

EPSAT

N I G E R

Vers une estimation
des précipitations
par satellite au Sahel

EPSAT-NIGER CAMPAGNE 1991



Jean Denis TAUPIN, Thierry LEBEL, Frederic CAZENAVE, Franck CHIRON,
Robert GATHELIER, Michel GREARD, René GUALDE, Joseph KONG, Thierry VALERO

ORSTOM



DMN



EPSAT-NIGER

CAMPAGNE 1991

Jean Denis TAUPIN, Thierry LEBEL, Frederic CAZENAVE, Franck CHIRON,
Robert GATHELIER, Michel GREARD, René GUALDE, Joseph KONG, Thierry VALERO

ORSTOM

DMN

Février 1992



S O M M A I R E

1. L'expérience EPSAT-NIGER en 1991	1	
2. Ce qu'il faut retenir de la campagne 1991	3	
3. Le réseau de pluviographes	11	
4. Traitement des données pluviographiques	21	
5. Les données radar	43	
6. La ligne de grains du 20 août 1991	51	
7. Conclusions	61	
Références		
Annexe 1	Gestion du réseau du pluviographes	A-1.1
Annexe 2	Déroulement de la campagne radar	A-2.1
Annexe 3	Protocole d'acquisition des données radar	A-3.1
Annexe 4	Liste des stations ayant fonctionné en continu sur la période 15 avril - 15 octobre	A-4.1
Annexe 5	Isohyètes des cumuls par épisode	A-5.1
Annexe 6	Cumuls mensuels	A-6.1
Annexe 7	Liste des fichiers créés lors du traitement des données pluviographiques	A-7.1

Un annuaire des pluies journalières enregistrées aux 101 postes du réseau EPSAT-NIGER en 1991 a été édité et est disponible auprès du centre ORSTOM de Niamey.

I

L'EXPERIENCE EPSAT-NIGER EN 1991

L'expérience EPSAT-NIGER, a été mise sur pied par l'ORSTOM, en association avec la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Niger, et le Laboratoire d'Aérodologie de Toulouse. Grâce à l'utilisation conjointe d'un réseau dense de pluviographes à mémoire statique, et d'un radar météorologique bande C, elle permet, pour la première fois et depuis 1989, d'étudier la répartition des précipitations en milieu sahélien aux petites échelles de temps et d'espace. Ceci présente un intérêt particulier pour les hydrologues, agronomes, météorologues et modélisateurs du climat, du fait que la distribution spatiale et temporelle des précipitations est un facteur conditionnant de façon majeure le bilan hydrique de ces régions. Les buts propres de l'expérience sont donc à la fois d'améliorer nos connaissances sur les systèmes précipitants sahéliens, de mettre au point des algorithmes d'estimation optimale des pluies, et de développer des méthodes d'extension spatiale utilisant les données de télédétection (Lebel et al., 1992). Par ailleurs, EPSAT-NIGER a constitué un projet précurseur pour l'expérience HAPEX-SAHÉL (Goutorbe et al., 1992). En 1991, le réseau de pluviographes de 1990 a été modifié et enrichi pour couvrir les trois supersites de HAPEX-SAHÉL. En 1992, le dispositif de EPSAT-NIGER sera totalement intégré à celui de HAPEX-SAHÉL.

La zone d'étude se situe dans les environs de Niamey (fig. 1), entre les longitudes 1°40 et 3° E d'une part, les latitudes 13 et 14°N d'autre part, soit un peu plus de 16 000 km². Elle est incluse dans le cercle de 100 kilomètres autour du radar météorologique de 5 cm de longueur d'onde (EEC WR 100-5), de l'aéroport de Niamey.

Les travaux préliminaires ont démarré en 1988 avec l'installation des premiers pluviographes et l'utilisation du radar de la DMN, dans sa configuration non numérisée. En 1989, les travaux d'installation des pluviographes se sont poursuivis, et en fin de saison des pluies 80 sites étaient équipés, assurant une couverture complète et régulière du degré carré (Roux, 1990). Parallèlement, le radar était doté d'une chaîne de numérisation, de visualisation couleur et d'archivage dénommée SANAGA (Système d'Acquisition Numérique pour l'Analyse des Grains Africains; H. Sauvageot et G. Despaux, 1990). Cette pré-campagne avait débouché sur l'élaboration en 1990 d'un protocole d'alerte associant les protectionnistes de l'aéroport et les chercheurs de l'ORSTOM (Lebel et al., 1991). Ce protocole a été repris pour la campagne 1991.

PLUIE MOYENNE ANNUELLE SUR LE NIGER (en mm).

