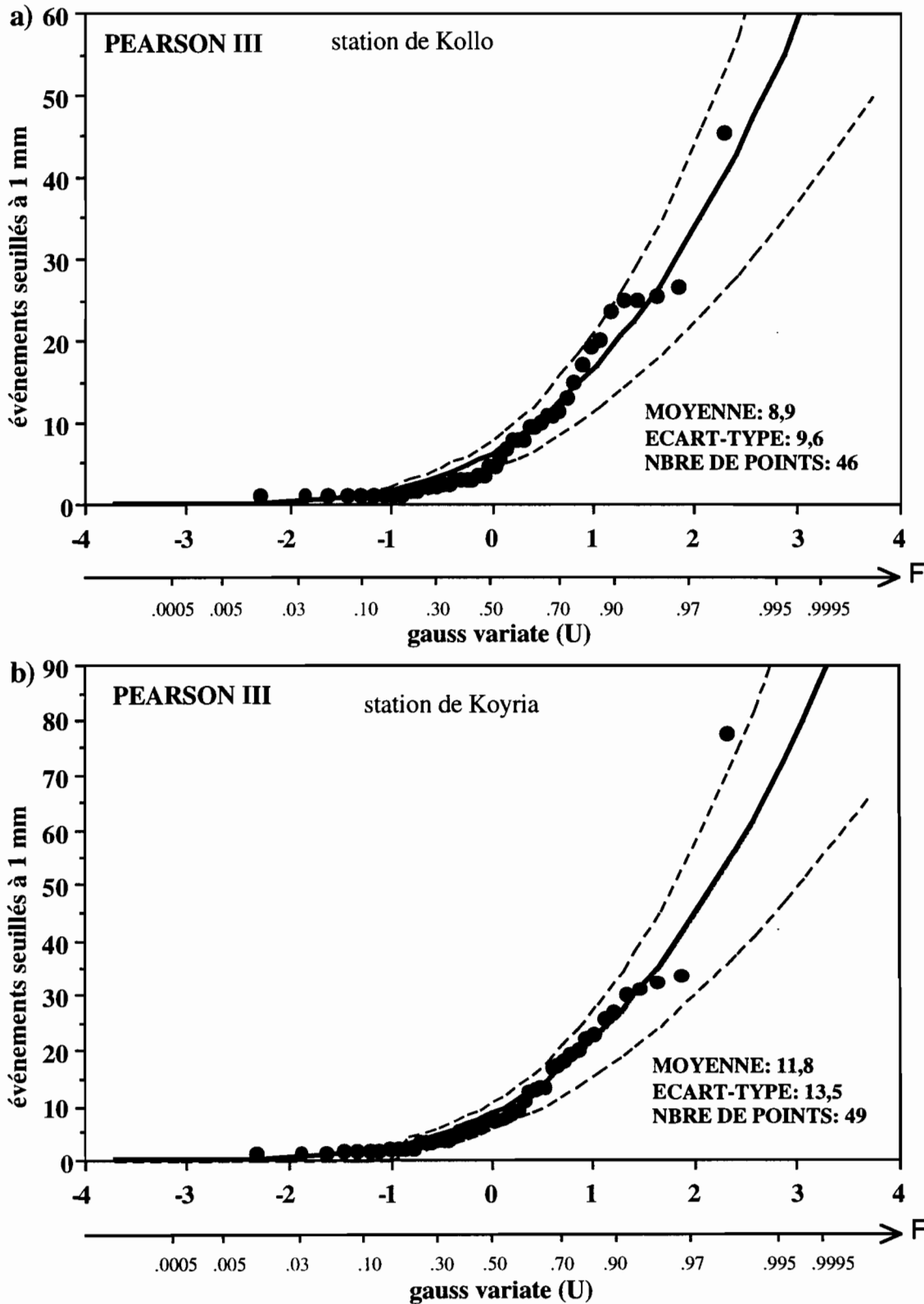


Figure 25: Loi de distribution des cumuls seuillés à 1 mm pour la station de Kollo (a) et de Koyria (b).

Certaines études préliminaires sur les données Epsat-Niger ont montré qu'il pouvait y avoir un lien entre le nombre de jours de pluies à une station et son cumul saisonnier, cela semblant d'autant plus vrai quand on compare les stations à cumul extrême. Pour vérifier cela, on a comparé 3 saisons, climatologiquement différentes, et pour chaque saison les stations à cumul minimal et maximal (**tableau 12**). Pour 1993 et 1994, que cela soit en comparant les jours de pluies ou les événements (2 événements sont distincts si il s'est écoulé au moins 30 minutes sans pluie à la station, ce critère est relativement restrictif et comptabilise pour une station donnée plusieurs événements pour un événement spatial donné), sans seuil pluviométrique ou bien en imposant un seuil de 1 mm, on constate effectivement l'existence de cette relation jours de pluie-nombre d'événements. Ceci conduit, pour ces deux saisons, à une baisse d'environ 35% de l'efficacité moyenne des précipitations pour les stations à cumul minimal par rapport à celles à cumul maximal. Par contre, pour l'année 1996 le critère quantité de pluie-nombre d'événements n'est pas respecté, que cela soit en comparant le nombre de jours de pluie entre les deux stations, où la relation est même inverse, ou en comparant le nombre d'événements où la différence entre les deux stations est négligeable. Pour cette année, l'efficacité moyenne des précipitations pour la station à cumul minimal est d'environ 20% en moins par rapport à la station à cumul maximal.

Tableau 12: Comparaison du nombre de jours de pluie et du nombre d'événements pour les stations à cumul saisonnier maximal et minimal pour une année déficitaire (1993), une année excédentaire (1994) et une année normale (1996).

(Le second chiffre de la colonne correspond à la hauteur moyenne par jour de pluie ou par événement).

	1993		1994		1996	
maxima	nb jours	nb évts	nb jours	nb évts	nb jours	nb évts
non seuillé	50 / 12,4	77 / 8,1	62 / 13,8	96 / 9,0	43/13,9	67/8,8
seuillé 1,0	40 / 15,5	60 / 10,4	56 / 15,4	66 / 13,1	41/14,5	49/11,8
minima	nb jours	nb évts	nb jours	nb évts	nb jours	nb évts
non seuillé	39 / 8,5	60 / 5,4	53 / 9,4	85 / 5,8	45/9,1	63 / 6,6
seuillé 1,0	33 / 9,8	47 / 6,9	41 / 12,1	52 / 9,6	41/9,9	46 / 8,8

Tableau 13: Comparaison durant la saison 1996 sur 6 stations, du nombre d'événements selon un seuil pluviométrique et son cumul pluviométrique associé. Les cumulés représentent des valeurs augets.

Stations	Koyria	Kollo	Alkama	Sandideye	Koure sud	Torodi
Nbre évts						
non seuillé	67	63	63	71	73	72
≥ 1 mm	49	46	44	44	47	55
≥ 10 mm	19	15	13	16	22	18
≥ 20 mm	10	7	8	9	7	8
≥ 30 mm	5	1	4	4	3	1
Cumul						
non seuillé	589,5	413,5	438,5	484,0	551,0	493,5
≥ 1 mm	580,5	405,0	429,0	470,5	538,0	485,0
≥ 10 mm	457,5	298,5	323,0	381,0	446,5	363,0
≥ 20 mm	322,0	191,0	252,0	283,5	218,5	218,5
≥ 30 mm	204,5	45,5	159,5	158,0	110,5	52,0

On peut, comme chaque année, essayer de généraliser cette étude tout d'abord à partir de quelques stations, bien réparties sur la zone, en tenant compte de différents seuils (**tableau 13, figure 26a,b,c**). Comme on l'a dit précédemment le nombre d'événements à une station n'est pas très caractéristique de son cumul. Par contre, les différentes relations de la **figure 26**, montrent que les stations sont définies par le même type de loi, ceci montrant bien que la distribution des fréquences de pluies à une station obéit à un même processus lié à la climatologie sahélienne. Le même type de relation se retrouve donc pour la répartition des événements selon un seuil pluviométrique (loi exponentielle), pour la répartition du cumul selon un seuil pluviométrique (loi linéaire) ou pour le nombre d'événements seuillés en

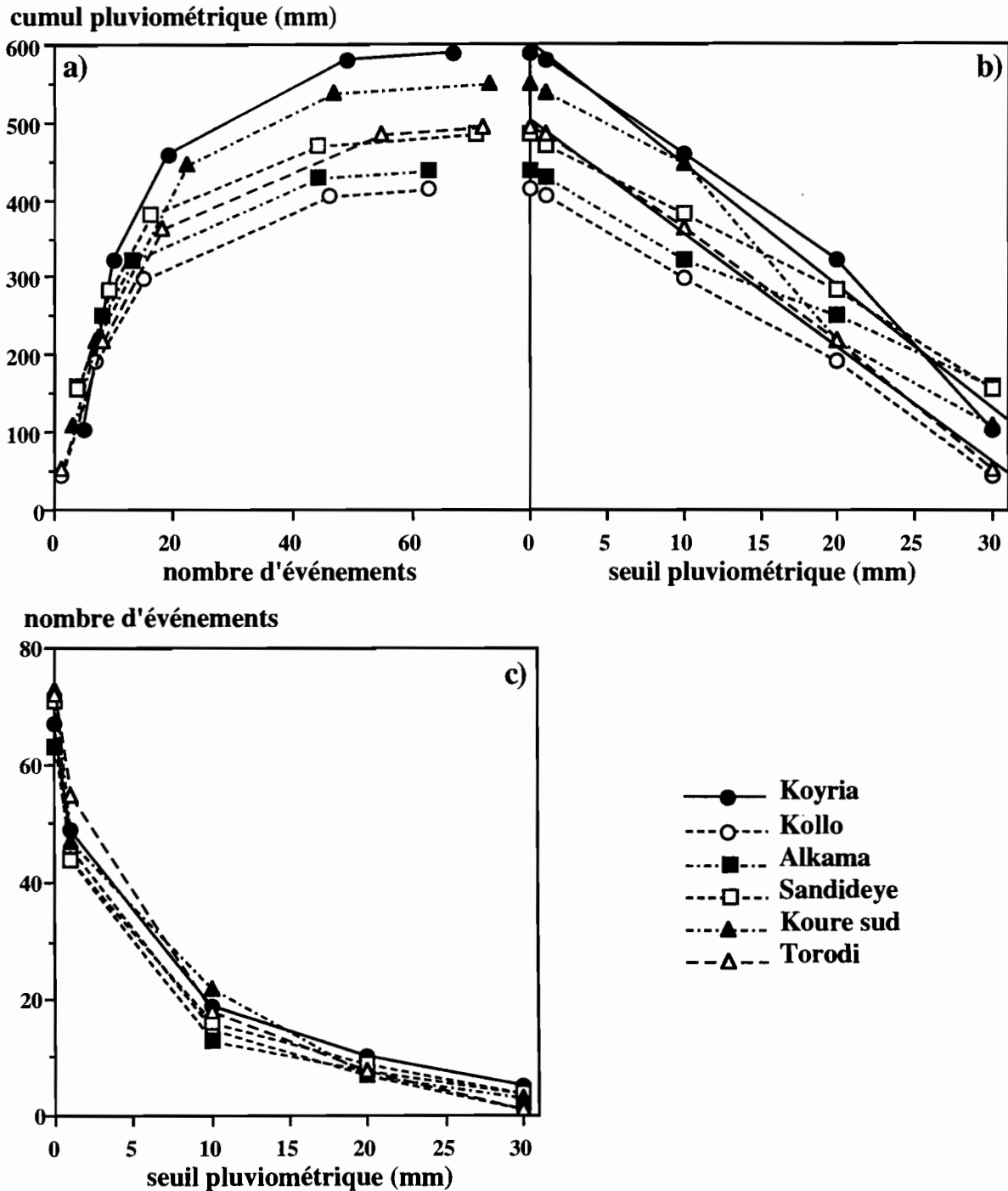


Figure 26: Relation pour chacune des 6 stations du tableau 13 du :
 a) nombre d'événements seuillés en fonction du cumul seuillé associé
 b) nombre d'événements seuillés en fonction du seuil
 c) cumuls seuillés en fonction du seuil.

fonction de leur cumul associé (loi logarithmique).

Ces mêmes résultats peuvent être généralisés à l'ensemble du réseau. On a calculé pour cela en chaque station sans lacune (30), et pour différents seuils, le nombre d'événements et le cumul saisonnier correspondant. On a comparé les cumuls totaux avec les cumuls seuillés d'une part et, d'autre part avec le nombre d'événements seuillés. Les résultats obtenus cette année confirment ceux acquis les années précédentes. Ces 2 paramètres pouvant être considérés comme des facteurs climatologiques de la région sahélienne et cela quelque soit la qualité de la saison des pluies.

Concernant la relation entre le cumul total et le nombre d'événements à différents seuils, on peut constater qu'en général les coefficients de détermination ne sont pas bons pour les seuils faibles, par contre les seuils compris entre 5 et 15 mm donnent des coefficients impliquant l'existence d'un lien entre les 2 paramètres (figure 27, tableau 14).

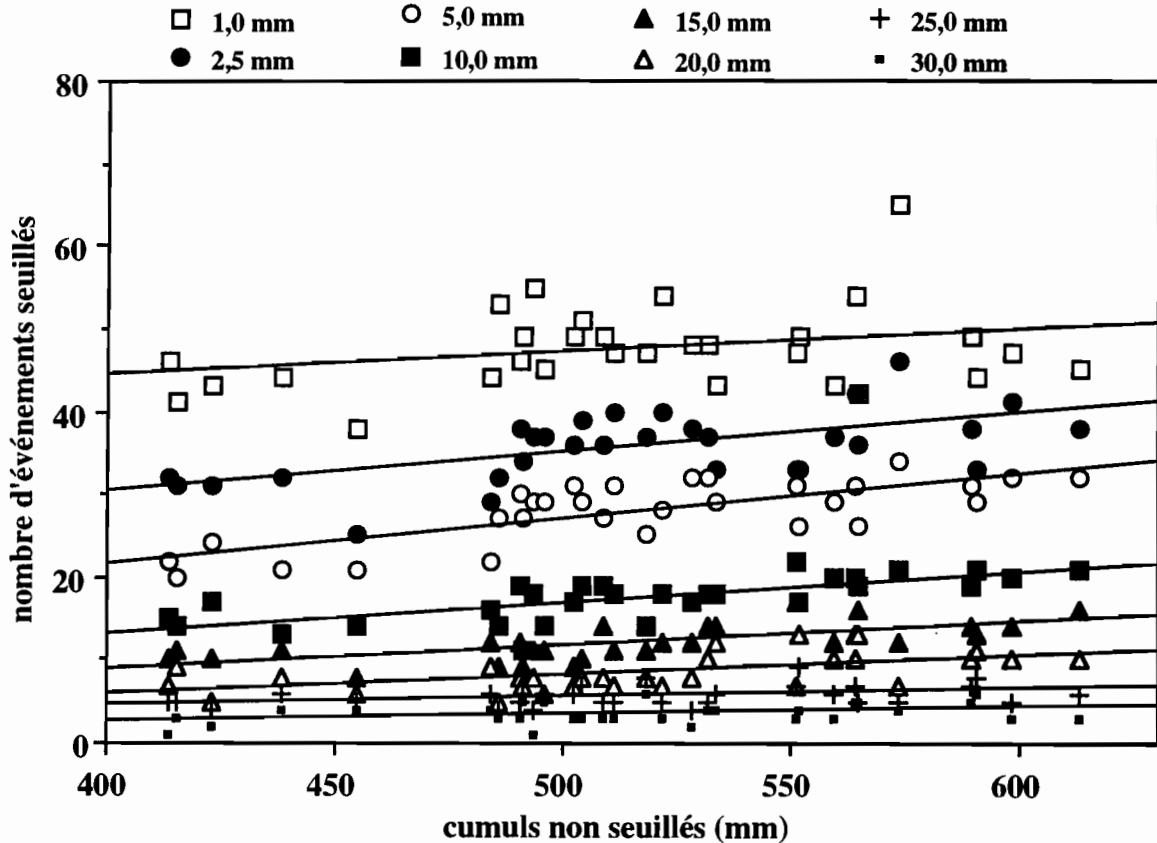


Figure 27: Corrélation entre le cumul à une station et son nombre d'événements en fonction d'un seuil pluviométrique.

Tableau 14: Coefficients de détermination de la relation nombre d'événements selon un seuil pluviométrique donné sur les 30 stations sans lacune en fonction de leur cumul saisonnier non seuillé.

1mm	$y = 33,52 + 0,0276x$ $r^2 = 0,08$	2,5mm	$y = 11,96 + 0,046x$ $r^2 = 0,34$	5mm	$y = 0,38 + 0,053x$ $r^2 = 0,56$
7,5mm	$y = -1,84 + 0,0467x$ $r^2 = 0,60$	10mm	$y = -1,65 + 0,037x$ $r^2 = 0,52$	12,5mm	$y = -5,35 + 0,037x$ $r^2 = 0,56$
15mm	$y = -2,57 + 0,028x$ $r^2 = 0,47$	17,5mm	$y = -4,087 + 0,025x$ $r^2 = 0,40$	20mm	$y = 3,08 + 0,023x$ $r^2 = 0,33$
25mm	$y = 1,17 + 0,008x$ $r^2 = 0,14$	30mm	$y = -1,086 + 0,009x$ $r^2 = 0,15$	35mm	$y = 0,811 + 0,003x$ $r^2 = 0,02$

Par ailleurs, la relation entre le cumul total et le cumul seuillé est, par contre, comme chaque année parfaitement bien établie, **figure 28, tableau 15** (Taupin et al., 1993b). Ce sont les pluies importantes qui vont définir le cumul saisonnier. En effet, les pluies supérieures à 10 mm expliquent encore 84 % de la variance des cumuls saisonniers. Pour la plupart des années antérieures 1992, 1993 et 1995, et pour les seuils compris entre 1 mm et 20 mm, la pente de la corrélation restait toujours très proche de 1 avec de très forts coefficients de détermination. La distribution des pluies exprimées en proportion du cumul de la saison était donc sensiblement identique d'une station sur l'autre. Cette année cette relation existe encore, mais elle n'est vraie que pour les seuils inférieurs ou égaux à 12,5 mm, ensuite la pente diminue fortement ainsi que le coefficient de détermination. Néanmoins, ce critère climatologique reste pertinent puisque reproductible d'une année sur l'autre.

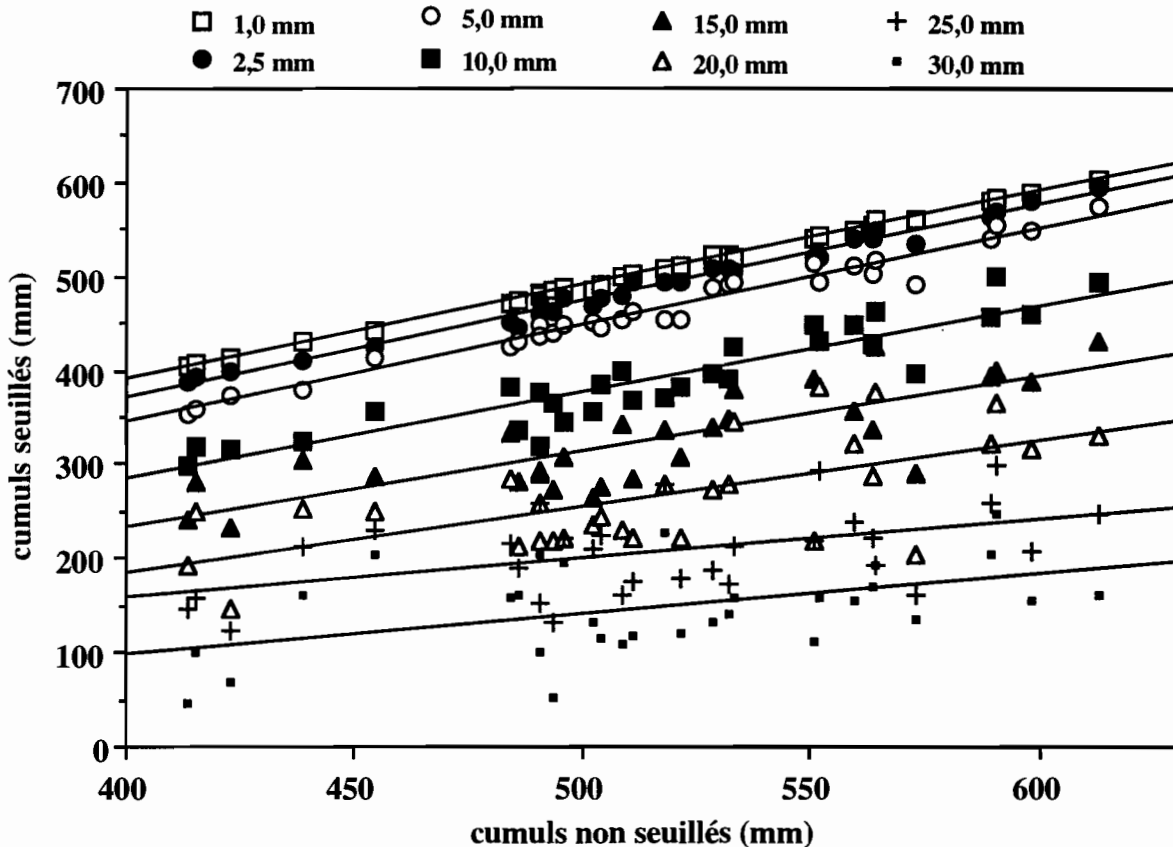


Figure 28: Corrélation entre le cumul total à une station et son cumul à différents seuils pluviométriques.

Tableau 15: Coefficients de détermination de la relation cumul saisonnier non seuillé sur les 30 stations sans lacune en fonction du cumul saisonnier selon un seuil pluviométrique donné.

1mm	$y = -11,43 + 1,002x$ $r^2 = 1,00$	2,5mm	$y = -39,32 + 1,0246x$ $r^2 = 0,99$	5mm	$y = -70,94 + 1,0353x$ $r^2 = 0,97$
7,5mm	$y = -85,68 + 0,998x$ $r^2 = 0,88$	10mm	$y = -86,80 + 0,924x$ $r^2 = 0,84$	12,5mm	$y = -127,74 + 0,931x$ $r^2 = 0,81$
15mm	$y = -90,34 + 0,806x$ $r^2 = 0,65$	17,5mm	$y = -99,69 + 0,766x$ $r^2 = 0,52$	20mm	$y = -100,41 + 0,707x$ $r^2 = 0,43$
25mm	$y = -9,62 + 0,416x$ $r^2 = 0,24$	30mm	$y = -67,72 + 0,414x$ $r^2 = 0,21$	35mm	$y = -4,74 + 0,210x$ $r^2 = 0,06$

Le rajout d'une année supplémentaire confirme les résultats acquis les années antérieures et permet ainsi de bien montrer la constance de ces paramètres climatiques (**figure 29**). Si l'on compare les 5 dernières saisons des pluies, on constate que la fréquence moyenne (calculée sur toutes les stations prises en compte) du nombre d'événements, selon un seuil donné, rapporté au nombre total d'événements sur la saison est pratiquement semblable d'une année sur l'autre. Cette courbe de fréquence obéit à une loi de type exponentielle. Ceci implique qu'en zone sahélienne, en moyenne 50% des événements sont inférieurs à 2,5 mm, et que seulement 23% des événements sont supérieurs à 10,0 mm. De même, la fréquence moyenne du cumul selon un seuil donné rapporté au cumul total sur la saison, suit une loi linéaire identique pour ces 4 années. Par comparaison aux chiffres précédents, les pluies inférieures à 2,5 mm contribuent à seulement 5% du cumul saisonnier alors que les pluies supérieures à 10,0 mm correspondent à 80% du cumul total. De ces deux constatations, il en ressort, qu'en climat sahélien, c'est un petit nombre d'événements très pluvieux qui va régir la qualité de la saison des pluies.

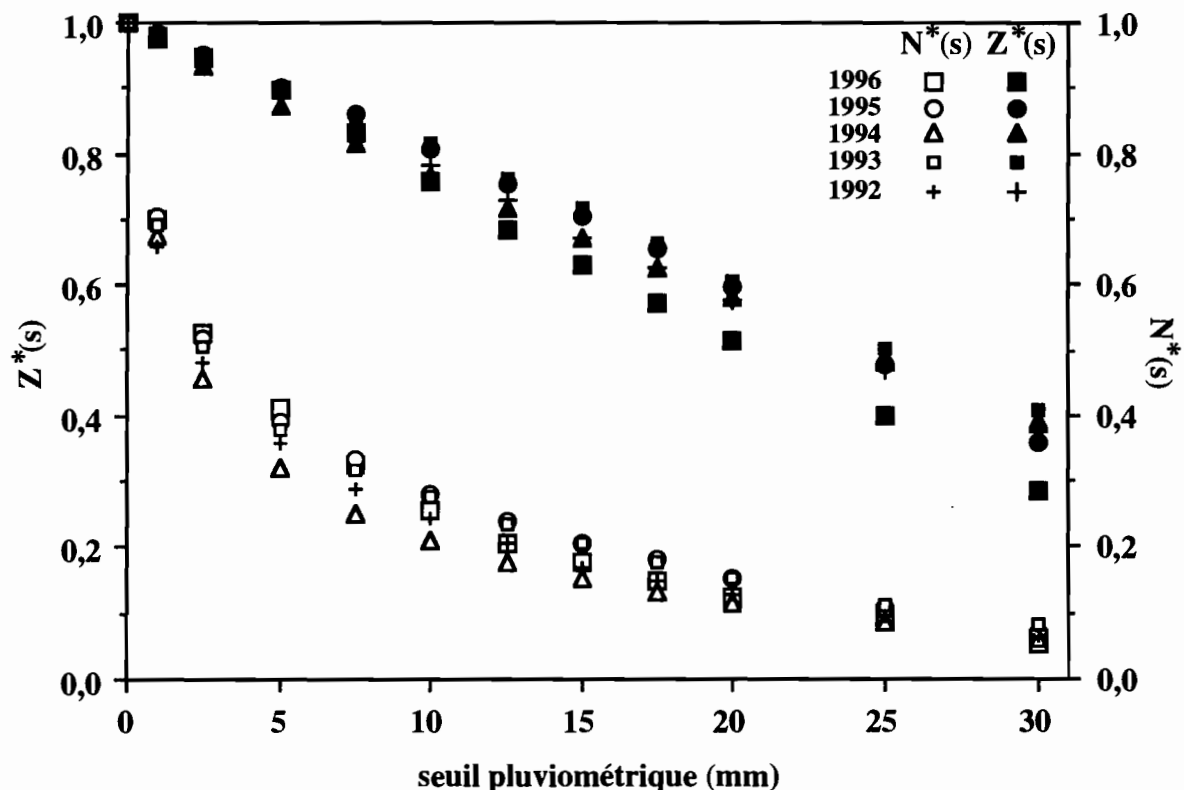


Figure 29: Répartition moyenne de
- $N^*(s)$ = nombre d'événements seuillés / nombre d'événements totaux,
- $Z^*(s)$ = cumul seuillé / cumul total
en fonction du seuil pluviométrique pour les années 1992 à 1996.

La comparaison de la répartition de la pluie aux différentes stations, au cours de la saison, permet aussi de visualiser le déficit pluviométrique et son évolution dans le temps. Pour cela on a comparé la station à cumul maximal (Koyria-596,8 mm) avec 2 stations fortement déficitaires mais situées à différents endroits du réseau (Kollo centre de la zone - 409,3 mm ; Massi Koubou nord de la zone - 416,3 mm).

Les années précédentes, on avait pu expliquer l'écart entre les stations extrêmes par différents types de distribution des pluies. Soit le déficit s'expliquait par un nombre d'événements moindre (par exemple la saison 1992), soit le nombre d'événements était identique mais la hauteur moyenne était plus faible (cas de la saison 1995). Cette année, on est plutôt dans le second cas de figure, mais la particularité en 1996 est, que l'essentiel de l'apport pluviométrique, dont a bénéficié la station de Koyria, provient simplement de 2 événements, dont le plus important est celui du 27 juillet, Koyria (79,9 mm), Kollo (0,0 mm), Massi Koubou (4,5 mm). On peut constater, sur la **figure 30**, que les comportements

des 3 stations sont identiques jusqu'à la fin du mois de juillet en terme de quantité, qui, comme on l'a dit dans la première partie, a été déficitaire sur toute la zone du degré carré. Après la pluie du 27 juillet les courbes de Koyria et de Massi koubou ont à peu près la même pente, tandis que celle de Kollo est plus forte et enregistre donc un excédent pluviométrique jusqu'à la fin août. C'est après le mois d'août que Kollo va accumuler un déficit pluviométrique avec une absence de précipitation importante jusqu'à la fin de la saison. Par rapport au gradient pluviométrique nord-sud, la station de Massi Koubou est en situation climatologique normale, on ne note pas de rupture de pente dans la pluviométrie et son déficit est acquis au mois de juillet, ce qui est général sur toute la zone. Pour la station de Kollo son déficit est acquis principalement en fin de saison, et on peut penser que des phénomènes bioclimatologiques et météorologiques très locaux ont régi ce déficit, car en septembre et octobre, d'importants systèmes convectifs ont continué à parcourir toute la zone amenant, comme on l'a vu dans la première partie, des quantités de pluies importantes. Pour la station de Koyria, il est vrai que sa position très au nord ne lui permet pas normalement de devenir un maximal pluviométrique sur la zone, sauf, et cela a été le cas cette année, si il y a un apport exceptionnel dû à un voire deux événements. Cette apport est à mettre en relation à priori avec le développement de cellules convectives très intenses et très localisées.

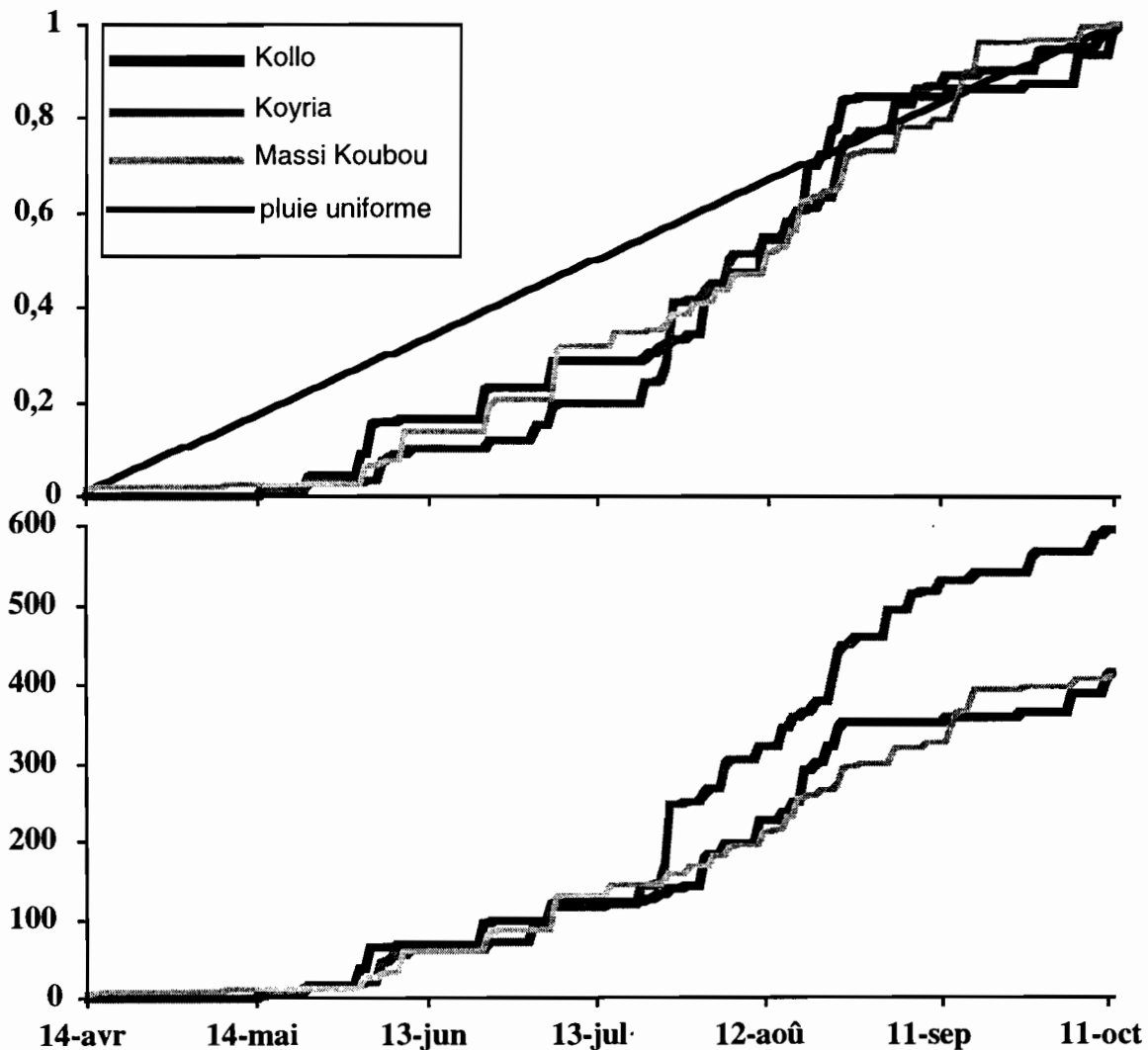


Figure 30: Comparaison de l'évolution du cumul pluviométrique entre Torodi et Sandideye entre le 15 avril et le 15 octobre: a) cumul normé et comparaison avec une pluie théorique uniforme; b) cumul non normé.