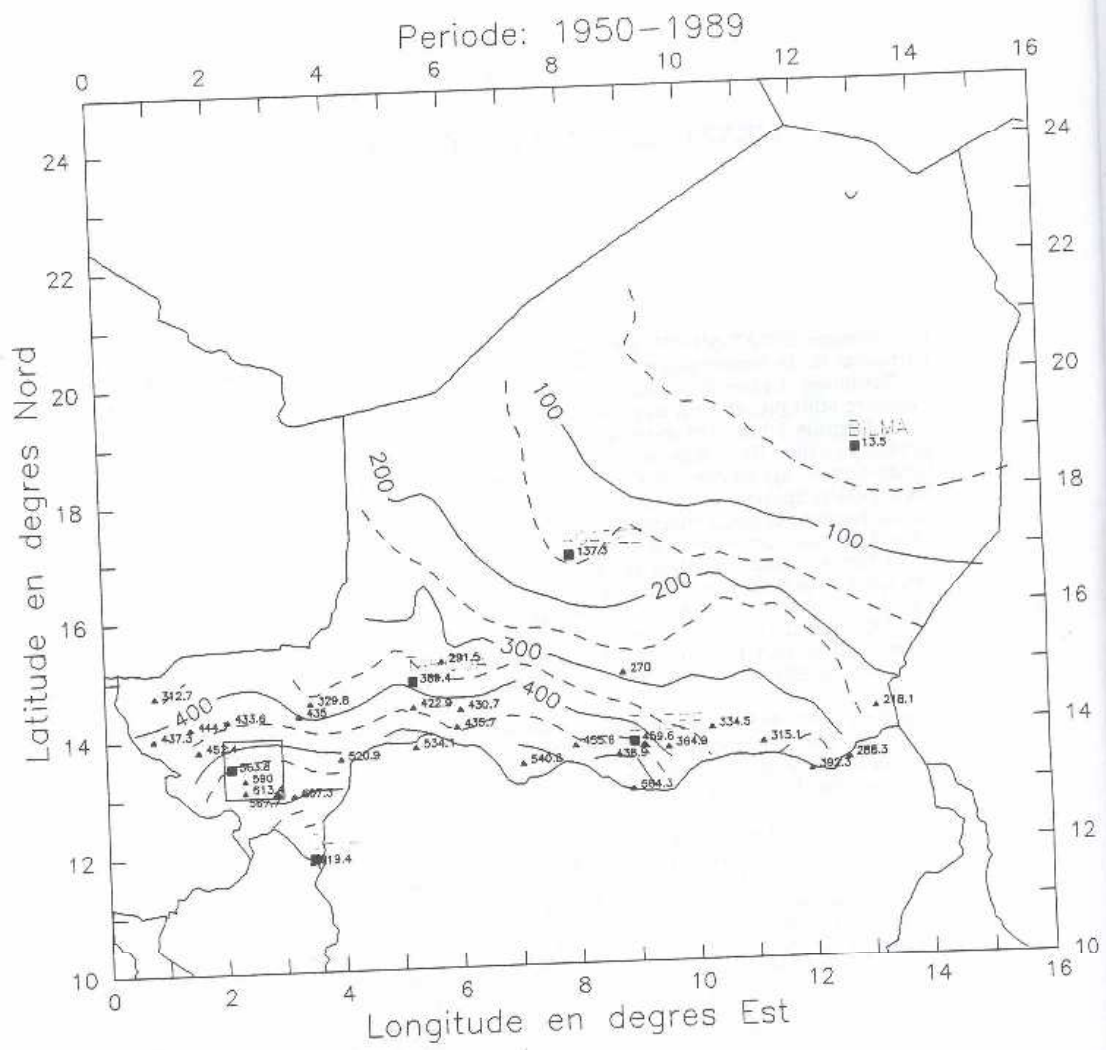


Figure 1. Situation de la zone d'étude de EPSAT-NIGER. La zone d'étude initiale est le carré figurant en bas à gauche, et dans lequel se trouve Niamey (N). Les isohyètes interannuelles sont de 500 mm au nord de la zone et 600 mm au sud.

2

CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA CAMPAGNE 1991

☛ La saison des pluies 1991 a été plutôt excédentaire sur une bonne partie du Sahel, en particulier sur le Niger. En comparant les isohyètes de l'année 1991 (fig. 2) aux isohyètes interannuelles de ces quarante dernières années (fig. 1), on remarque un décalage de celles-ci de 100 mm vers le nord (par exemple l'isohyète 500 mm de 1991 occupe sensiblement la position de l'isohyète interannuelle 400 mm). Ceci n'exclut pas des poches de sécheresse, notamment en Mauritanie et dans le nord du Sénégal.

PLUIE MOYENNE SAISON 91 SUR LE NIGER (en mm).

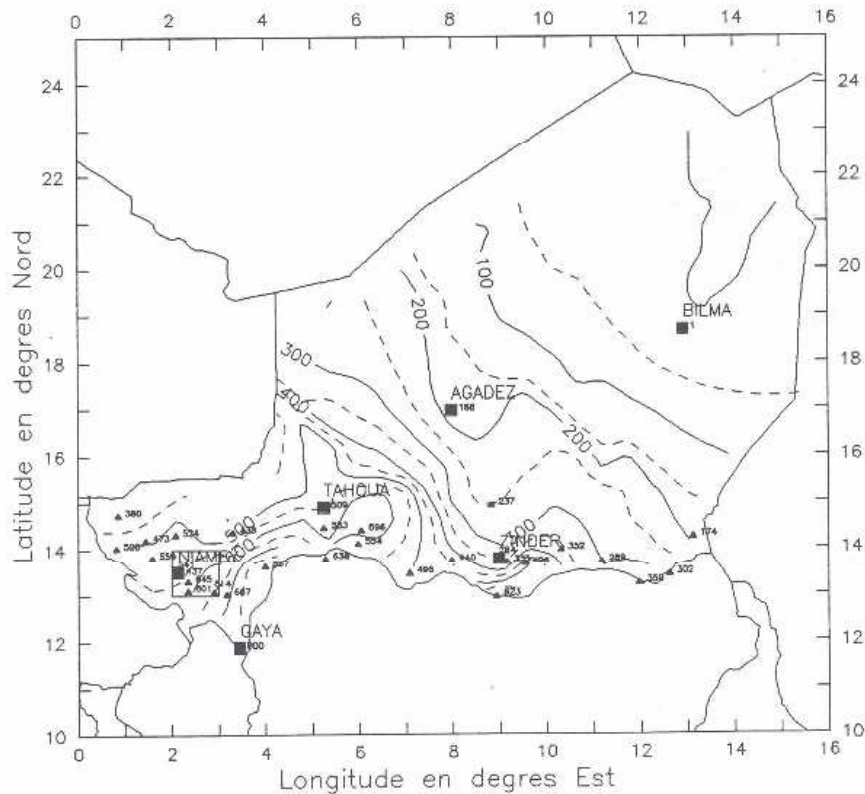


Figure 2. Isohyètes de l'année 1991 sur le Niger. Données du réseau national.

Dans la région de Niamey, la pluviométrie a été proche de sa valeur moyenne sur les 40 dernières années, comme tend à le montrer la figure 3. On remarquera néanmoins l'importance du déficit enregistré au mois de juillet (phénomène semblable à celui observé en 1990 comme le rappelle la figure 4a), succédant à un démarrage précoce et abondant de la saison des pluies. La dispersion des cumuls mensuels aux 3 stations de Niamey est également à noter (fig. 4b). En total annuel (période Avril - Octobre) on a mesuré 431 mm à Niamey-Aéroport, 591 mm à Niamey-Ville, et 541 mm à Niamey-Orstom. Or la moyenne sur la période 1950-1989 est de 564 mm à Niamey-Ville et de 590 mm à Niamey-Aéroport. On a donc un excédent de 30 mm à Niamey-Ville et un déficit de 160 mm à 15 kilomètres de là. Ceci confirme l'impossibilité de conclure à l'abondance relative de la saison des pluies à partir des relevés à une seule station.

La première pluie localisée a été observée le 14 avril (limitée à quelques stations de la zone centrale), et la première pluie de grande extension spatiale le 28 avril. La dernière pluie significative date du 4 octobre, une pluie limitée à Niamey-Aéroport s'étant encore produite le 16 octobre. On peut donc évaluer la pluie moyenne sur l'ensemble de la zone d'expérience en considérant la période 15 avril - 15 octobre comme étant celle de la saison des pluies. On obtient une valeur de 520 mm environ (tableau 1), à comparer avec 420 mm environ en 1990, et 550 mm pour la période de référence 1950-1989 (Lebel et Al., 1991). **Sur la région d'étude, la saison 1991 s'inscrit donc dans la normale des quarante dernières années, au moins pour ce qui est du total annuel.**

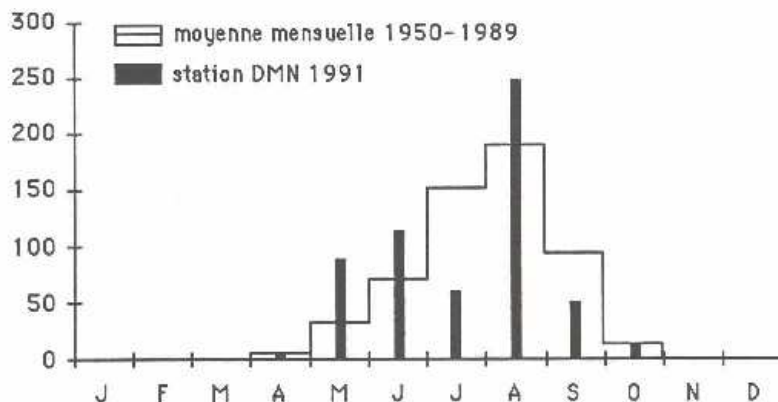


Figure 3. Hyétogramme mensuel de 1991 à Niamey-Ville rapporté au hyétogramme moyen de la période 1950-1989.