L'étude des fréquences d'intensité a montré, les années antérieures, qu'il y avait une distribution du même type pour les différentes stations et les différentes années. De plus, pour la plupart des années où la convection a été prédominante, le cumul et la distribution des fréquences d'intensité sont étroitement liés, ce qui paraît normal, puisque les intensités les plus fortes sont amenées par ce type de système pluviogénique. On peut voir, que pour les stations à cumul extrême, pour les 4 dernières années (**figure 31**), seule l'année 1994, ne rentre pas dans ce schéma, en effet la contribution de la pluie issue de la mousson (grande quantité de pluie mais intensité moyenne à faible) a été importante par rapport aux pluies de convection (**Taupin et al., 1995b**).

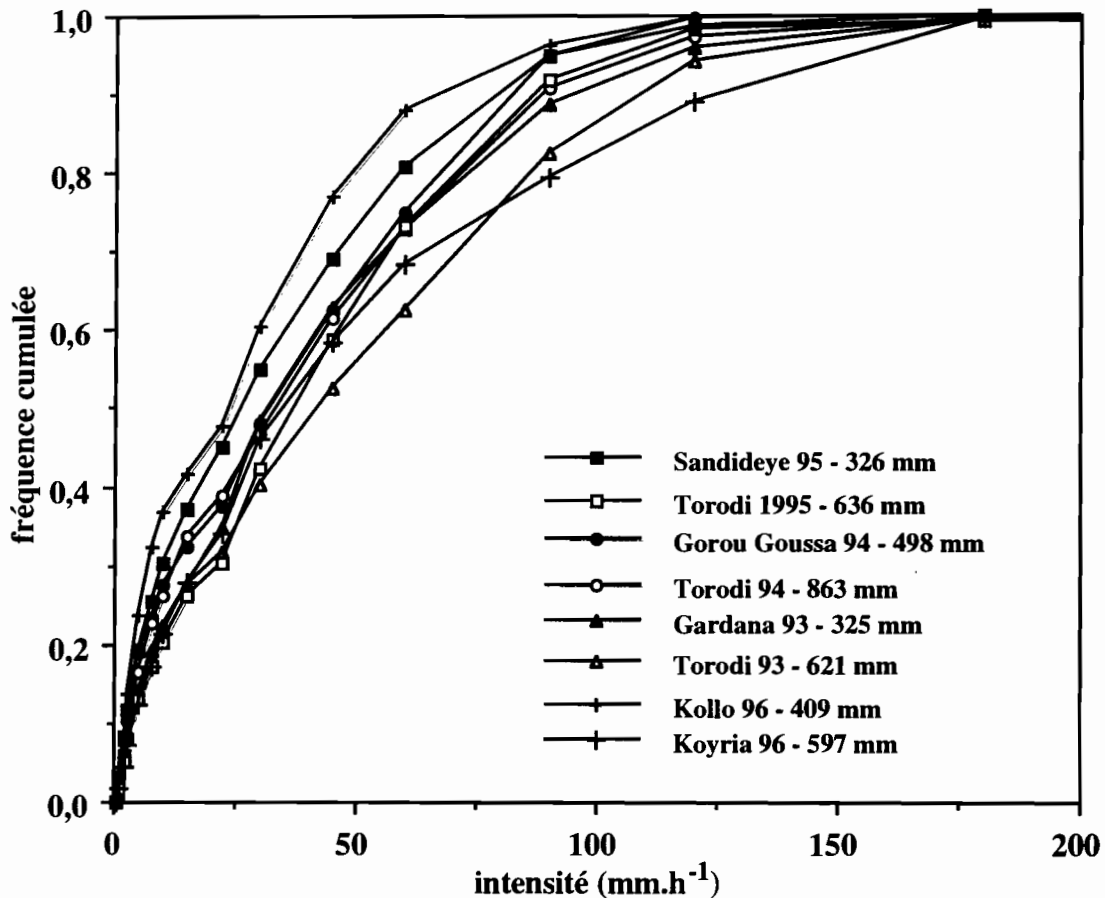


Figure 31: Distribution des fréquences d'intensité durant la saison 1993 à 1995 pour les stations à cumul extrême (minimal et maximal).

3.3 Petits pas de temps

La base de données spatialisées dont on dispose, permet de travailler à un pas de temps minimal de 5 minutes. On peut donc étudier avec une résolution relativement fine d'une part, la propagation des systèmes précipitants sur le degré carré et, d'autre part, la déformation du hyéto gramme aux différentes stations touchées.

Durant la saison 1996, de nombreux systèmes convectifs de mésoéchelle sont passés au dessus du degré carré. Une étude exhaustive de ceux qui ont touché la plupart des stations, environ une vingtaine d'épisodes, n'ont pas révélé de structure particulière liée à l'existence de ligne de grain (marquage net d'un front nord-sud se déplaçant vers l'est à la vitesse de déplacement d'environ 40-60 km.h⁻¹). Pour cela, cette saison apparaît particulière, et la forme du variogramme saisonnier est peut-être liée à cette absence de structure dans les systèmes de mésoéchelle.

Comme chaque année, on a quand même essayé d'étudier un système convectif qui présente une structure organisée. Outre la visualisation spatiale de la ligne de grain au pas de temps de 5 minutes, un transect est-ouest de 5 stations disposées au centre du degré carré permet de suivre l'évolution du hyétogramme stationnel (**figure 32**).

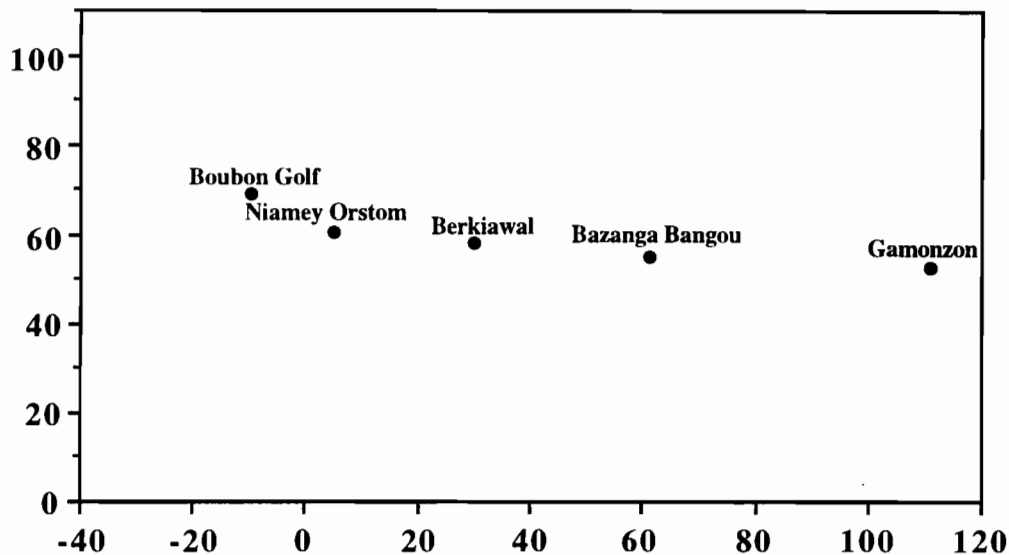


Figure 32: Localisation des stations du transect utilisé pour suivre l'évolution des hyétogrammes de l'événement du 9 juin 1996.

Il s'agit d'un épisode qui se situe en début de saison des pluies, le 9 juin. Il a donné une lame d'eau moyenne de 26,7 mm sur le degré carré (3ème plus forte quantité d'eau de la saison 1996), et 91% des stations ont été touchées. Les cumuls sur les différentes stations s'échelonnent entre 0 et 101 mm (Kaligorou-n°61).

La convection a abordé le réseau EPSAT-Niger dans sa partie nord-est, à la station de Kaligorou, sa durée totale sur la zone a été de 6h05, mais on a étudié simplement le déplacement de la partie frontale, et le début de la traîne, sur la zone du degré carré sensus-stricto et cela, sur une durée d'environ 3h00 (**figures 33, 34**).

Le front a touché le degré carré à 10h00 où il va rester immobile, en bordure, durant les 30 premières minutes. La propagation se poursuit ensuite vers le sud où durant une trentaine de minutes, on ne note pas d'évolution vers l'ouest. Vers 11h00, la convection commence à se déplacer vers l'ouest, mais elle n'occupe que la partie centrale du degré carré. On peut visualiser lors de son parcours une voire deux cellules intenses dont la quantité de pluie en 5 minutes est importante puisqu'elle peut atteindre 13 mm soit une intensité de 156 mm.h⁻¹. Vers 11h40, on peut noter une nette extension du front vers le sud, mais il y a de nouveau une forte régression du front, vers 12h05. A 12h45, le front est à la limite ouest du degré carré, où il va être pratiquement stationnaire pendant 35 minutes, et c'est vers 13h15 que l'on note la disparition effective du front de la zone du degré carré. La partie stratiforme du système, non représentée sur les cartes d'isohyètes, sera détectée par le réseau jusqu'à 16h05, mais elle ne représente pas plus de 5% du cumul stationnel. Si on enlève les phases de stagnation du système, on peut dire que le front a traversé le degré carré en 2 heures, soit à une vitesse moyenne de 50 km.h⁻¹. Cette vitesse est du même ordre que celle des lignes de grain, mais la structure même du système reste très éloignée de la structure typique de la ligne de grain, qui conserve un peu mieux la forme du hyétogramme lors de son déplacement vers l'ouest. Les hyétogrammes (pas de temps 15 minutes) sur le transect retracent bien le sens du déplacement du système (front et début de traîne), mais la forme du hyétogramme est très irrégulière d'une station à l'autre avec une disparition pratiquement complète du pic du hyétogramme à la station la plus à l'ouest (Boubon Golf). Les cumuls totaux de l'épisode et les cumuls sur les 3 premières heures pour les 5 stations sont

respectivement d'est en ouest de 48 mm (47 mm), 66mm (64 mm), 49 mm (mm), 49 mm (mm) et 15 mm (14 mm). Entre 10h00 et 13h15, le temps de passage sur chacune des 5 stations a varié du simple au double, de 45 à 90 minutes.

En dernier lieu, à côté des études de dynamique, le calcul des cumuls sur de petits pas de temps permet également une analyse fréquentielle. Les maximums absolus de la saison 1996 ont été calculés en compilant les cumuls maximaux de chaque épisode majeurs (issus du **tableau 2**) pour des pas de temps allant de 5, 10, 15, 30 et 60 minutes. Cette synthèse est reportée dans le **tableau 16**.

On a comparé les périodes de retour observées en 1996, à différents pas de temps, avec celles obtenues pour les années 1990-95. A la vue de ce tableau, on peut émettre quelques remarques. Au pas de temps de l'événement, la quantité maximale de pluie enregistrée d'une année sur l'autre, peut varier du simple au double. Pour des pas de temps plus petits la différence est beaucoup plus faible, sauf pour le pas de temps de 5 minutes, mais en tout état de cause, cette variabilité entraîne forcément un calcul des périodes de retour erroné si on travaille uniquement avec une station de référence.

Tableau 16: Périodes de retour des maximums enregistrés sur le réseau EPSAT-NIGER en 1996, calculées en prenant la série pluviographique de Niamey-Aéroport (1946-1983) comme référence (Bouvier, 1986). On a fait figurer entre parenthèse, les valeurs du cumul maximal et la période de retour associée pour les années 1990 à 1995.

Durée en mn	Quantité en mm	Station	Date-événement	Période de retour série Niamey-Aéroport
5	15,6 (30- 17- 29 - 15- 15- 16)	Kaligorou	09/06	3,9 (200- 7- 166- 4- 3- 5)
10	29,3 (39- 31- 38- 27- 27- 32)	Kaligorou	09/06	19,3 (150- 28- 224- 11- 12-38)
15	39,8 (52 - 41- 42- 39- 40- 44)	Kaligorou	09/06	24,0 (? - 33- 40- 20- 24- 53)
30	63,9 (66- 52- 63- 60- 76-54)	Kaligorou	09/06	35,1 (50- 9- 30- 22- 160- 11)
60	88,2 (75- 85- 74- 81- 109-76)	Kaligorou	09/06	42,2 (20- 34 -16 -25 -180- 17)
sur l'averse	101,0 mm en 3h40' (102- 162- 92- 95- 120- 89)	Kaligorou	09/06	

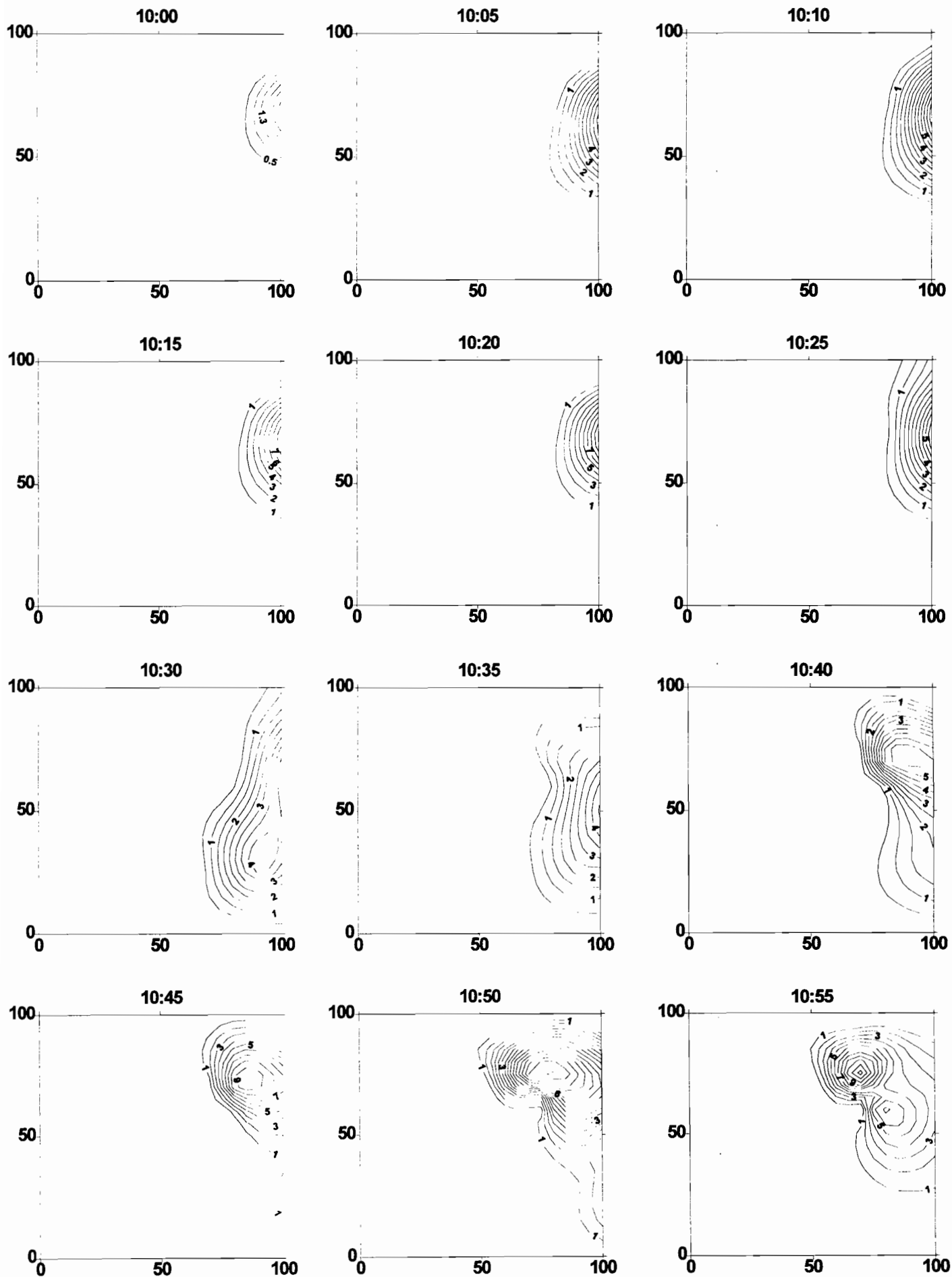
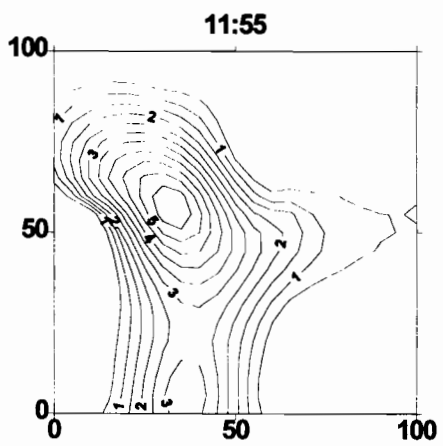
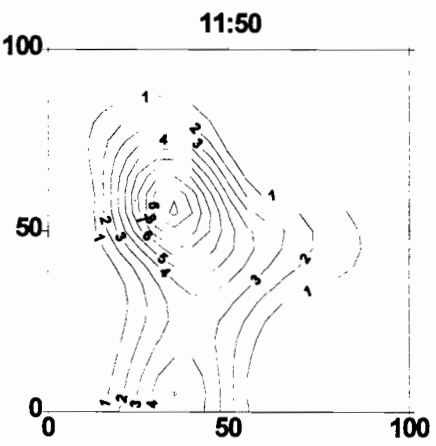
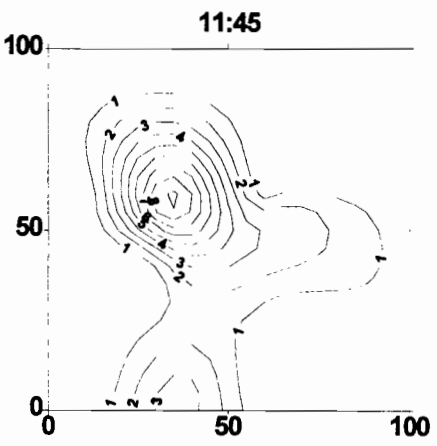
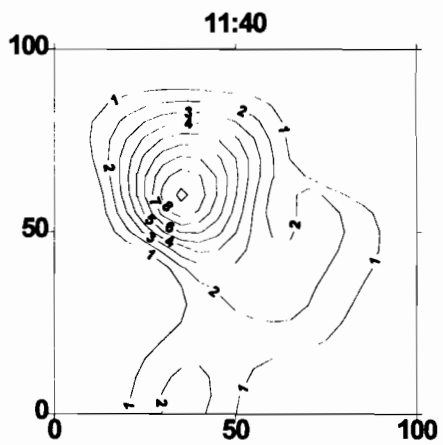
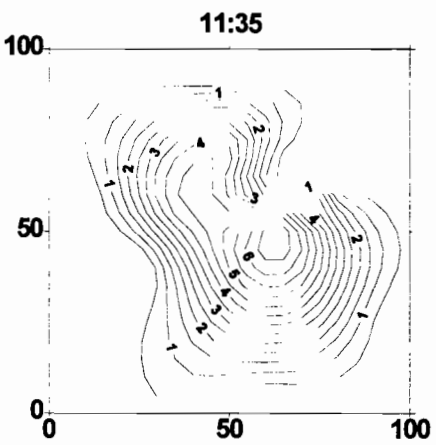
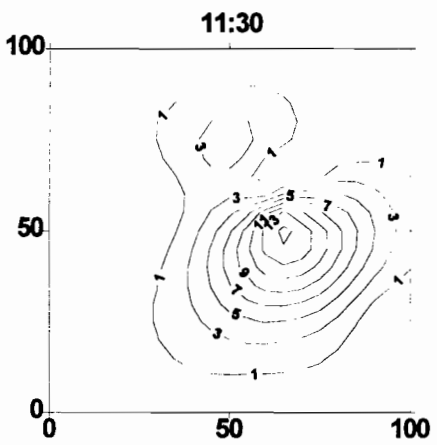
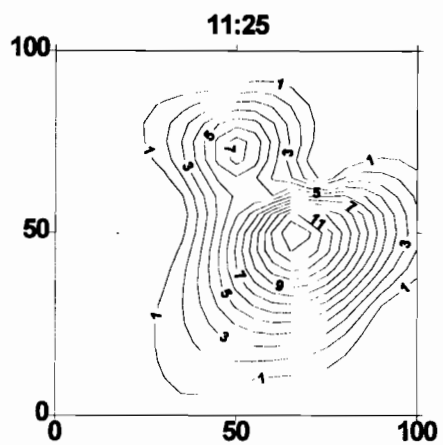
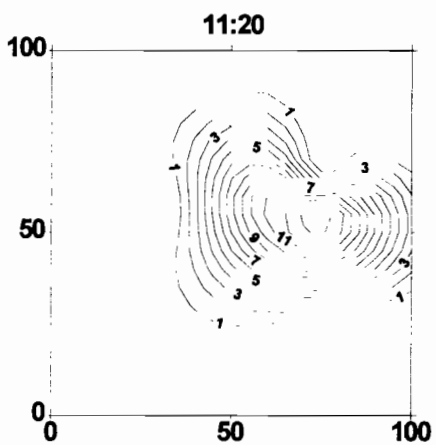
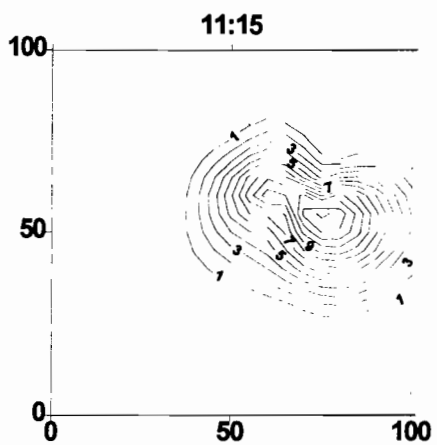
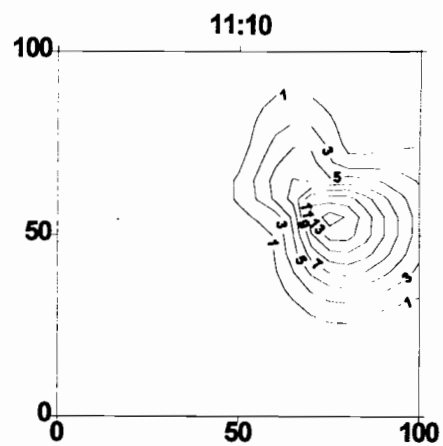
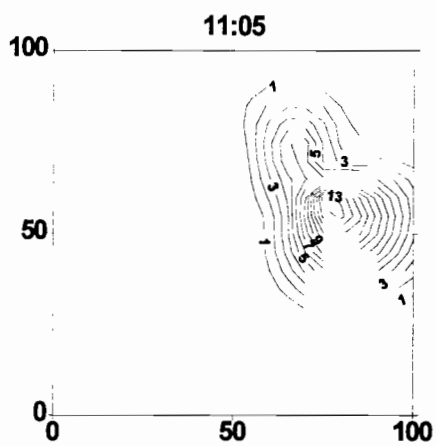
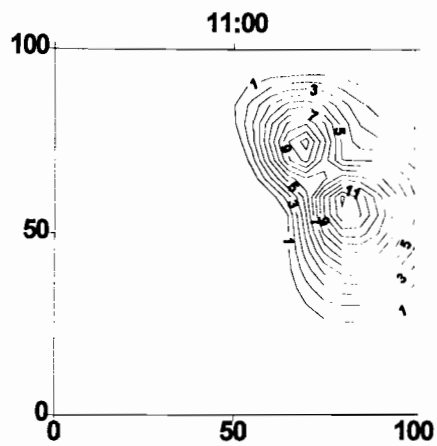
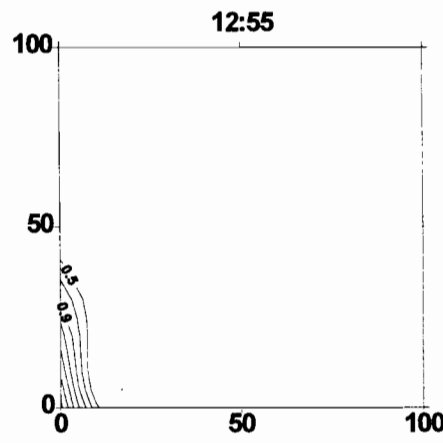
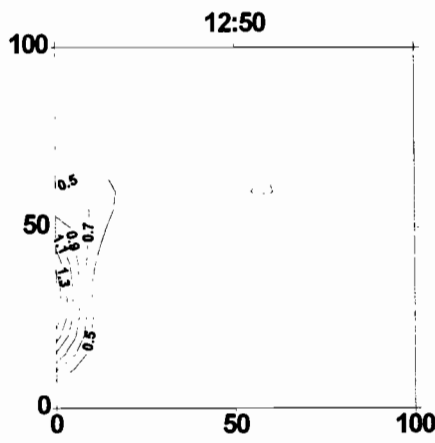
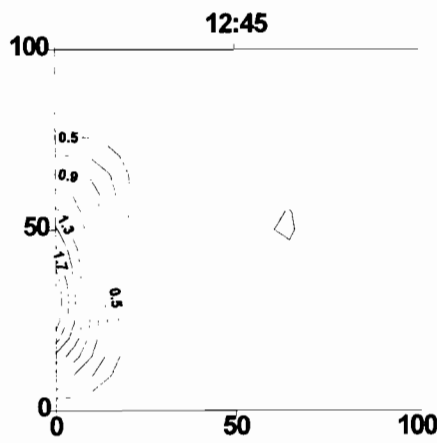
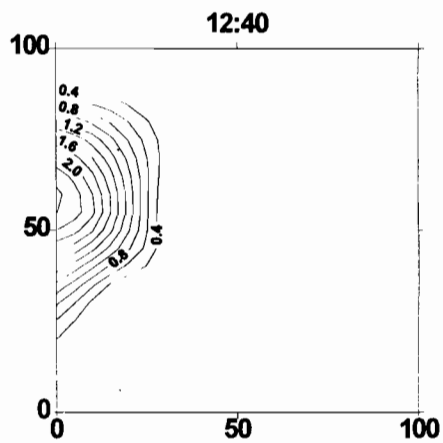
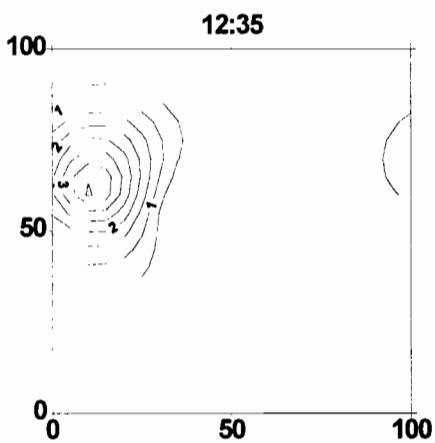
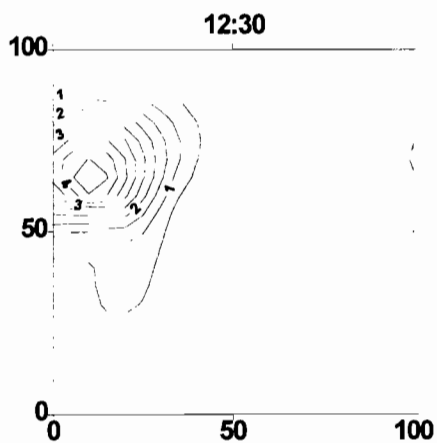
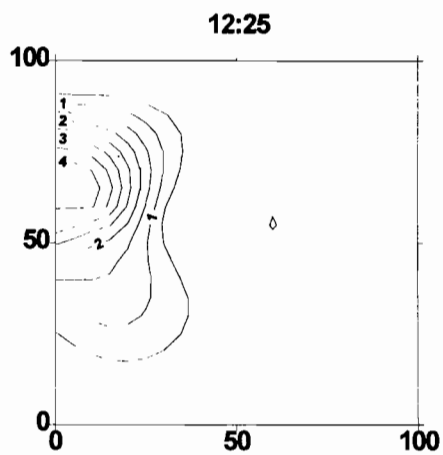
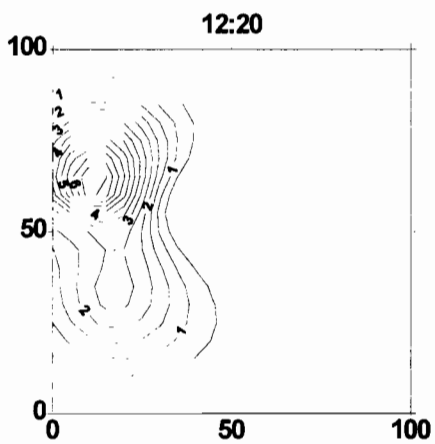
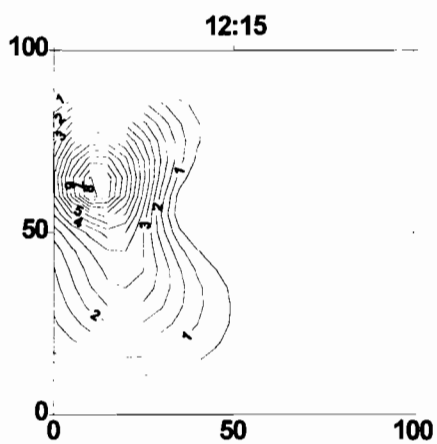
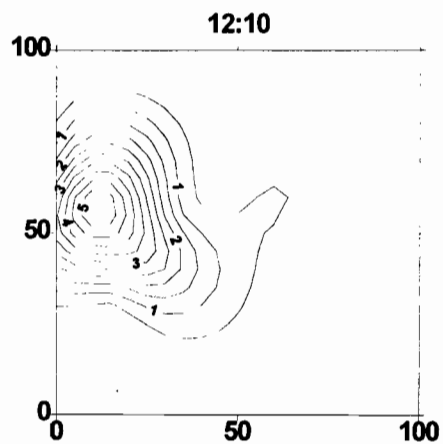
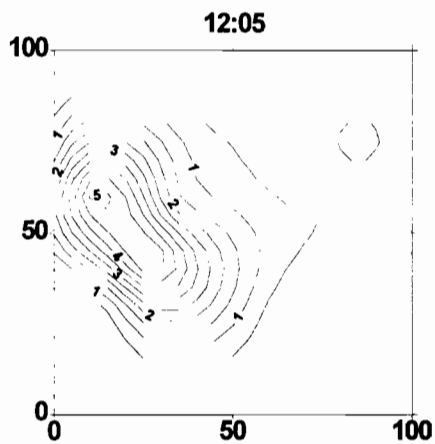
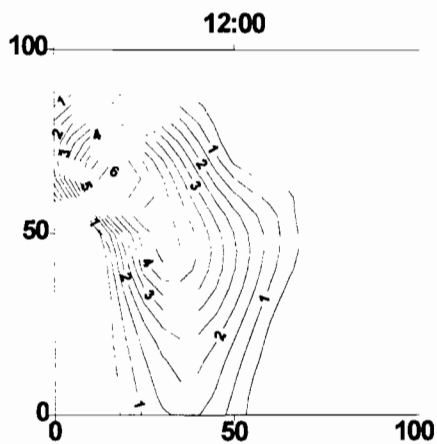
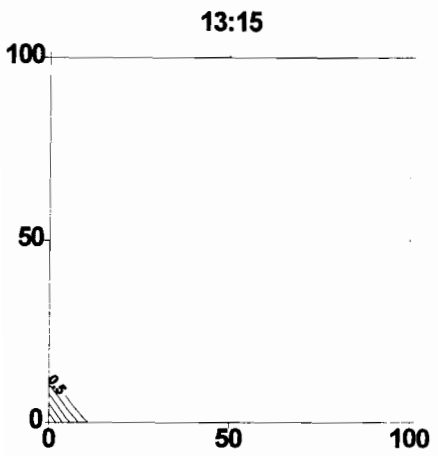
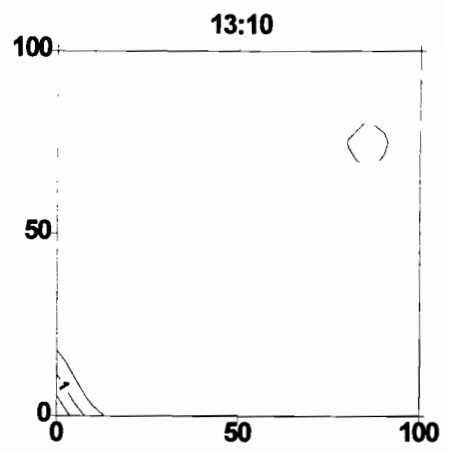
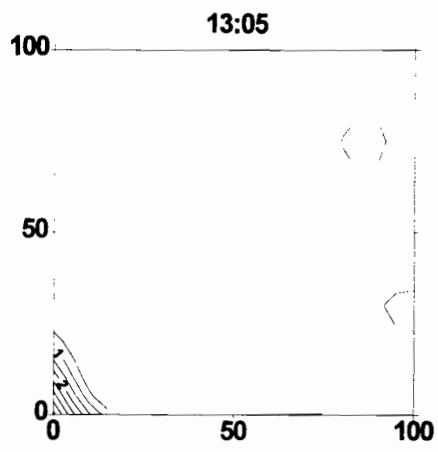
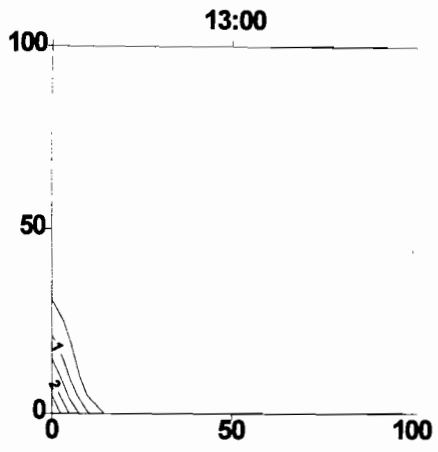


Figure 33: Isohyètes au pas de temps de 5 minutes du système précipitant du 9 juin.