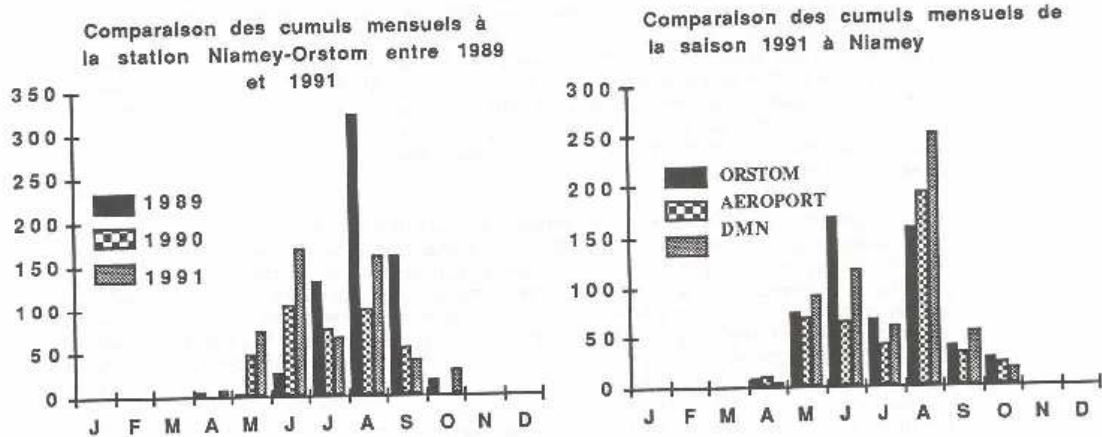


Figure 4. Hyétogrammes des pluies mensuelles à Niamey : a) pour les trois années de l'expérience EPSAT-NIGER (1989-1991) à la station Niamey-ORSTOM; b) pour trois stations de Niamey pendant l'année 1991.

Tableau 1. Cumul moyen des précipitations sur le degré carré pour la saison 1991.

Cumul	15.05 / 01.10	15.04 / 15.10
82 stations krigées	467,1	—
Sous ensemble des 82 stations krigées (52)	450,9	522,4
Somme des moyennes krigées de tous les événements majeurs	42 événements 462,6	46 événements 519,3
82 stations krigées + somme des événements krigés en dehors de la période de référence	—	528,8

Compte tenu du démarrage précoce de la saison et de certaines difficultés dans la réinstallation des appareils, la carte des isohyètes de la saison des pluies (fig. 5), a été obtenue à partir de 52 postes seulement. Du 15 mai au 1 octobre, 82 valeurs de cumul sont disponibles (tableau 1). Le cumul minimum observé a été de 341 mm à Timborano Soli (72), dans le nord de la zone d'étude (13°50'), et le maximum de 725 mm à Sekoukou (55) dans le sud (13°16').

☛ **Sur le plan expérimental**, la campagne 1991 n'a pas beaucoup différé de celle de 1990. Le taux de panne des pluviographes a été de 9,3 %, correspondant à 1476 jours d'observation manquants sur 15991 potentiels. En ce qui concerne le radar, la source principale de problèmes a encore une fois été l'alimentation électrique. A partir du 20 août il a été possible de disposer de l'alimentation à partir des onduleurs qui assurent l'intégrité de l'alimentation des organes vitaux de l'aéroport (liaisons radio et éclairage de piste notamment). Les veilles se sont alors déroulées dans des conditions de stabilité très satisfaisante.

☛ **Les banques de données sol et radar** sont maintenant opérationnelles. Le logiciel de la banque de données radar (BADORA) a permis une intégration des données dans la banque après chaque veille. Un travail important de critique, exigé par les problèmes d'acquisition, a permis de créer une sous-banque constitué de 8 épisodes qui pourront être étudiés en profondeur. La première version du logiciel de banque de données sol (BADINAGE) a été mis en œuvre et testé. La banque est organisée autour du concept 'images sol', qui permet une analogie complète avec les données radar, et donc des procédures de stockage et d'accès similaires. La maintenance et la gestion simultanées des banques s'en trouvent simplifiées, la superposition des données facilitée. Quelques fonctionnalités nouvelles seront ajoutées en 1992, notamment la possibilité de créer une sous banque de données journalières (ou pluri-journalières), corrigée des rapports valeurs seuil/ valeurs augets (voir sur ce point, la section 3.6)

☛ **Un nouveau volet concernant l'étude des teneurs en isotopes lourds des précipitations (^{18}O , ^2H) a été mis en place.** Le suivi a concerné 2 stations (15, Yelouma et 102, Sama Dey village) distantes d'une quinzaine de km et situées sur un axe NE-SO, correspondant au sens de déplacement des lignes de grains. L'échantillonnage s'est effectué après chacun des principaux événements pluvieux (27). Les résultats devraient donner des informations sur l'état physique de la couche atmosphérique sous le nuage précipitant (pluie en équilibre avec l'atmosphère), sur les variations spatio-temporelles des teneurs isotopiques suivant le type de pluie et suivant les conditions météorologiques, et sur une recharge possible du système précipitant par de la vapeur locale.

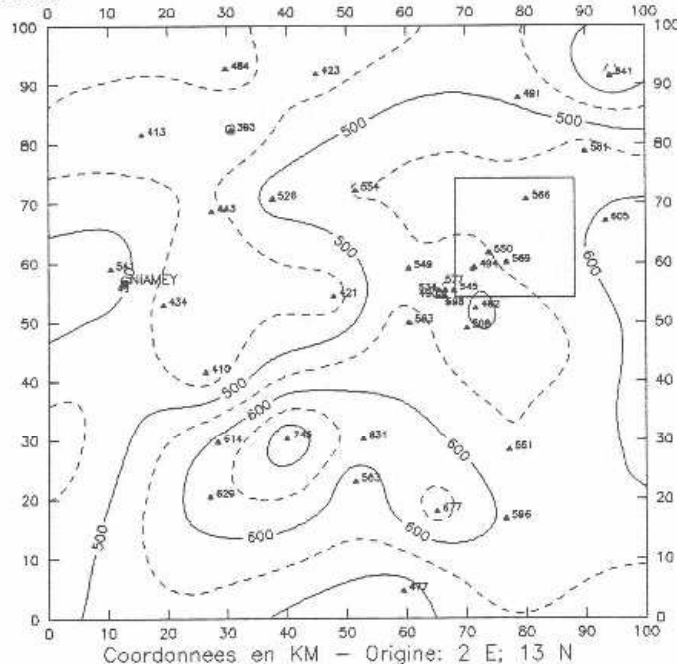


Figure 5. Isohyètes des cumuls seuil de la saison 1991 (15 avril-15 octobre). 52 stations mesurées