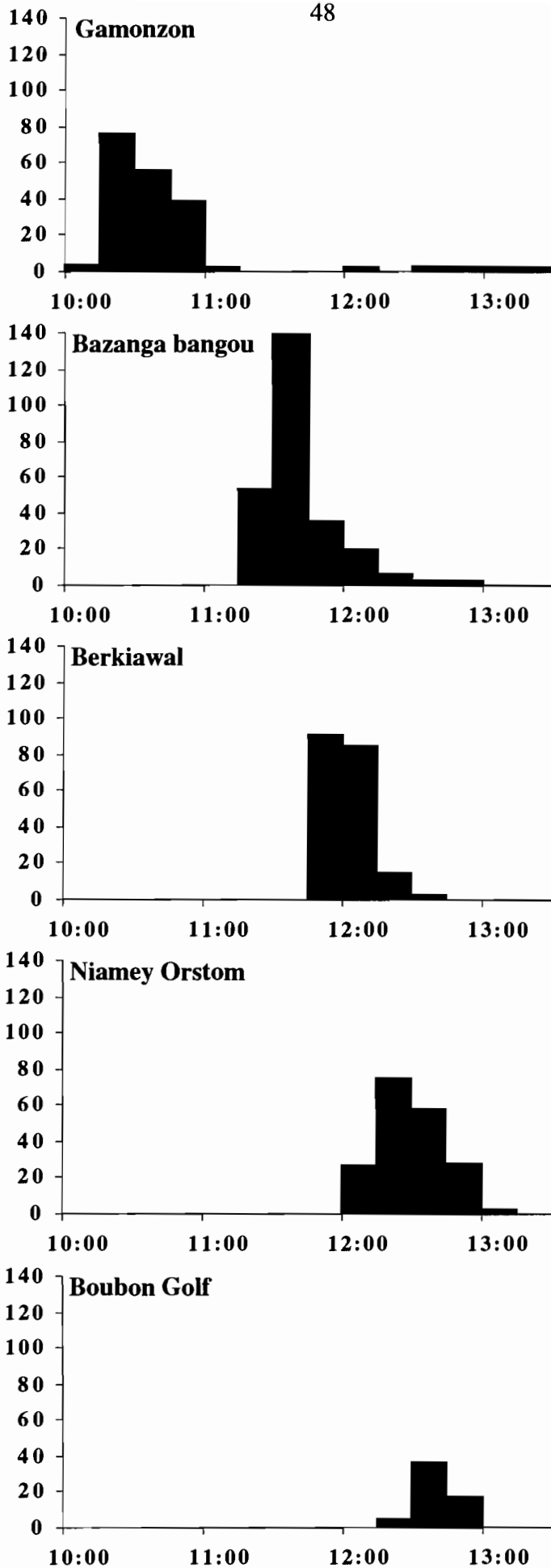


Figure 34: Hyétogramme de l'épisode du 9 juin 1996 pour 5 stations définissant un transect est-ouest.

CONCLUSIONS

La saison des pluies 1996 a été normale par rapport à la période 1968-94. Elle est caractérisée par un déficit important de pluie au mois de mai, et par une forte sécheresse intra-saisonnière au mois de juillet, mais ce retard pluviométrique sera comblé par des pluies abondantes entre août et octobre.

Les caractéristiques de la climatologie sahélienne sont, cette année une fois de plus, mises en évidence :

- grande hétérogénéité spatiale à tous les pas de temps,
- inversion importante, au niveau local et même régional, du gradient climatologique de grande échelle,
- présence d'une petite sécheresse intra-saisonnière au mois de juillet.

mais des caractéristiques nouvelles sont apparues, tel que la difficulté de la détermination du variogramme à l'échelle saisonnière (forte pépité, absence de portée ou portée très faible) et l'absence de véritable ligne de grain cette année. On peut supposer que le manque de systèmes convectifs de mésoéchelle bien structurés peut influencer fortement sur le variogramme, mais les conditions météorologiques qui favorisent le développement et le déplacement d'une ligne de grain plutôt qu'un système convectif de mésoéchelle peu ou pas structuré ne sont pas encore élucidées. Les études actuelles ne nous ont pas encore permis d'avoir le recul nécessaire pour savoir si à cumul saisonnier identique, l'absence ou la présence de lignes de grain crée réellement, en terme de climatologie, une différence fondamentale.

Le traitement des données d'EPSAT-Niger, commencé de façon systématique à partir de mi-94, a déjà porté sur un certain nombre de thèmes englobant les études au sol mais aussi les études radar et satellitaires. Cette recherche sera poursuivie ces prochaines années dans le cadre du groupe PRAO de l'Orstom (PRécipitations en Afrique de l'Ouest) en continuant de traiter les nouvelles acquisitions de données pluviométriques du réseau EPSAT-Niger, dans la mesure du possible, et en mettant l'effort sur les thèmes portant sur :

- la caractérisation et classification des champs pluvieux à toutes les échelles de temps et d'espace,
- la caractérisation d'une climatologie des données sol à partir d'indices simples comme les fréquences d'intensité, les seuils pluviométriques, la structure des événements en fonction de leur extension spatiale,
- la validation des estimations satellitaires infrarouge, et l'optimisation des erreurs d'estimation surfacique des pluies à partir du réseau sol.
- l'application des résultats dans des modèles hydrologiques régionaux.

La saison 1996 a été la première campagne dont le but principal a été le suivi pluviométrique à long terme, avec un réseau réduit qui devrait être maintenu les années suivantes dans le cadre de financements en grande partie extérieurs à l'Orstom (FIRMA voire TRMM si Niamey est choisi comme zone de validation). A partir de 1997, l'Orstom se désengagera progressivement de la partie expérimentale au profit du personnel de la Direction de la Météorologie du Niger qui devront petit à petit avoir la maîtrise de la partie terrain et de la partie traitement préliminaire des données, des collaborations entre les différentes équipes au Niger et en France devraient continuer dans le cadre de FIRMA.

REFERENCES

Bouvier, C., 1986: Etude du ruissellement urbain à Niamey, tome 3, Interprétation des données. Rapport général de convention ORSTOM/ MRH-DRE/ CIEH, 106p.

Carbonnel J.P., Hubert P., Walbadet E., Mermoud A. et Bariac T., 1990: Variabilité spatiale des précipitations soudano-sahéliennes à l'échelle décamétrique. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 311, Série II, p.1425-1430.

Goutorbe J.P., T. Lebel, A. Tinga, P. Bessemoulin, J. Brouwer, H. Dolman, E.T. Engman, J.H.C. Gash, M. Hoepffner, P. Kabat, Y.H. Kerr, B. Monteny, S. Prince, F. Saïd, P. Sellers, J. Wallace, 1994: HAPEX-SAHEL: a large-scale study of land-atmosphere interactions in the semi-arid tropics. *Annales Geophysicae* 12, p 53-64.

Lebel T., F. Cazenave, R. Gathelier, M. Gréard, R. Gualde, J. Kong, T. Valero, 1991: EPSAT-NIGER, Rapport de campagne 1990, ORSTOM-DMN, 65p.

Simpson J., Adler, R.F. and North G.R., 1988: A proposed Tropical Measuring Mission (TRMM) satellite. *Bull. Am. Met. Soc.* 69, p. 278-295.

Taupin J.D., A. Amani and T. Lebel, 1993a: Small scale spatial variability of the annual rainfall in the Sahel in: Bolle H.- J., Feddes, R.A. and Kalma, J. (Editors). *Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Space and Time Scales* (Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993). IAHS Publ. N° 212, p. 563-602.

Taupin J.D., T. Lebel, F. Cazenave, F. Chiron, R. Gathelier, M. Gréard, R. Gualde, J. Kong, T. Valero, 1992: EPSAT-NIGER, Rapport de campagne 1991, ORSTOM-DMN, 82p.

Taupin J.D., T. Lebel, F. Cazenave, M. Gréard, J. Kong, J. Lecocq, M. Adamson, N. d'Amato, A. Ben Mohamed, 1993b: EPSAT-NIGER, Rapport de campagne 1992, ORSTOM-DMN, 91p.

Taupin J.D., E. Bonef, M. Gréard, O. Ponsel, 1995a: EPSAT-NIGER-ARCOL, Rapport de campagne 1993, ORSTOM-DMN, 101 p.

Taupin J.D., E. Bonef, J. Robin, 1995b: EPSAT-NIGER- Suivi à long terme, Rapport de campagne 1994, ORSTOM-DMN, 81 p.

Taupin J.D., C. Laroche et J. Robin, 1996. EPSAT-NIGER suivi à long terme, Rapport de campagne 1995, ORSTOM-DMN, 82p.

ANNEXES

ANNEXE 1. GESTION DU RESEAU DE PLUVIOGRAPHES ET INVENTAIRE DES PANNES
--

Coût de fonctionnement de la campagne 96

Chapitre 690

-Petit matériel (réinstallation-installation)	1.000 FF
- Batteries et régulateurs	2.000 FF
- Carburant-Essence-Gasoil-Huile	25.000 FF
- Déplacement personnel local (164 jours de tournées)	8.000 FF
- Photocopie-papetterie-disquette-téléphone	5.000 FF
- Maintenance informatique	5.000 FF
Total	46.000 FF

Chapitre 644 et FIRMA

Gardiennage des stations	20.000 FF
--------------------------	-----------

Au cours de la saison 96, les équipes de terrain ont effectué 164 jours de tournées pour les réinstallations, les nouvelles installations, les visites de contrôle et d'entretien, et le démontage des stations, ce qui représente 45.000 km.

- Les réinstallations ont débuté le 25-03-1996 (GUILAHEL),
- La fin du démontage a eu lieu le 08-11-1996 (BOLOLADIE).

Jours de fonctionnement des stations : du 1 avril au jour de son démontage.

Jours de fonctionnement	7962
Jours de panne	108
Jours d'enregistrement	7854
Soit un taux de panne de	1,40 %

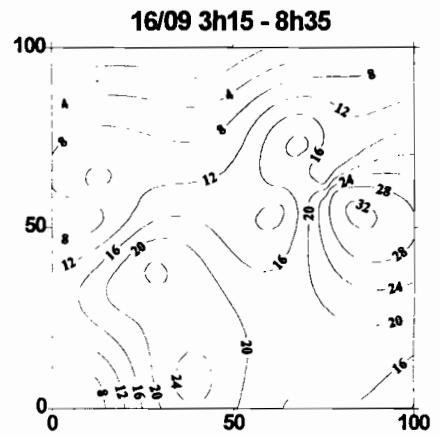
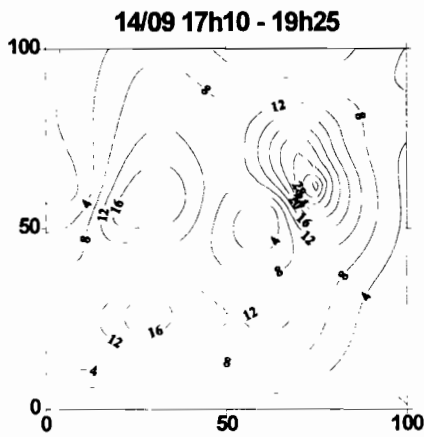
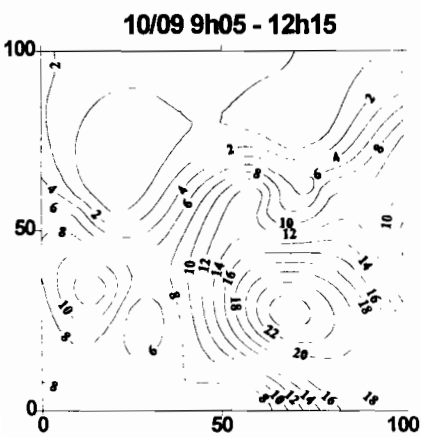
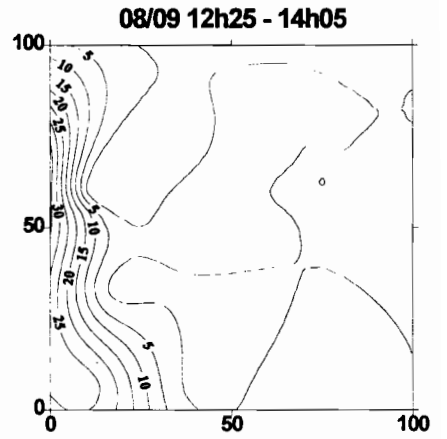
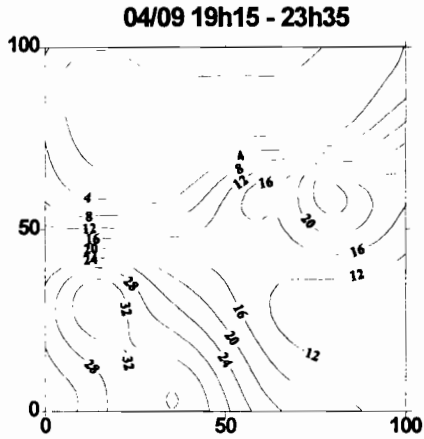
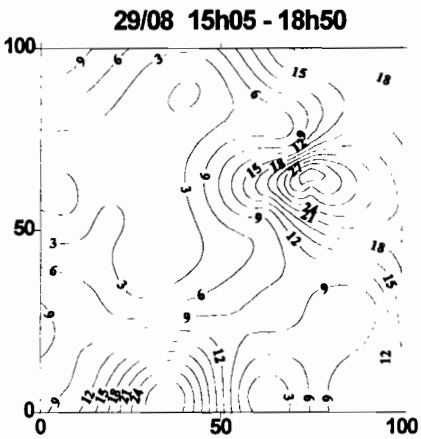
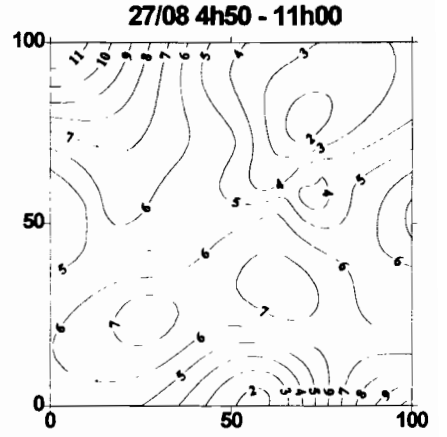
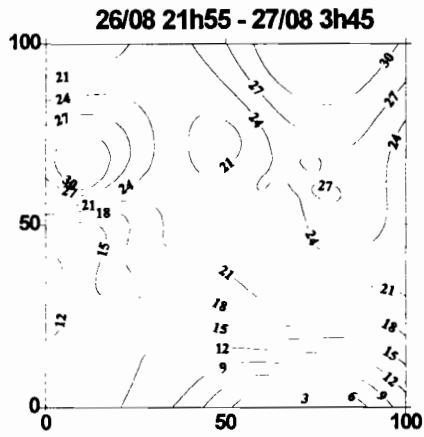
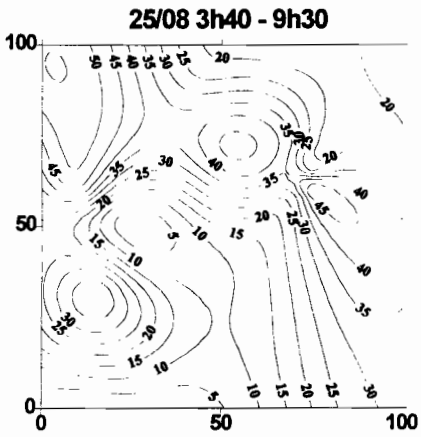
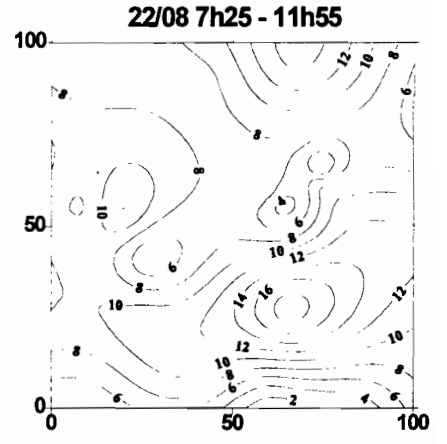
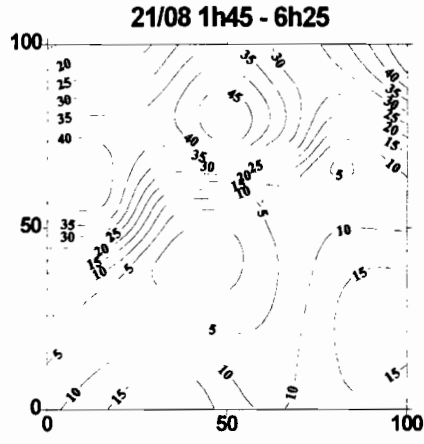
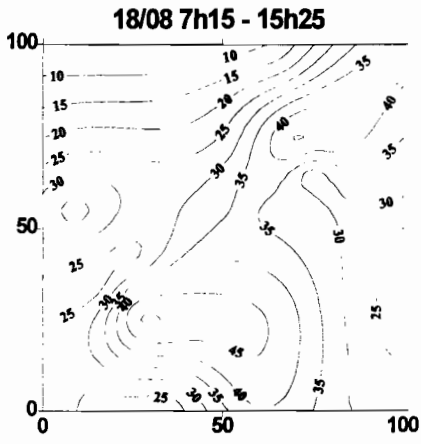
Causes des pannes en détail

<u>Pluvio</u>	
entonnoir bouché	4
augets bloqués	19
vandalisme	12
<u>Alimentation</u>	
panneau solaire	27
batterie et régulateur	
<u>Enregistreur</u>	
œdipe défectueux	46
cartouche défectueuse	
<u>Total</u>	108

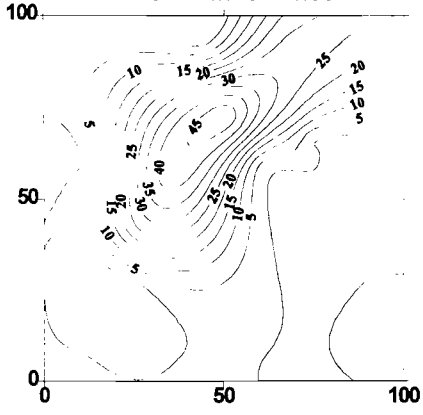
Causes des pannes	Nombre de jours	% des pannes
Pluvio	35	32,4
Alimentation	27	25,0
Enregistreur	46	42,6

Tableau A-1.1: Jours de fonctionnement et causes de pannes.