Tableau 2 : Liste des 99 sites installés en 1991 (classement par ordre alphabétique).
 Les coordonnées géographiques (degrés, minutes et centièmes de minutes) relevés par GPS sont marquées d'une étoile. Les coordonnées X,Y sont en kilomètres dans un repère d'origine (2°E, 13°N). $Y = (\text{Latd.} - 13) * 111,2$; $X = (\text{Longd.} - 2) * (108,3 - 0,5 * Y / 111,2)$.
 Latd et Longd étant exprimé en degrés décimaux, alors que Lat. et Long. sont en degrés, minutes, et centièmes de minutes (Lat = 13 42 52 ----> Latd= 13.7085).

NOM	Identification	Lat.	Long.	Alt.	X	Y	EPSAT
Agharous	1321204700	13 42 52	02 50 02	240	89.99	78.80	47
Alkama	1321204300	13 49 31	02 57 46	205	103.32	91.39	43
Bangou Bobo	1321205300	13 44 15	02 22 36	266	40.22	81.82	53
Bangou Tawey	1321207500	13 38 23	02 20 90	249	37.61	70.85	75
Banizoumbou	1321201100	13 31 97	02 39 62	202	71.34	59.25	11
Beri koirra	1321202100	13 38 99	02 28 61	266	51.49	72.26	21
Berkiawal	1321202800	13 30 68	02 18 51	215	33.33	56.86	28
Bololadie	1321208400	13 13 48	01 52 20		-14.06	24.98	84
Borgoberi	1321206000	13 40 15	03 03 67		114.57	74.41	60
Borne 253	1321207400	13 09 69	02 36 05	255	65.02	17.96	74
Boubon Golf	1321208500	13 36 40	01 56 15		-6.93	67.46	85
Damana	1321202700	13 53 83	03 05 53		117.79	99.76	27
Darey	1321201800	13 38 20	02 44 53	250	80.14	70.80	18
Debere Gati	1321202500	13 03 66	02 06 86	230	12.38	6.78	25
Dey Tegui	1321203300	13 56 77	02 37 42		67.25	105.21	33
Diokoti	1321206400	13 16 05	02 15 75	240	28.39	29.75	64
Djakindji	1321204800	13 11 04	02 15 04	265	27.12	20.46	48
Djoure	1321206300	13 47 41	02 43 78	245	78.73	87.87	63
Fandou' Beri	1321200900	13 31 91	02 33 52	232	60.36	59.14	9
Foy Fandou	1321202400	13 57 62	02 10 09	240	18.13	106.79	24
Gagare	1321202000	13 29 37	02 26 56		47.83	54.43	20
Gamonzon	1321203400	13 27 67	03 01 90		111.49	51.28	34
Ganki Bassarou	1321206500	13 09 84	02 20 63	212	37.21	18.24	65
Gardana Kouara	1321205000	13 50 06	02 16 55	212	29.78	92.78	50
Gassanamari NE	1321200200	13 29 87	02 36 91	248	66.47	55.36	2
Gassanamari NW	1321200100	13 29 87	02 36 36	248	65.48	55.36	1
Gassanamari SE	1321200300	13 29 34	02 36 94	248	66.53	54.38	3
Gassanamari SW	1321200400	13 29 30	02 36 39	248	65.54	54.30	4
Gasseya	1321201200	13 28 29	02 39 75	250	71.59	52.43	12
Gobirkoye Kaina	1321203900	13 12 42	02 28 52	240	51.43	23.02	39
Gorou Goussa	1321208000	13 50 30	02 02 13		3.83	93.22	80
Gourmandey	1321205800	13 14 78	02 56 75	200	102.32	27.39	58
Gouroua	1321208700	13 20 24	01 56 24		-6.78	37.51	87
Guessel Bodi	1321206600	13 24 46	02 22 46		40.46	45.33	66
Guilahel	1321204900	13 17 69	02 08 75	274	15.77	32.79	49
Harikanassou	1321204100	13 15 46	02 50 47	208	90.99	28.65	41
Hassou Bangou	1321204200	13 44 06	02 08 72	255	15.69	81.66	42
Holo	1321207100	13 42 42	02 57 21	202	102.93	78.62	71
IH Jacher.hapexl	1321210500	13 14 63	02 14 65		26.41	27.11	105
IH Mil	1321210600	13 14 48	02 17 94		32.35	26.84	106
IH Plateau	1321210700	13 11 89	02 14 37		25.91	22.04	107
Kaba	1321208800	13 38 00	01 38 92	230	-37.94	70.43	88
Kaligorou	1321206100	13 36 74	03 00 78	200	109.40	68.09	61
Kampa zarma	1321201300	13 26 48	02 38 89	200	70.05	49.08	13
Karabeji	1321206700	13 16 33	02 29 23	245	52.69	30.26	67
Kare	1321202900	13 02 87	02 20 31	200	36.65	5.32	29
Kare Bangou	1321209000	13 27 28	01 45 72	230	-25.72	50.56	90
Karma	1321208100	13 00 24	01 48 48		-20.79	0.44	81