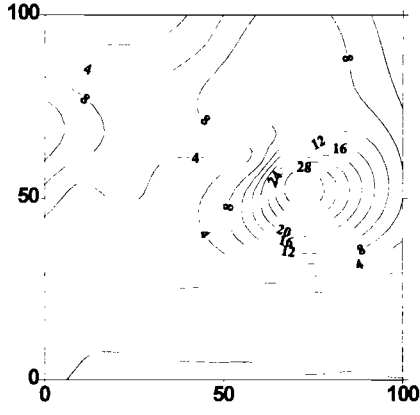
Station	Jours fonctionnement	Jours pannes	Jours enregistrés	%Jours pannes	CAUSES PANNES
Alkama	201	0	201	0,0	
Banizoumbou	233	19	214	8,1	augets bloqués
Bazanga	211	0	211	0,0	
Beri Koira	203	0	203	0,0	
Berkiawel	203	0	203	0,0	
Bogdjottou	206	0	206	0,0	
Bololadie	228	0	228	0,0	
Boubon	216	0	216	0,0	
BrousseTigree	215	0	215	0,0	
Darey	198	2	196	1,0	entonnoir bouché
Debere Gati	227	0	227	0,0	
Fandou Beri	233	0	233	0,0	
Gamonzon	218	0	218	0,0	
Gardama	194	11	183	5,7	oedipe défectueux
Gorou Goussa	194	0	194	0,0	
Guilahel	228	0	228	0,0	
Hama Jachere	214	0	214	0,0	
Harikanassou	218	0	218	0,0	
IH Jachere	228	12	216	5,3	vandalisme sur capteur
Kaligorou	200	0	200	0,0	
Kare	228	27	201	11,8	panneau solaire H.S.
Kokorbe Fandou	197	0	197	0,0	
Kollo	224	0	224	0,0	
Koure Kobade	213	0	213	0,0	
Koure Sud	213	0	213	0,0	
Koyria	216	0	216	0,0	
Mali Djibo	214	0	214	0,0	
Massi Koubou	203	0	203	0,0	
Niamey Aeroport	240	35	205	14,6	oedipe défectueux
Niamey IRI	220	0	220	0,0	
Niamey Orstom	226	2	224	0,9	augets bloqués
SD Bagou	214	0	214	0,0	
Sandideye	218	0	218	0,0	
Tanaberi	224	0	224	0,0	
Torodi	228	0	228	0,0	
Wankama	203	0	203	0,0	
Yillade	213	0	213	0,0	



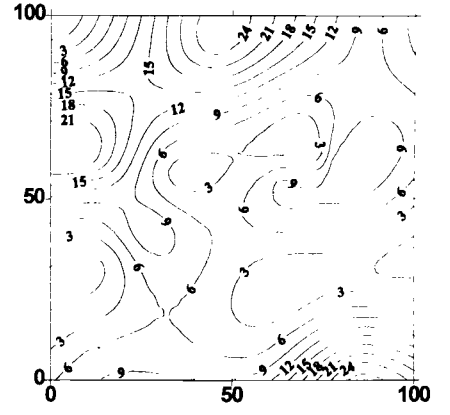
19/09 4h15 - 7h00



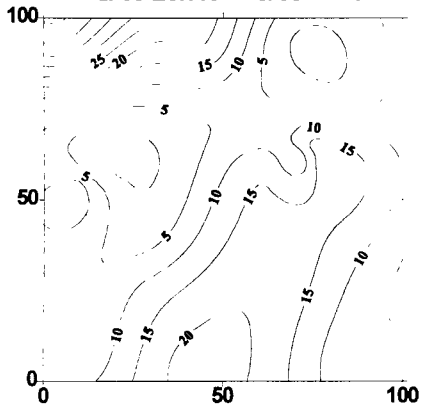
28/09 1h15 - 4h05



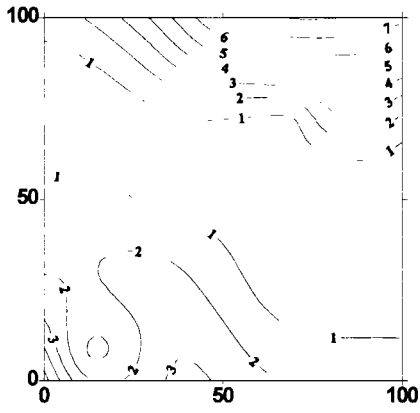
06/10 22h35 - 07/10 1h50



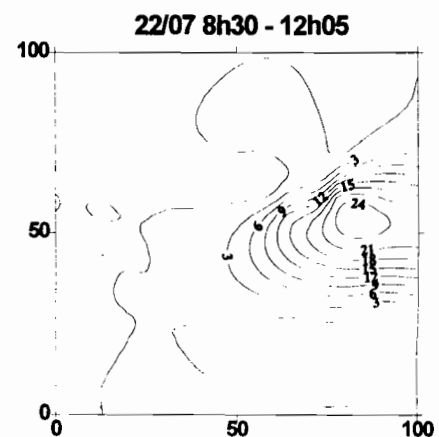
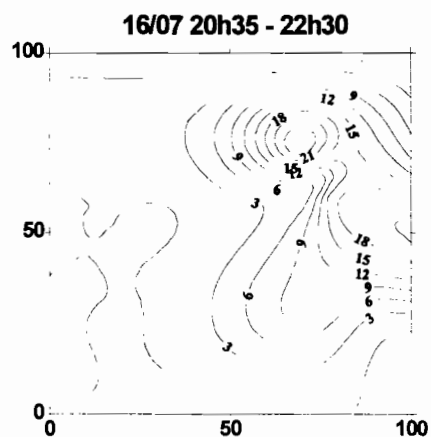
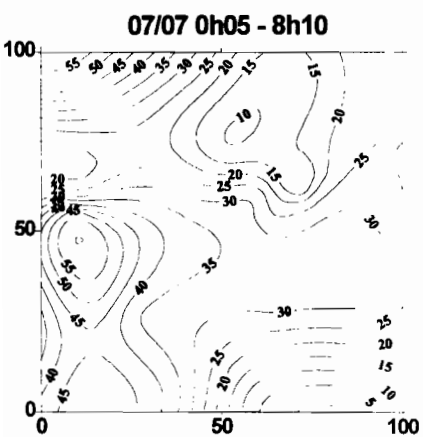
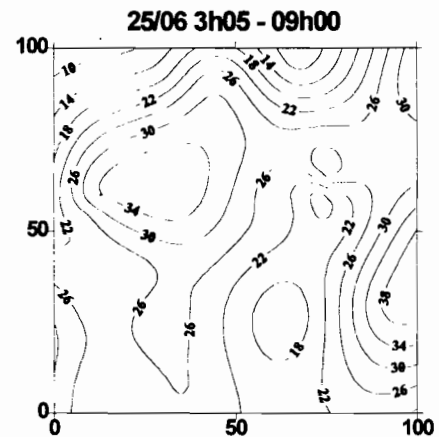
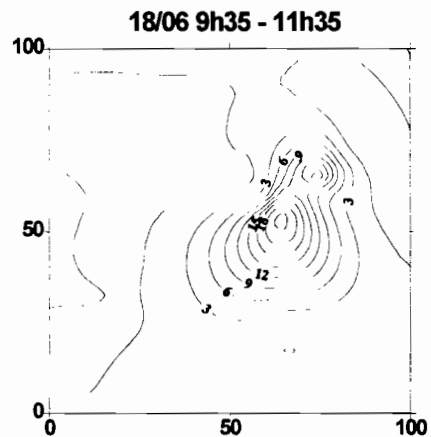
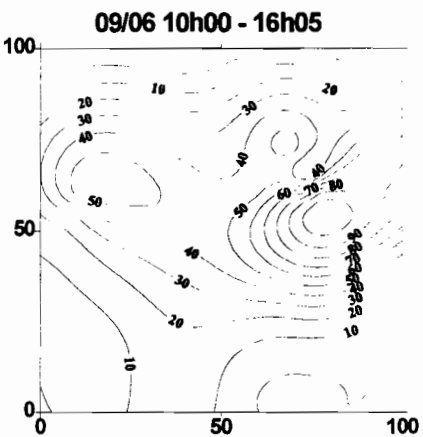
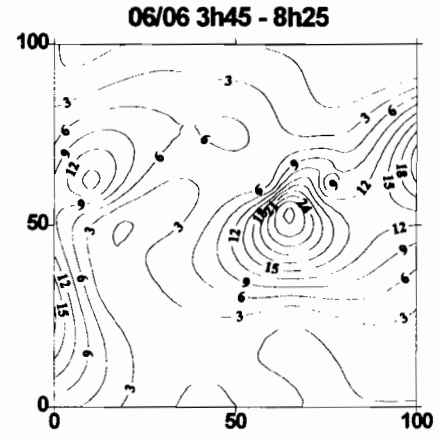
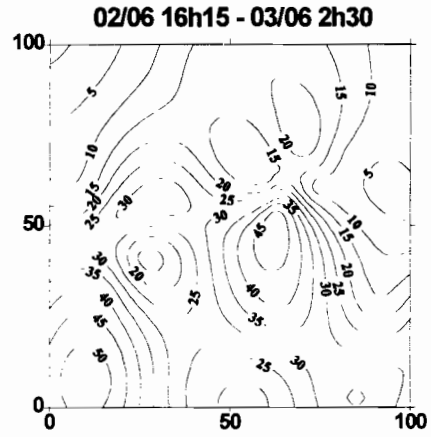
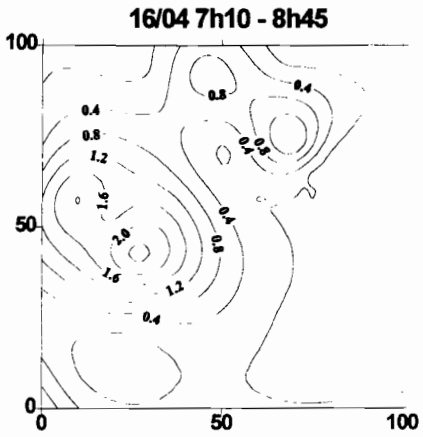
12/10 20h45 - 13/10 1h25

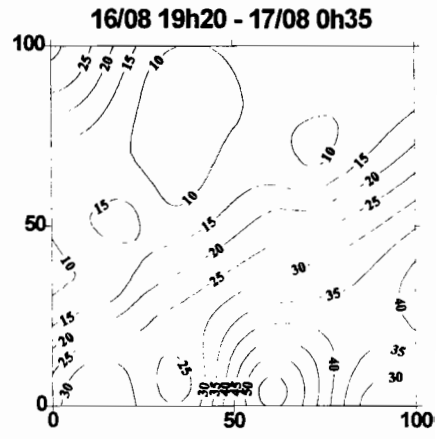
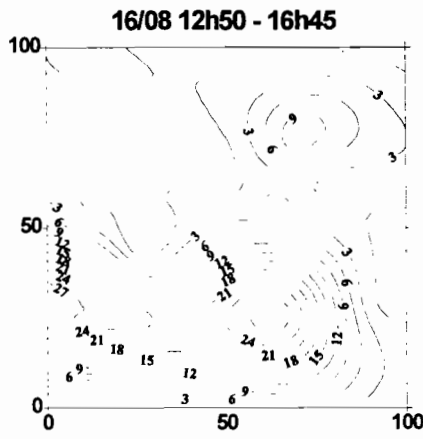
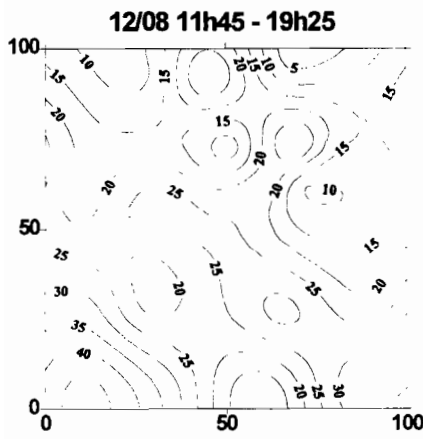
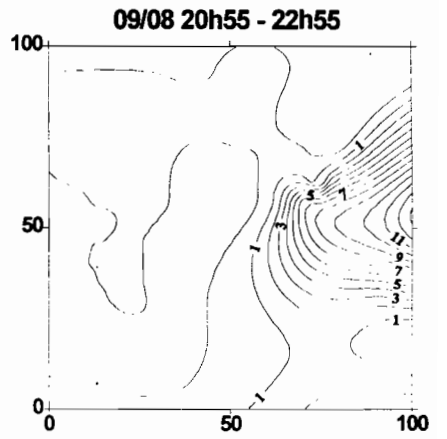
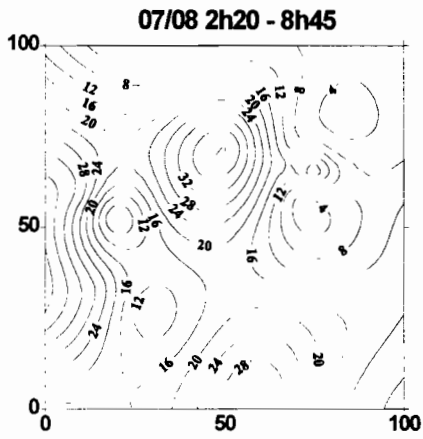
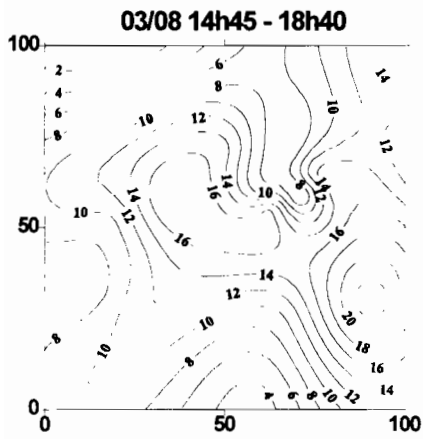
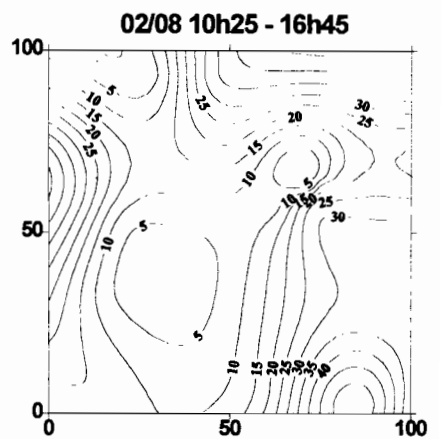
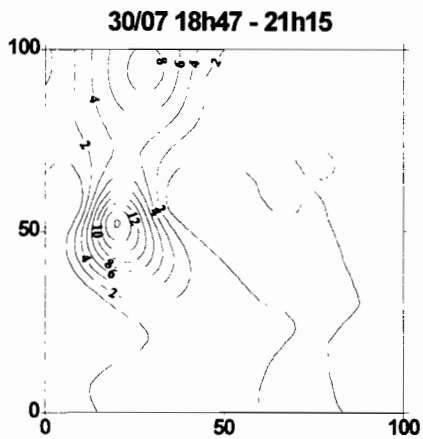
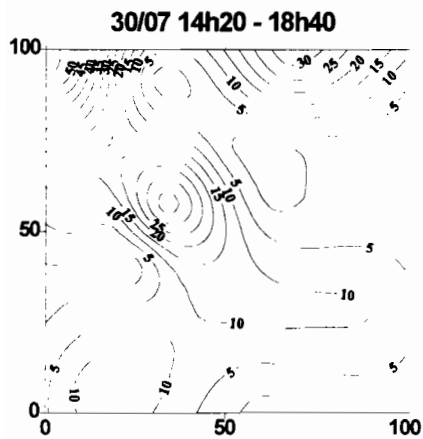
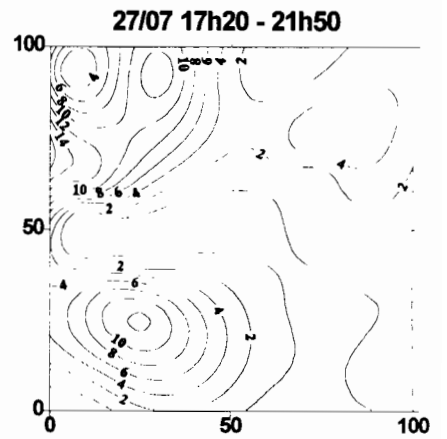
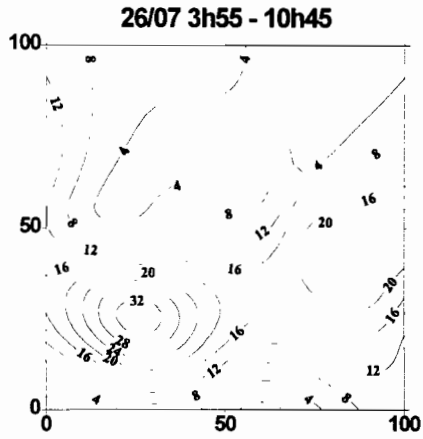
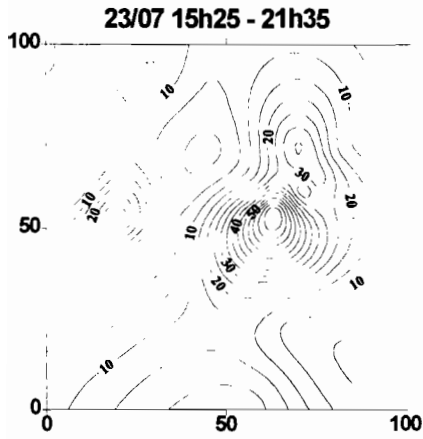