Kiran Mili	1321204500	13 49 34	02 30 75	240	55.29	91.44	45	
Kodo	1321206200	13 15 32	02 42 78	250	77.13	28.39	62	
Ko Fandou	1321203600	13 56 57	02 51 99	210	93.43	104.84	36	
Kokorbe Fandou	1321207300	13 51 16	02 37 18		66.85	94.82	73	
Kolbou Zarma	1321205600	13 21 47	02 57 26	195	103.18	39.79	56	
Kollo	1321205400	13 22 45	02 14 66	198	26.42	41.61	54	
Kolo Diogono	1321204600	13 43 44	02 36 77		66.15	80.51	46	
Komakoukou	1321200600	13 29 89	02 37 74	205	67.96	55.40	6	*+
Koure	1321201700	13 20 19	02 35 93	245	64.75	37.42	17	
Koure Kobade	1321202600	13 00 28	03 03 00	220	113.71	0.52	26	
Koure Sud	1321205100	13 14 51	02 36 30	255	65.45	26.89	51	
Koyria	1321208200	13 46 00	01 42 00		-32.38	85.25	82	
Mare Kire	1321207700	13 42 60	02 30 61	270	55.07	78.95	77	
Maroberi Zeno	1321204400	13 09 02	02 42 47	252	76.61	16.72	44	
Massi Koubou	1321207800	13 49 61	02 25 00	250	44.95	91.94	78	
Niabere Djambe	1321205900	13 20 99	02 51 36	200	92.56	38.90	59	
Niamey Aeroport	1321209400	13 28 79	02 10 39		18.71	53.36	94	
Niamey IRI	1321208300	13 30 00	02 05 35		9.63	55.60	83	
Niamey ORSTOM	1321207000	13 31 87	02 05 80	220	10.44	59.07	70	
Nine Founo	1321206800	13 41 44	02 44 98	245	80.93	76.80	68	
Nioumey	1321207900	13 08 81	02 49 71	210	89.67	16.33	79	
Ouallam B	1321210300	14 18 92	01 58 11		-3.39	146.27	103	+
Ouallam C	1321210400	14 17 82	01 56 03		-7.12	144.23	104	+
Ouallam D	1321210800	14 17 58	01 55 60		-7.89	143.78	108	+
Sandideye	1321205700	13 13 52	03 03 23	230	114.01	25.06	57	
Sekoukou	1321205500	13 16 37	02 22 21	187	40.04	30.34	55	
SD Rive droite	1321209200	13 33 31	02 40 99		73.80	61.73	92	*+
SDC1 Sofia Bangou	1321209300	13 32 44	02 42 64		76.77	60.12	93	*+
SDC2 Jupe	1321209500	13 32 84	02 41 97		75.56	60.86	95	*+
SDC3	1321209600	13 33 50	02 42 41		76.35	62.09	96	*+
SDC4	1321209700	13 33 09	02 43 05		77.51	61.33	97	*+
SD Rive gauche	1321209800	13 34 10	02 42 25		76.06	63.20	98	+
SD Plateau 2 Nord	1321209900	13 33 19	02 43 67		78.62	61.51	99	+
SD Plateau 1 Sud	1321210000	13 31 85	02 42 76		76.99	59.03	100	+
SD Exutoire	1321210100	13 32 72	02 41 36		74.47	60.64	101	+
SD Village	1321210200	13 34 85	02 41 66		74.99	64.59	102	*+
Tafakoira	1321201900	13 37 75	02 36 56	215	65.80	69.96	19	
Tanaberi	1321203200	13 02 50	02 32 88		59.34	4.63	32	
Tierendji	1321205200	13 07 96	02 55 81	185	100.68	14.75	52	
Tigo zeno	1321202300	13 28 70	02 45 34		81.66	53.19	23	
Timborane Soli	1321207200	13 49 42	02 52 35	250	94.13	91.59	72	
Tollo	1321202200	13 20 76	02 44 40	250	80.01	38.48	22	
Tondi Gamey	1321207600	13 44 51	02 17 11	260	30.78	82.49	76	
Tondi Kire	1321206900	13 36 21	02 51 86	215	93.35	67.11	69	
Tongom	1321203700	13 56 85	02 25 17	235	45.23	105.36	37	+
Torodi	1321208600	13 07 00	01 47 10		-23.27	12.97	86	
Wari	1321204000	13 37 09	02 15 22	266	27.39	68.74	40	
Winde gorou	1321203100	13 22 14	02 27 51		49.57	41.03	31	
Yelouma est	1321201500	13 26 96	02 33 57	249	60.47	49.97	15	*+
Yiladde	1321203500	13 01 27	02 47 16	237	85.12	2.35	35	
Zouzou Beri	1321203000	13 27 95	02 53 82		96.94	51.80	30	

 Estimation des incertitudes pour les relevés NAVSTAR

Lat. 0.056' --> 0.056 * 100/54 = 0.1 km
 Long. 0.171' --> 0.171 * 108/60 = 0.3 km

 Pour le GPS : 36 metres en X et Y pour une seule lecture

Stations abandonnees en 1990 : 6 stations de l'ancienne cible (No 5,7,8,10,14,16)

Stations ajoutees en 1991 : numeros 95 a 108

Stations n'ayant pas fonctionne durant toute la saison : 2 stations (No 52,60)

Tableau 3 : Liste des 99 sites installés en 1991 (classement par numéro d'identification, ordre par date de pose depuis 1988).

Identification	NOM	Lat.	Long.	Alt.	X	Y
001	Gassanamari NW	13 29 87	02 36 36	248	65.48	55.36
002	Gassanamari NE	13 29 87	02 36 91	248	66.47	55.36
003	Gassanamari SE	13 29 34	02 36 94	248	66.53	54.38
004	Gassanamari SW	13 29 30	02 36 39	248	65.54	54.30
006	Komakoukou	13 29 89	02 37 74	205	67.96	55.40
009	Fandou Beri	13 31 91	02 33 52	232	60.36	59.14
011	Banizoumbou	13 31 97	02 39 62	202	71.34	59.25
012	Gasseйда	13 28 29	02 39 75	250	71.59	52.43
013	Kampa zarma	13 26 48	02 38 89	200	70.05	49.08
015	Yelouma est	13 26 96	02 33 57	249	60.47	49.97
017	Koure	13 20 19	02 35 93	245	64.75	37.42
018	Darey	13 38 20	02 44 53	250	80.14	70.80
019	Tafakoira	13 37 75	02 36 56	215	65.80	69.96
020	Gagare	13 29 37	02 26 56		47.83	54.43
021	Beri koira	13 38 99	02 28 61	266	51.49	72.26
022	Tollo	13 20 76	02 44 40	250	80.01	38.48
023	Tigo zeno	13 28 70	02 45 34		81.66	53.19
024	Foy Fandou	13 57 62	02 10 09	240	18.13	106.79
025	Debere Gati	13 03 66	02 06 86	230	12.38	6.78
026	Koure Kobade	13 00 28	03 03 00	220	113.71	0.52
027	Damana	13 53 83	03 05 53		117.79	99.76
028	Barkiawal	13 30 68	02 18 51	215	33.33	56.86
029	Kare	13 02 87	02 20 31	200	36.65	5.32
030	Zouzou Beri	13 27 95	02 53 82		96.94	51.80
031	Winde gorou	13 22 14	02 27 51		49.57	41.03
032	Tanaberi	13 02 50	02 32 88		59.34	4.63
033	Dey Tegui	13 56 77	02 37 42		67.25	105.21
034	Gamonzon	13 27 67	03 01 90		111.49	51.28
035	Yiladde	13 01 27	02 47 16	237	85.12	2.35
036	Ko Fandou	13 56 57	02 51 99	210	93.43	104.84
037	Tomgom	13 56 85	02 25 17	235	45.23	105.36
039	Gorbikoi Kaina	13 12 42	02 28 52	240	51.43	23.02
040	Wari	13 37 09	02 15 22	266	27.39	68.74
041	Harikanassou	13 15 46	02 50 47	208	90.99	28.65
042	Hassou Bangou	13 44 06	02 08 72	255	15.69	81.66
043	Alkama	13 49 31	02 57 46	205	103.32	91.39
044	Maroberi Zeno	13 09 02	02 42 47	252	76.61	16.72
045	Kiran Mili	13 49 34	02 30 75	240	55.29	91.44
046	Kolo Diogono	13 43 44	02 36 77		66.15	80.51
047	Agharous	13 42 52	02 50 02	240	89.99	78.80
048	Djakindji	13 11 04	02 15 04	265	27.12	20.46
049	Guilahel	13 17 69	02 08 75	274	15.77	32.79
050	Gardama Kouara	13 50 06	02 16 55	212	29.78	92.78
051	Koure Sud	13 14 51	02 36 30	255	65.45	26.89
052	Tierendji	13 07 96	02 55 81	185	100.68	14.75
053	Bangou Bobo	13 44 15	02 22 36	266	40.22	81.82
054	Kollo	13 22 45	02 14 66	198	26.42	41.61
055	Sekoukou	13 16 37	02 22 21	187	40.04	30.34
056	Kolbou Zarma	13 21 47	02 57 26	195	103.18	39.79
057	Sandideye	13 13 52	03 03 23	230	114.01	25.06
058	Gourmandey	13 14 78	02 56 75	200	102.32	27.39
059	Niabere Djambe	13 20 99	02 51 36	200	92.56	38.90
060	Borgoberi	13 40 15	03 03 67		114.57	74.41
061	Kaligorou	13 36 74	03 00 78	200	109.40	68.09
062	Kodo	13 15 32	02 42 78	250	77.13	28.39
063	Djoure	13 47 41	02 43 78	245	78.73	87.87
064	Diokoti	13 16 05	02 15 75	240	28.39	29.75