13/10 6h05 - 8h20



ANNEXE 2.
ISOHYETES DES 38 EPISODES DE LA SAISON 1996





ANNEXE 3. TABLEAUX DE CUMULS JOURNALIERS

Pluies journalieres corrigees par les valeurs seuu (de 6h a 6h) en 1/10 mm

Station : Banizoumbou en 1996

Jour	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
. 1	()	.	.
. 2	131.	.	192.	()	.	.
. 3	14.	59.	()	.	.
. 4	()	.	.
. 5	145.	.	.	()	.	--
. 6	9.	163.	34.	()	45.	--
. 7	5.	10.	()	.	--
. 8	()	.	--
. 9	714.	.	54.	()	.	--
.10	()	.	--
.11	()	.	--
.12	108.	()	90.	--
.13	()	.	--
.14	()	.	--
.15	()	.	--
.16	4.	.	.	51.	148.	(830)	.	--
.17	5.	5.	.	.	--
.18	117.	.	320.	17.	.	--
.19	--
.20	64.	.	.	--
.21	5.	.	.	--
.22	98.	59.	.	.	--
.23	216.	.	.	.	--
.24	131.	.	274.	.	.	--
.25	33.	103.	50.	.	.	--
.26	39.	246.	.	.	--
.27	5.	34.	319.	.	--
.28	5.	.	.	--
.29	84.	.	()	.	.	--
.30 .	^^^^^^	()	.	.	--
.31 .	^^^^^^	.	^^^^^^	.	^^^^^^	^^^^^^	.	()	^^^^^^	^^^^	--
.Cum.	.	.	.	4.	.	1364.	699.	1667.	1166.	135.	.
.Max.	.	.	.	4.	.	714.	216.	320.	319.	90.	.

Total sur la periode de fonctionnement = 5035

Pluies journalieres corrigees par les valeurs seuu (de 6h a 6h) en 1/10 mm

Station : Gardana Kouara en 1996

Jour	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
. 1	. ---	. ---	. ---	. --- ()	.	. --	.
. 2	. ---	. ---	. ---	. ---	.	111.	.	45. ()	.	. --	.
. 3	. ---	. ---	. ---	. ---	.	5.	10.	50. (610)	.	. --	.
. 4	. ---	. ---	. ---	. ---	.	15.	.	.	.	. --	.
. 5	. ---	. ---	. ---	. ---	.	30.	.	.	.	. --	.
. 6	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	336.	40.	.	165.	. --
. 7	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	15.	5.	.	. --	.
. 8	. ---	. ---	. ---	. --- --	.
. 9	. ---	. ---	. ---	. ---	.	35.	.	.	.	. --	.
.10	. ---	. ---	. ---	. ---	12.	. --	.
.11	. ---	. ---	. ---	. ---	.	10.	.	.	.	. --	.
.12	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	50.	105.	.	191.	. --
.13	. ---	. ---	. ---	. ---	24.	. --
.14	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	.	35.	90.	. --	.
.15	. ---	. ---	. ---	. ---	5.	. --	.
.16	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	.	90.	.	. --	.
.17	. ---	. ---	. ---	. --- --	.
.18	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	.	100.	15.	. --	.
.19	. ---	. ---	. ---	. ---	5.	. --	.
.20	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	.	291.	5.	. --	.
.21	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	.	10.	.	. --	.
.22	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	15.	75.	.	. --	.
.23	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	151.	5.	.	. --	.
.24	. ---	. ---	. ---	. ---	254.	133.	. ()	.	.	. --	.
.25	. ---	. ---	. ---	. ---	5.	32.	. ()	.	.	. --	.
.26	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	55. (198)	.	.	. --	.
.27	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	135. ()	.	.	. --	.
.28	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	5. ()	.	.	. --	.
.29	. ---	. ---	. ---	. ---	.	.	. ()	.	.	. --	.
.30	. ---	^^^^^^	. ---	. ---	76.	. ---	90. ()	. ---	. ---	. --	.
.31	. ---	^^^^^^	. ---	^^^^^^	.	^^^^^^	. ()	^^^^^^	. ---	^^^^	.
.Cum.	335.	371.	862.	1049.	742.	380.	.
.Max.	254.	133.	336.	291.	90.	191.	.

Total sur la periode de fonctionnement = 3739

Pluies journalieres corrigees par les valeurs seuu (de 6h a 6h) en 1/10 mm

Station : Koyria en 1996

Jour	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
. 1 .	---	---	---	--
. 2 .	---	---	---	96.	.	.	--
. 3 .	---	---	---	.	.	15.	215.	80.	.	.	--
. 4 .	---	---	---	.	.	5.	.	.	332.	.	--
. 5 .	---	---	---	--
. 6 .	---	---	---	.	.	231.	236.	296.	.	25.	--
. 7 .	---	---	---	.	.	50.	10.	76.	.	.	--
. 8 .	---	---	---	.	.	60.	.	.	196.	.	--
. 9 .	---	---	---	--
.10 .	---	---	---	35.	180.	--
.11 .	---	---	---	.	.	75.	.	.	.	.	--
.12 .	---	---	---	181.	.	85.	--
.13 .	---	---	---	126.	.	--
.14 .	---	---	---	--
.15 .	---	---	---	--
.16 .	---	---	---	.	88.	.	10.	230.	.	.	--
.17 .	---	---	---	--
.18 .	---	---	---	143.	.	.	--
.19 .	---	---	---	91.	.	--
.20 .	---	---	---	41.	.	.	--
.21 .	---	---	---	10.	.	.	--
.22 .	---	---	---	.	.	.	256.	133.	.	.	--
.23 .	---	---	---	--
.24 .	---	---	---	.	85.	.	.	.	.	.	--
.25 .	---	---	---	.	.	94.	35.	316.	.	.	--
.26 .	---	---	---	.	.	.	196.	306.	.	.	--
.27 .	---	---	---	.	.	.	799.	102.	.	.	--
.28 .	---	---	---	.	.	5.	.	.	.	.	--
.29 .	---	---	---	112.	237.	.	--
.30 .	---	^^^^^^	---	.	.	.	40.	.	34.	.	--
.31 .	---	^^^^^^	---	^^^^^^	.	^^^^^^	.	.	^^^^^^	---	^^^
.Cum.	173.	535.	1797.	2122.	1051.	290.	
.Max.	88.	231.	799.	316.	332.	180.	

Total sur la periode de fonctionnement = 5968

Pluies journalieres corrigees par les valeurs seuu (de 6h a 6h) en 1/10 mm

Station : Niamey ORSTOM en 1996

-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Jour	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
. 1	--
. 2	130.	.	283.	.	.	--
. 3	10.	120.	.	.	--
. 4	39.	.	5.	42.	.	--
. 5	118.	.	.	.	.	--
. 6	25.	284.	245.	.	205.	--
. 7	36.	45.	.	.	--
. 8	--
. 9	493.	.	.	.	.	--
.10	21.	.	--
.11	--
.12	303.	176.	.	5.	--
.13	5.	.	5.	--
.14	50.	24.	.	--
.15	9.	.	.	.	.	53.	.	--
.16	19.	.	.	26.	120.	53.	.	--
.17	4.	.	.	.	--
.18	345.	.	.	--
.19	15.	.	--
.20	()	.	.	--
.21	(404)	.	.	--
.22	18.	87.	.	.	--
.23	45.	.	.	.	--
.24	20.	258.	.	13.	.	.	--
.25	60.	35.	417.	.	.	--
.26	32.	60.	299.	.	.	--
.27	78.	56.	285.	.	--
.28	---	--
.29	---	--
.30 .	.	^^^^^^	92.	.	85.	---	--
.31 .	.	^^^^^^	.	^^^^^^	.	^^^^^^	5.	.	^^^^^^	---	^^^
.Cum.	.	.	.	28.	20.	1155.	996.	2670.	578.	215.	
.Max.	.	.	.	19.	20.	493.	303.	417.	285.	205.	

Total sur la periode de fonctionnement = 5662

Pluies journalieres corrigees par les valeurs seuu (de 6h a 6h) en 1/10 mm

Station : Niamey IRI en 1996

Jour	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
. 1	15.	.	.	--
. 2	173.	.	110.	.	.	--
. 3	5.	105.	.	.	--
. 4	54.	.	.	60.	.	--
. 5	34.	.	.	.	.	--
. 6	45.	450.	215.	.	151.	--
. 7	45.	55.	.	.	--
. 8	105.	.	--
. 9	341.	.	.	.	.	--
.10	50.	.	--
.11	--
.12	233.	180.	.	92.	--
.13	10.	--
.14	30.	45.	.	--
.15	15.	.	--
.16	21.	15.	.	40.	145.	50.	.	--
.17	--
.18	364.	.	.	--
.19	22.	.	--
.20	404.	.	.	--
.21	5.	.	.	--
.22	5.	80.	6.	---	--
.23	84.	.	.	---	--
.24	5.	213.	.	.	.	---	--
.25	54.	99.	290.	.	---	--
.26	89.	59.	205.	.	---	--
.27	55.	257.	---	--
.28	---	--
.29	5.	.	---	--
.30 .	.	^^^^^^	96.	.	^^^^^^	---	--
.31 .	.	^^^^^^	.	^^^^^^	.	^^^^^^	.	.	^^^^^^	---	--
.Cum.	.	.	.	21.	20.	1003.	1116.	2263.	610.	253.	
.Max.	.	.	.	21.	15.	341.	450.	404.	257.	151.	

Total sur la periode de fonctionnement = 5286

Pluies journalieres corrigees par les valeurs seuil (de 6h a 6h) en 1/10 mm

Station : Torodi en 1996

Jour	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov
. 1	. ---	. ---	. ---
. 2	. ---	. ---	. ---	.	.	. 308.	. 30.	.	. 5.	.	.
. 3	. ---	. ---	. ---	.	.	. 14.	.	. 79.	.	.	.
. 4	. ---	. ---	. --- 123.	.	.
. 5	. ---	. ---	. --- 10.	.
. 6	. ---	. ---	. ---	.	.	. 144.	. 462.	. 139.	.	. 19.	.
. 7	. ---	. ---	. --- 52.	. 60.	.	.	.
. 8	. ---	. ---	. --- 60.	.	. --
. 9	. ---	. ---	. ---	.	.	. 202.	.	.	.	.	. --
.10	. ---	. ---	. --- 174.	.	. --
.11	. ---	. ---	. --- --
.12	. ---	. ---	. --- 94.	. 5.	. 111.	. --
.13	. ---	. ---	. ---	.	. 71.	.	.	. 5.	.	. 14.	. --
.14	. ---	. ---	. --- 5.	. 44.	. 30.	.	. --
.15	. ---	. ---	. --- 5.	. 110.	.	. --
.16	. ---	. ---	. ---	. 29.	.	.	.	. 69.	. 100.	.	. --
.17	. ---	. ---	. --- --
.18	. ---	. ---	. --- 281.	.	.	. --
.19	. ---	. ---	. ---	.	. 202.	.	.	.	.	.	. --
.20	. ---	. ---	. --- 74.	.	.	. --
.21	. ---	. ---	. --- 5.	.	.	. --
.22	. ---	. ---	. --- 69.	. 158.	. 249.	.	. --
.23	. ---	. ---	. --- 30.	.	.	.	. --
.24	. ---	. ---	. ---	.	.	. 104.	.	.	.	.	. --
.25	. ---	. ---	. ---	.	.	. 64.	. 79.	. 10.	.	.	. --
.26	. ---	. ---	. ---	.	.	. 25.	. 149.	. 237.	.	.	. --
.27	. ---	. ---	. --- 5.	. 54.	. 25.	.	. --
.28	. ---	. ---	. --- --
.29	. ---	. ---	. ---	.	.	. 64.	.	. 59.	.	.	. --
.30	. ---	^^^^^^	. --- 328.	.	.	.	. --
.31	. ---	^^^^^^	. ---	^^^^^^	.	^^^^^^	. 5.	. 5.	^^^^^^	.	^^^^
.Cum. 29.	. 273.	. 925.	. 1214.	. 1378.	. 881.	. 154.	.
.Max. 29.	. 202.	. 308.	. 462.	. 281.	. 249.	. 111.	.

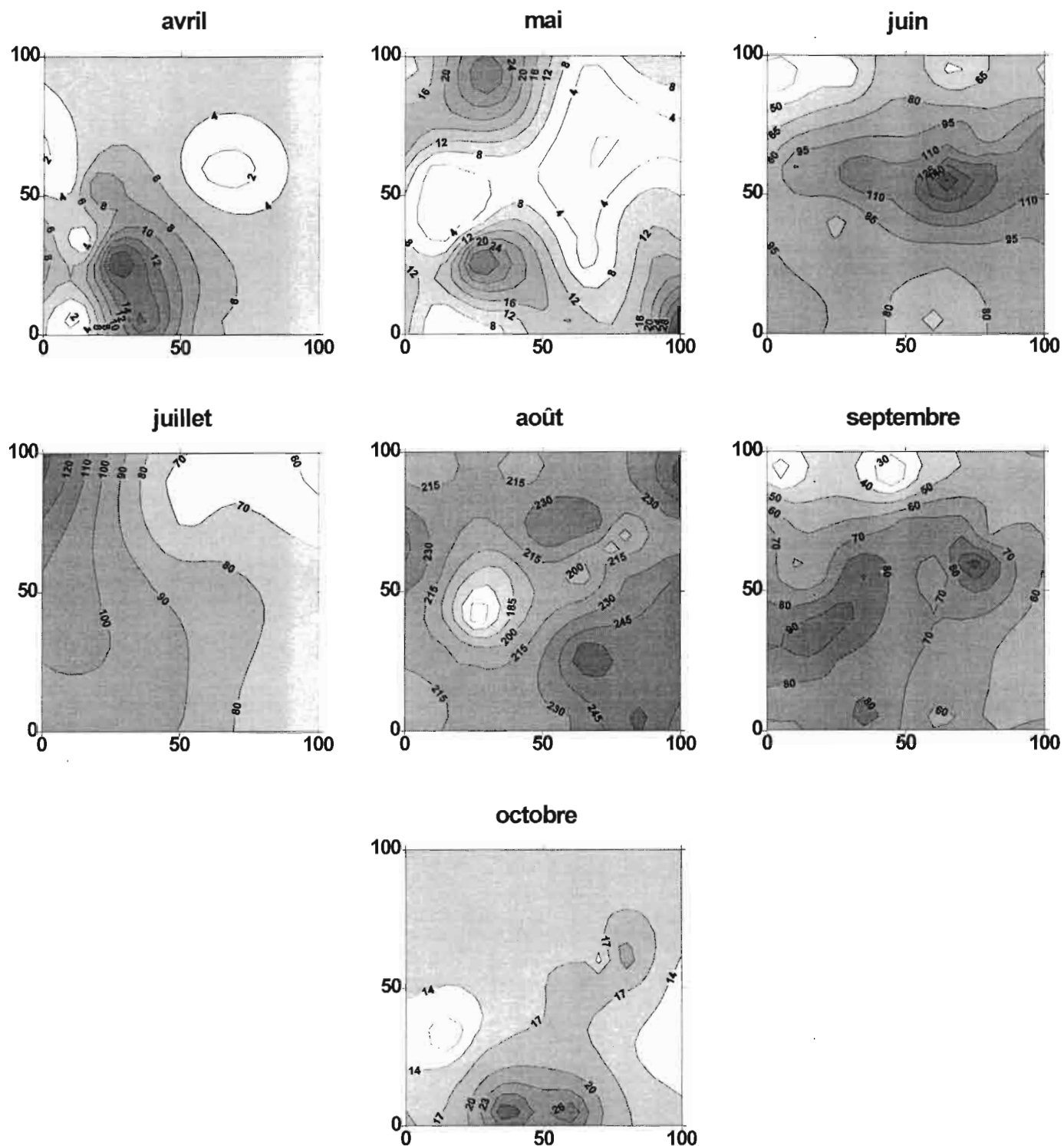
Total sur la periode de fonctionnement = 4854

ANNEXE 4.
CUMULS MENSUELS

Tableau A-4.1: Cumuls mensuels enregistrés aux 37 stations du réseau (cône de réception 1,50 m au-dessus du sol) pour les mois d'avril à octobre 1996.