065	Ganki Bassarou	13 09 84	02 20 63	212	37.21	18.24
066	Guessel Bodi	13 24 46	02 22 46		40.46	45.33
067	Karabeji	13 16 33	02 29 23	245	52.69	30.26
068	Nine Founo	13 41 44	02 44 98	245	80.93	76.80
069	Tondi Kire	13 36 21	02 51 86	215	93.35	67.11
070	Niamey ORSTOM	13 31 87	02 05 80	220	10.44	59.07
071	Holo	13 42 42	02 57 21	202	102.93	78.62
072	Timborane Soli	13 49 42	02 52 35	250	94.13	91.59
073	Kokorbe Fandou	13 51 16	02 37 18		66.85	94.82
074	Borne 253	13 09 69	02 36 05	255	65.02	17.96
075	Bangou Tawey	13 38 23	02 20 90	249	37.61	70.85
076	Tondi Gamey	13 44 51	02 17 11	260	30.78	82.49
077	Mare Kire	13 42 60	02 30 61	270	55.07	78.95
078	Massi Koubou	13 49 61	02 25 00	250	44.95	91.94
079	Nioumey	13 08 81	02 49 71	210	89.67	16.33
080	Gorou Goussa	13 50 30	02 02 13		3.83	93.22
081	Karma	13 00 24	01 48 48		-20.79	0.44
082	Koyria	13 46 00	01 42 00		-32.38	85.25
083	Niamey IRI	13 30 00	02 05 35		9.63	55.60
084	Bololadie	13 13 48	01 52 20		-14.06	24.98
085	Boubon Golf	13 36 40	01 56 15		-6.93	67.46
086	Torodi	13 07 00	01 47 10		-23.27	12.97
087	Ngourwa	13 20 24	01 56 24		-6.78	37.51
088	Kaba	13 38 00	01 38 92	230	-37.94	70.43
090	Kare Bangou	13 27 28	01 45 72	230	-25.72	50.56
092	SD Rive droite	13 33 31	02 40 99		73.80	61.73
093	SDC1 Sofia Bang	13 32 44	02 42 64		76.77	60.12
094	Niamey Aeroport	13 28 79	02 10 39		18.71	53.36
095	SDC2 Jupe	13 32 84	02 41 97		75.56	60.86
096	SDC3	13 33 50	02 42 41		76.35	62.09
097	SDC4	13 33 09	02 43 05		77.51	61.33
098	SD Rive gauche	13 34 10	02 42 25		76.06	63.20
099	SD Plateau 2 No	13 33 19	02 43 67		78.62	61.51
100	SD Plateau 1 Su	13 31 85	02 42 76		76.99	59.03
101	SD Exutoire	13 32 72	02 41 36		74.47	60.64
102	SD Village	13 34 85	02 41 66		74.99	64.59
103	Ouallam B	14 18 92	01 58 11		-3.39	146.27
104	Ouallam C	14 17 82	01 56 03		-7.12	144.23
105	IH Jachere	13 14 63	02 14 65		26.41	27.11
106	IH Mil	13 14 48	02 17 94		32.35	26.84
107	IH Plateau	13 11 89	02 14 37		25.91	22.04
108	Ouallam D	14 17 58	01 55 60		-7.89	143.78

3

LE RESEAU DE PLUVIOGRAPHES

3.1 Le réseau 1991

Les 101 pluviographes installés en 1991 sont tous du même modèle, à augets basculeurs et munis de cônes de 400 cm². Ces appareils sont répartis sur 99 sites (fig. 6), chaque site étant équipé d'un pluviographe à 1.50m au dessus du sol, et deux sites équipés en plus chacun d'un pluviographe au sol. Ceci permet de comparer la pluie mesurée à 1.50m et la pluie mesurée au sol. Une description succincte des systèmes capteur - dispositif d'enregistrement est donnée dans Label et Al.(1991).

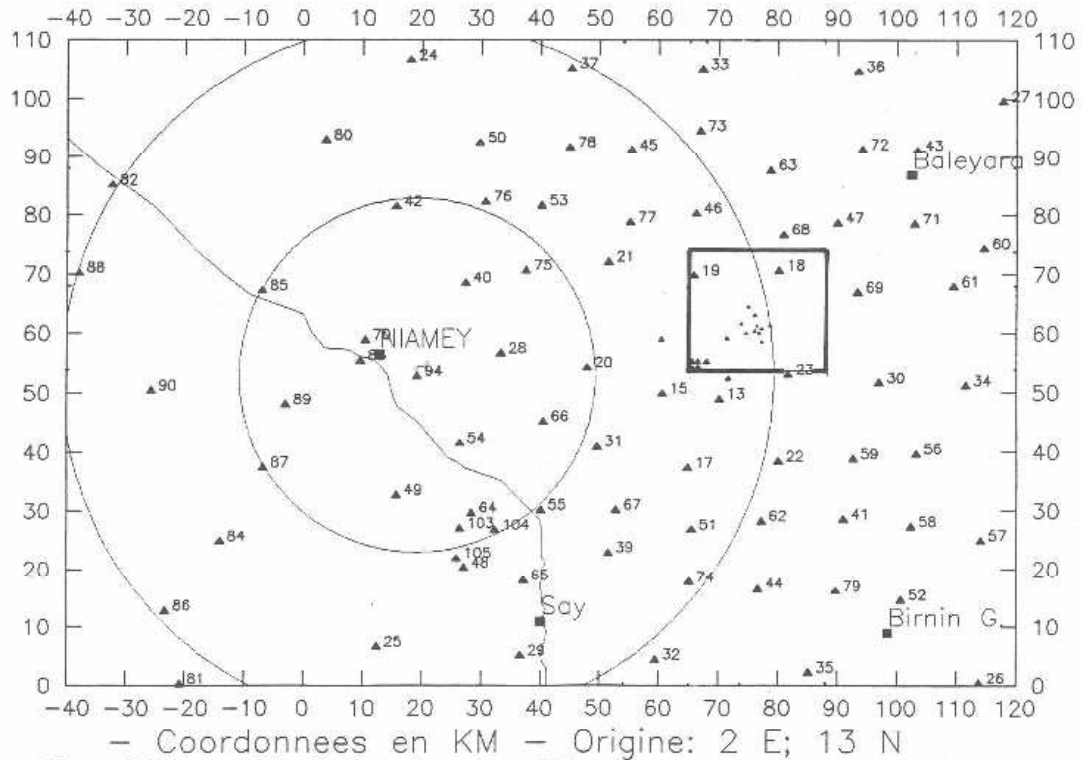


Figure 6. Réseau 1991. Cercles radar à 30 et 60 km. La zone encadrée est la cible, équipée de 18 appareils. Les numéros sont ceux portés dans le tableau 3.

Le rectangle, de 16000 km² environ, qui constitue la zone d'étude est limité en longitude par les méridiens 1°40' E et 3° E, et en latitude par les parallèles 13 et 14°N. Le réseau n'est pas réparti de façon homogène sur cette surface. Il existe tout d'abord une **zone de référence de 10 000 km²** (2°10'-3° E; 13°-14° N), avec **87 sites équipés en 1991** (dont les deux sites de Banizoumbou, n° 11, et Kollo, n° 54 où on a mesuré aussi la pluie au sol). On a ensuite une **zone d'extension (1°40'-2°10' E; 13°-14° N)**, avec **9 appareils répartis sur 6000 km²**. Cette extension a été créée en 1990 pour mieux tirer parti des informations fournies par le radar dans un rayon de 70 kilomètres. Enfin, **3 appareils** ont été installés sur le **supersite nord de HAPEX-SAHEL**, dans la région de Ouallam (2°E; 14°20' N), c'est à dire bien à l'extérieur de la zone d'étude.

Par rapport à 1990, outre les 3 nouveaux sites de la région de Ouallam (N° 103, 104, 108), 11 sites supplémentaires ont été instrumentés sur la zone de référence : 3 sur le supersite sud de HAPEX-SAHEL, près de Sadore (N° 105 à 107), et 8 dans la région centrale, sur le bassin versant de Sama Dey (N° 95 à 102). Par contre 6 sites de l'ancienne cible (N° 5, 7, 8, 10, 14, 16) n'ont pas été rééquipés cette année, afin de fournir les appareils nécessaires au développement de l'instrumentation sur Sama Dey. Sur la zone d'extension, 9 stations seulement sur les 11 de 1990 ont fonctionné en 1991, du fait de pannes sur les cartes d'acquisition des stations 89 et 91, détectées dans la phase de réinstallation et qui n'ont pu être réparées à temps.

Le principe de disposer d'une **cible** (zone encadrée sur la figure 6) a été conservé, mais cette cible a été déplacée sur le bassin de Sama Dey qui constitue le coeur du supersite central de HAPEX-SAHEL. Le bassin proprement dit et sa bordure est ont été équipés de 11 appareils répartis sur 100 km² environ (fig. 7), soit une densité locale de 1 appareil pour 9 km² analogue à celle du centre de la cible de 1990.

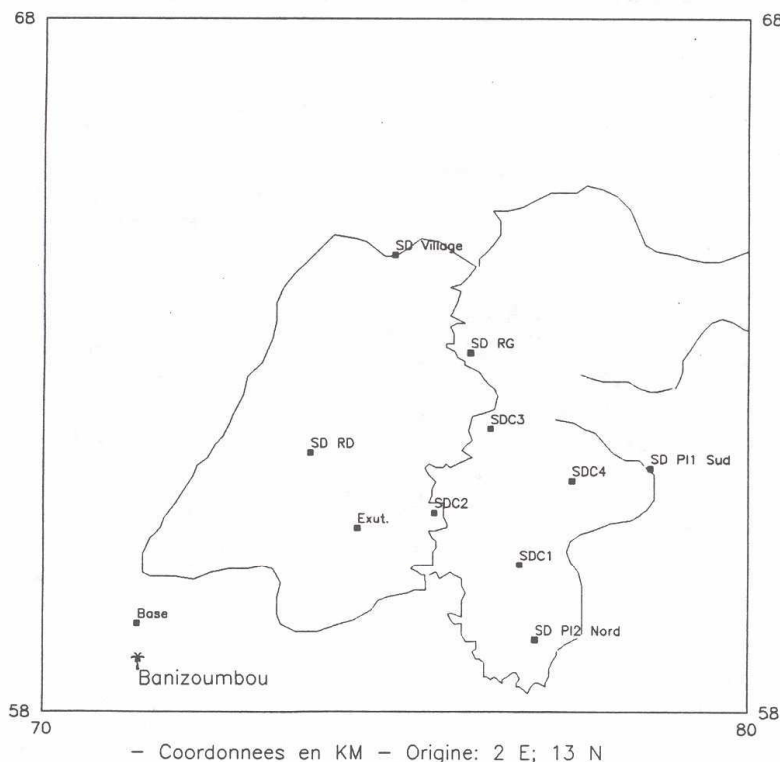


Figure 7. Bassin versant de SAMA DEY et plateau de la bordure est : 11 appareils sur 100 km² environ.

3.2 Calendrier d'installation

En fin de campagne 1990, les pluviographes ont été démontés pour entretien et réétalonnage. Seuls 15 postes sont restés en place durant toute l'année : les 3 postes de Niamey, et 12 postes sur la cible. La campagne a donc commencé par la réinstallation des sites déjà équipés en 1990. Cette réinstallation s'est faite en deux étapes : réinstallation des capteurs avec leur dame-jeanne, opération terminée mi-avril pour les 87 stations de la zone de référence; puis mise en place des systèmes d'alimentation permettant d'activer les acquisitions sur mémoire statique, 70 stations étant opérationnelles à la mi-mai et les 87 stations de la zone de référence à la fin mai. Cette procédure avait pour but d'épargner aux systèmes d'alimentation (en particulier les batteries) une exposition inutilement longue aux fortes chaleurs. L'inconvénient majeure de cette option est que l'on risque de rater le début de la saison des pluies en cas de démarrage précoce. C'est précisément ce qui s'est passé en 1991 : première pluie significative isolée sur la cible le 14 avril, première pluie généralisée le 28 avril. Grâce aux dame-jeanes, on a pu calculer les cumuls de la saison (15 mai - 1 octobre) sur 82 stations (5 stations ayant connu des incidents divers empêchant de reconstituer les cumuls), mais les premiers épisodes n'ont pu être étudiés qu'à partir d'un nombre restreint d'appareils (32 pour la pluie du 28 avril et 42 pour celle du 4 mai).

Deux des trois stations de la région de Ouallam ont été installées en juillet, et la troisième le 22 août.