Station	n° epsat	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre
Alkama	43	6,2	0,0	56,0	45,2	284,8	58,1	15,1
Banizoumbou	11	0,4	0,0	136,4	69,9	lacune	lacune	13,5
Bazanga Bangou	5	0,5	0,0	185,6	115,1	184,8	62,7	21,5
Beri Koira	21	2,5	6,0	92,1	33,7	253,7	81,2	13,3
Berkiawel	28	2,4	5,0	129,1	104,5	174,7	93,5	3,2
Bogdjottou	412	4,5	32,4	122,1	120,5	157,3	57,8	27,5
Bololadie	84	21,4	20,0	114,9	57,6	219,2	111,6	7,0
Boubon Golf	85	0,0	25,3	50,3	101,2	272,2	95,7	24,6
Brousse Tigree	401	0,0	1,0	140,8	91,3	230,3	105,9	23,9
Darey	18	0,0	0,0	85,7	70,0	192,4	56,6	16,7
Debere Gati	25	0,0	4,1	106,7	84,7	212,4	70,6	16,5
Fandou Beri	9	1,0	0,0	121,4	80,4	206,1	64,1	16,7
Gamonzon	34	0,0	5,5	112,0	103,5	295,2	46,8	3,5
Gardana Kouara	50	0,0	33,5	37,1	86,2	lacune	lacune	38,0
Gorou Goussa	80	0,0	11,1	12,9	148,9	203,4	19,1	44,5
Guilahel	49	1,0	3,2	83,0	140,3	213,4	102,0	6,5
Hama jachère	411	0,9	0,9	116,4	77,8	222,8	107,1	16,6
Harikanassou	41	0,0	17,0	86,8	73,2	257,2	52,4	10,5
IH Jachere hapex I	105	21,0	36,7	lacune	96,6	211,8	79,1	16,8
Kaligorou	61	10,8	0,0	168,5	56,9	207,8	57,1	19,0
Kare	29	18,0	8,0	85,1	lacune	lacune	85,3	34,4
Kokorbe Fandou	73	0,0	2,5	40,9	77,2	217,0	46,3	33,5
Kollo	54	7,8	2,0	74,3	82,6	132,1	97,0	13,5
Koure Kobade	26	1,3	67,8	91,5	105,8	213,2	63,9	28,5
Koure Sud	51	7,7	1,3	82,0	88,1	279,0	67,5	19,0
Koyria	82	0,0	17,3	53,5	179,7	212,2	105,1	29,0
Mali Djibo	269	0,0	0,0	110,5	56,2	201,1	105,3	9,9
Massi Koubou	78	0,9	17,2	79,5	46,0	208,5	12,8	51,4
Niamey Aeroport	94	10,8	2,4	lacune	lacune	190,3	64,7	14,2
Niamey IRI	83	2,1	2,0	100,3	111,6	226,3	61,0	25,3
Niamey ORSTOM	70	2,8	2,0	115,5	99,6	267,0	57,8	21,5
Sandideye	57	0,0	7,4	102,3	51,0	268,3	39,0	4,0
SD Bagou	410	0,5	0,0	99,5	75,3	188,6	80,9	19,4
Tanaberi	32	6,2	16,7	58,6	101,0	228,5	57,7	30,1
Torodi	86	2,9	27,3	92,5	121,4	137,8	88,1	15,4
Wankama	116	1,8	0,0	109,0	98,0	239,5	78,6	9,4
Yillade	35	0,0	15,0	83,0	40,1	268,4	58,9	35,0

Figure A-4.1: Cartes mensuelles d'isohyètes obtenues par krigeage des 37 stations du réseau de (cône de réception 1,50 m au-dessus du sol) pour les mois d'avril à octobre 1996.



ANNEXE 5.
CUMULS SAISONNIERS SUR 15 POSTES DU RESEAU DU NIGER

long.	lat.	mm	station
7.98	16.97	72.2	AGADEZ
12.92	18.68	0.5	BILMA
5.28	13.80	533.1	BIRNI N KONNI
12.62	13.42	235.4	DIFFA
3.45	11.88	821.6	GAYA
10.30	13.98	285.2	GOURE
8.93	12.98	513.8	MAGARIA
11.98	13.23	445.5	MAINE-SOROA
7.08	13.47	478.2	MARADI AERO
2.15	13.48	485.0	NIAMEY AEROPORT
2.13	13.50	566.3	NIAMEY ORSTOM
13.12	14.25	190.1	N GUIGMI
3.30	14.90	343.7	TAHOUA
1.45	14.20	401.6	TILLABERY
8.98	13.78	280.7	ZINDER

ANNEXE 6.
LISTE DES VARIOGRAMMES MODELISES

1- Variogrammes par evenements

No evenement	Modele	Pepite	Portee	Palier
1	exponentiel	0	20	0,8
2	linéaire	70	1,2	
3	exponentiel	10	20	85
4	sphérique	0	65	800
5	linéaire	23	0,2	
6	exponentiel	0	20	75
7	exponentiel	0	35	240
8	linéaire	17	0,35	
9	exponentiel	0	8	35
10	sphérique	0	10	220
11	sphérique	0	45	70
12	puissance	0	3	1,5
13	gaussien	0	20	150
14	puissance	0	0,15	1,15
15	sphérique	0	40	200
16	sphérique	0	30	15
17	sphérique	0	20	80
18	sphérique	0	40	10
19	sphérique	0	30	90
20	sphérique	0	30	70
21	gaussien	0	45	200
22	exponentiel	0	18	90
23	sphérique	0	30	70
24	sphérique	0	13	40
25	linéaire	100	1,8	
26	sphérique	0	70	45
27	sphérique	0	40	3,5
28	sphérique	0	60	110
29	sphérique	30	40	105
30	sphérique	0	30	100
31	exponentiel	0	30	45
32	sphérique	0	5,3	130
33	puissance	0	3,2	0,7
34	sphérique	0	40	150
35	exponentiel	0	10	70
36	sphérique	0	30	65
37	sphérique	0	40	70
38	exponentiel	0	3,2	20

2- Variogrammes decadaires

No decade	Modele	Pepite	Portee	Palier
climatique	exponentiel	0	15	1
1 11-20/04	exponentiel	0	25	35
2 21-30/04	sphérique	0	20	15
3 01-10/05	gaussien	0	30	12
4 11-20/05	linéaire	10	0.7	
5 21-31/05	exponentiel	0	30	70
6 01-10/06	exponentiel	0	20	1100
7 11-20/06	linéaire	30	0.7	
8 21-30/06	exponentiel	0	17	100
9 01-10/07	exponentiel	0	20	250
10 11-20/07	linéaire	60	0.4	
11 21-31/07	puissance	140	1	1.42
12 01-10/08	exponentiel	0	20	500
13 11-20/08	sphérique	300	60	780
14 21-31/08	linéaire	200	4	
15 01-10/09	exponentiel	0	20	300
16 11-20/09	exponentiel	0	10	400
17 21-30/09	exponentiel	40	20	110
18 01-10/10	gaussien	0	23	75
19 11-20/10	gaussien	0	30	80

3- Variogrammes mensuels

Mois	Modele	Pepite	Portee	Palier
Avril	exponentiel	0	15	75
Mai	sphérique	0	45	150
Juin	exponentiel	0	15	1450
Juillet	puissance	200	1.1	1.52
Aout	exponentiel	0	15	1400
Septembre	exponentiel	0	15	600
octobre	exponentiel	0	10	60

ANNEXE 7. LISTE DES FICHIERS CRES LORS DU TRAITEMENT DES DONNEES PLUVIOGRAPHIQUES
--

Tableau A-7.1: Liste des fichiers .oe3, images cartouches.

alkama1	oe3	gardana1	oe3	kouresu2	oe3
alkama2	oe3	gardana2	oe3	kouresu3	oe3
alkama3	oe3	gardana3	oe3	kouresu4	oe3
alkama4	oe3	gardana4	oe3	koyria1	oe3
banizou1	oe3	gardana5	oe3	koyria2	oe3
banizou2	oe3	gorougo1	oe3	koyria3	oe3
banizou3	oe3	gorougo2	oe3	koyria4	oe3
banizou4	oe3	gorougo3	oe3	malidji1	oe3
bazanga1	oe3	gorougo4	oe3	malidji2	oe3
bazanga2	oe3	guilaha1	oe3	malidji3	oe3
bazanga3	oe3	guilaha2	oe3	massiko1	oe3
bazanga4	oe3	guilaha3	oe3	massiko2	oe3
berikoi1	oe3	guilaha4	oe3	massiko3	oe3
berikoi2	oe3	hajache1	oe3	massiko4	oe3
berikoi3	oe3	hajache2	oe3	niameya1	oe3
berikoi4	oe3	hajache3	oe3	niameya2	oe3
berkiaw1	oe3	hajache4	oe3	niameya4	oe3
berkiaw2	oe3	harikan1	oe3	niameya5	oe3
berkiaw3	oe3	harikan2	oe3	orstom1	oe3
berkiaw4	oe3	harikan3	oe3	orstom2	oe3
bogdjot1	oe3	harikan4	oe3	orstom3	oe3
bogdjot2	oe3	ihjache1	oe3	orstom4	oe3
bogdjot3	oe3	ihjache2	oe3	sandide1	oe3
bogdjot4	oe3	ihjache3	oe3	sandide2	oe3
bololad1	oe3	ihjache4	oe3	sandide3	oe3
bololad2	oe3	ihjache5	oe3	sandide4	oe3
bololad3	oe3	iri1	oe3	sdbagou1	oe3
bololad4	oe3	iri2	oe3	sdbagou2	oe3
boubon1	oe3	iri3	oe3	sdbagou3	oe3
boubon2	oe3	iri4	oe3	sdbagou4	oe3
boubon3	oe3	kaligor1	oe3	tanaber1	oe3
brousse1	oe3	kaligor2	oe3	tanaber2	oe3
brousse2	oe3	kaligor3	oe3	tanaber3	oe3
brousse3	oe3	kaligor4	oe3	tanaber4	oe3
brousse4	oe3	kare1	oe3	torodi1	oe3
darey1	oe3	kare2	oe3	torodi2	oe3
darey2	oe3	kare3	oe3	torodi3	oe3
darey3	oe3	kare4	oe3	torodi4	oe3
darey4	oe3	kare5	oe3	wankama1	oe3
debereg1	oe3	kokorbe1	oe3	wankama2	oe3
debereg2	oe3	kokorbe2	oe3	wankama3	oe3
debereg3	oe3	kokorbe3	oe3	wankama4	oe3
debereg4	oe3	kokorbe4	oe3	yillade1	oe3
debereg5	oe3	kollo1	oe3	yillade2	oe3
fandoub1	oe3	kollo2	oe3	yillade3	oe3
fandoub2	oe3	kollo3	oe3	yillade4	oe3
fandoub3	oe3	kollo4	oe3		
fandoub4	oe3	koureko1	oe3		
gamonzo1	oe3	koureko2	oe3		
gamonzo2	oe3	koureko3	oe3		
gamonzo3	oe3	koureko4	oe3		
gamonzo4	oe3	kouresu1	oe3		

Tableau A-7.2: Liste des fichiers .lab, images cartouches.

alkama1	lab	gardana1	lab	kouresu4	lab
alkama2	lab	gardana2	lab	koyria1	lab
alkama3	lab	gardana5	lab	koyria2	lab
alkama4	lab	gorougo1	lab	koyria3	lab
banizou1	lab	gorougo2	lab	koyria4	lab
banizou2	lab	gorougo3	lab	malidji1	lab
banizou3	lab	gorougo4	lab	malidji2	lab
banizou4	lab	guilahe1	lab	malidji3	lab
bazanga1	lab	guilahe2	lab	massiko1	lab
bazanga2	lab	guilahe3	lab	massiko2	lab
bazanga3	lab	guilahe4	lab	massiko3	lab
bazanga4	lab	hajache1	lab	massiko4	lab
berikoi1	lab	hajache2	lab	niameya1	lab
berikoi2	lab	hajache3	lab	niameya4	lab
berikoi3	lab	hajache4	lab	niameya5	lab
berikoi4	lab	harikan1	lab	orstom1	lab
berkiaw1	lab	harikan2	lab	orstom2	lab
berkiaw2	lab	harikan3	lab	orstom3	lab
berkiaw3	lab	harikan4	lab	orstom4	lab
berkiaw4	lab	ihjache1	lab	sandide1	lab
bogdjot1	lab	ihjache2	lab	sandide2	lab
bogdjot2	lab	ihjache3	lab	sandide3	lab
bogdjot3	lab	ihjache4	lab	sandide4	lab
bogdjot4	lab	ihjache5	lab	sdbagou1	lab
bololad1	lab	iri1	lab	sdbagou2	lab
bololad2	lab	iri2	lab	sdbagou3	lab
bololad3	lab	iri3	lab	sdbagou4	lab
bololad4	lab	iri4	lab	tanaber1	lab
boubon1	lab	kaligor1	lab	tanaber2	lab
boubon2	lab	kaligor2	lab	tanaber3	lab
boubon3	lab	kaligor3	lab	tanaber4	lab
brousse1	lab	kaligor4	lab	torodi1	lab
brousse2	lab	kare1	lab	torodi2	lab
brousse3	lab	kare2	lab	torodi3	lab
brousse4	lab	kare3	lab	torodi4	lab
darey1	lab	kare4	lab	wankama1	lab
darey2	lab	kare5	lab	wankama2	lab
darey3	lab	kokorbe1	lab	wankama3	lab
darey4	lab	kokorbe2	lab	wankama4	lab
debereg1	lab	kokorbe3	lab	yillade1	lab
debereg2	lab	kokorbe4	lab	yillade2	lab
debereg3	lab	kollo1	lab	yillade3	lab
debereg4	lab	kollo2	lab	yillade4	lab
debereg5	lab	kollo3	lab		
fandoub1	lab	kollo4	lab		
fandoub2	lab	koureko1	lab		
fandoub3	lab	koureko2	lab		
fandoub4	lab	koureko3	lab		
gamonzo1	lab	koureko4	lab		
gamonzo2	lab	kouresu1	lab		
gamonzo3	lab	kouresu2	lab		
gamonzo4	lab	kouresu3	lab		

Tableau A-7.3: Liste des fichiers .txt, créés et gérés par BADINAGE, banque de données pluviographiques.

alkama	txt	guilae	txt	orstom	txt
banizou	txt	hajache	txt	sdbagou	txt
bazanga	txt	harikan	txt	sandide	txt
berikoi	txt	ihjache	txt	tanaber	txt
berkiaw	txt	iri	txt	torodi	txt
bogdjot	txt	kaligor	txt	wankama	txt
bololad	txt	kare	txt	yillade	txt
boubon	txt	kokorbe	txt		
brousse	txt	kollo	txt		
darey	txt	koureko	txt		
debereg	txt	kouresu	txt		
fandoub	txt	koyria	txt		
gamonzo	txt	malidji	txt		
gardana	txt	massiko	txt		
gorougo	txt	niameya	txt		