Un grand nombre de stations ont été repositionnées à l'aide d'un système GPS (Geodesic Positioning system) qui fournit des coordonnées exactes à la centième de minute d'arc près, soit 18 m. Le système GPS a également été utilisé pour positionner les stations nouvelles.

3.3 Surveillance du réseau

Sauf exception chaque station est dotée d'un gardien. En 1991, le nombre de gardiens mobilisés était de 75. Le principe des visites régulières a été maintenu, avec une périodicité normale de 3 semaines. Certaines stations, plus faciles d'accès, ou dont l'information a plus de valeur (cible notamment), sont contrôlées tous les quinze jours ou toutes les semaines. Du 14 mars, date de début des installations, au 28 octobre, l'ensemble des opérations installations et visites a représenté 240 jours de tournées, et 40 000 km parcourus. Les chiffres détaillés figurent en annexe 1.

3.4 Fonctionnement

Le taux de fonctionnement pour les 101 pluviographes (en incluant les 2 postes au sol), calculé sur la période allant du 14 mars au 28 octobre, a été chiffré à 90,7 %, correspondant à 1476 jours d'observation manquants sur 15991 potentiels. Les périodes de fonctionnement de chaque appareil sont données dans le tableau 4. On peut remarquer que 2 stations n'ont pas fonctionné du tout (Borgoberi et Tierendji), et que 4 autres n'ont fonctionné que pendant moins de 45 jours au total (la station de Ouallam D est un cas particulier, puisqu'installée le 22 août). Le taux de panne calculé sur les 95 stations restantes, avoisine les 6%, assez proche de celui de 1990. Ce n'est donc pas la fiabilité des appareils qui s'est dégradé entre 1990 et 1991, mais la fiabilité du système de surveillance, quelques appareils ayant été négligés du fait de leur éloignement ou d'une mauvaise coordination des tournées. Ceci démontre aussi a posteriori la nécessité d'une surveillance régulière, l'automatisation de l'acquisition n'étant pas totalement fiable et n'agissant pas sur les causes de panne liées au capteur lui-même.

Tableau 4 : Périodes de fonctionnement des 101 pluviographes (99 sites) installés en 1991.

Nom	Jan.	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct
Agharous					15--					04
Alkama					16--					04
Bangou Bobo						07--				-11
Bangou Tawey					16--					10
Banizoumbou										
Banizoumbou sol					03--					
Beri kaira						29--				-10
Berkiawal						29--				01
Bololadie				18--						-1
Borgoberi					22--					04
Borne 253				12--						-07
Boubon Golf				22--						
Damana					15--					-1
Darey				23--						-10
Debere Gati					07--					
Dey Tegui					17--					-08
Diokoti			17--							
Djakindji			14--							
Djoure					15--					
Fandou Beri										
Foy Fandou						31--				01
Gagare						16--				-10
Gamonzon				08--						02
Ganki Bassarou					06--					
Gardana Kouara						30--				-14
Gassanamari NE				29--						
Gassanamari NW				29--						
Gassanamari SE				29--						
Gassanamari SW				29--						
Gasseyda				16--						
Gorbikoi Kaina				12--						-07
Gorou Goussa						31--				01
Gourmandey					23--					
Gouroua				12--						-1
Guessel Bodi				17--						02
Guilabel					06--					
IH Jachere.hapex1				09--						
Harikanassou					23--					02
Hassou Bangou						30--				-1
Holo					22--					01
IH Mil						04--				
IH Plateau						04--				
Niamey IRI										
Kaba				19--						
Kaligorou					22--					01
Kampa zarma				16--						
Karabeji				16--						04
Kare					06--					
Kare Bangou				19--						-1
Karma				22--						
Kiran mili					07--					11
Kodo					23--					02
Ko Fandou					17--					-08
Kokorbe Fandou					02--					-09
Kolbou Zarma					22--					
Kollo										
Kollo sol					30--					04
Kolo Diogono					02--					-09
Komakoukou				23--						
Koure				17--						03
Koure Kobade						14--				03
Koure Sud					24--					-07
Koyria						17--				
Mare Kire						29--				-10
Maroberi Zeno				12--						-07

Massi Koubou				07					11
Niabere Djambe				23					02
Niamey Aeroport				15					01
Nine Founo				10					03
Nioumey									
Niamey ORSTOM									
Ouallam B						11			21
Ouallam C						11			21
Ouallam D							22		21
SDC3				14					
SDC4				14					
SD Exutoire				14					
SDC2 Jupe				13					
SD Plateau 1 Sud				14					15
SD Plateau 2 Nord				15					15
SD Rive droite									
SD Rive gauche				15					15
SD Village				22					
Sandideye				22					18
Sekoukou				30					25
SDC1 Sofia Bangou				23					
Tafakoira				16					01
Tanaberi				30					25
Tierendji					05				18
Tigo zeno				11					03
Timborane Soli				15					17
Tollo				11					03
Tondi Gamey				07					11
Tondi Kire				16					17
Tomgom					30				14
Torodi				18					16
Wari				07					11
Winde gorou				10					22
Yelouma est				16					22
Yiladde				10					03
Zouzou Beri				11					03
11 03 : date d'installation et d'arret des pluviographes									
----- : periode de fonctionnement des augets sans lacune (- : 5 jours sans lacune)									

Tableau 5: Dérives de temps calculées pour chaque cartouche lors du dépouillement, rapportées à 100 jours de fonctionnement.

NOM	No EPSAT	derive cartouche1 en minutes	derive cartouche2 en minutes	derive cartouche3 en minutes	derive cartouche4 en minutes	derive cartouche5 en minutes
Agharous	47	30	31			
Alkama	43	11	11			
Bangou Bobo	53	lacune				
Bangou Tawey	75	27				
Banizoumbou	11	31	23		30	
Banizoumbou sol	11	30	27	28		
Beri koirra	21	00				
Berkiawal	28	07				
Bololadie	84	43	28			
Borgoberi	60	lacune	lacune			
Borne 253	74	24	24			
Boubon Golf	85	26	26			
Damana	27	lacune	00			
Darey	18	07	07			
Debere Gati	25	00				
Dey Tegui	33	06				
Diokoti	64	30	30			
Djakindji	48	26	27			
Djoure	63	26				
Fandou Beri	9	09	09	07	10	
Foy Fandou	24	-01	-01			
Gagare	20	03				
Gamonzon	34	21				
Ganki Bassarou	65	23				
Gardana Kouara	50	11				
Gassanamari NE	2	40	07	10		
Gassanamari NW	1	04	04	07		
Gassanamari SE	3	-01	lacune	01		
Gassanamari SW	4	-07	06	08		
Gasseйда	12	-25	31	31		
Gobirkoye Kaina	39	30	30			
Gorou Goussa	80	11	11			
Gourmandey	58	34	34			
Gouroua	87	30	29			
Guessel Bodi	66	23				
Guilahel	49	27				
Harikanassou	41	11				
Hassou Bangou	42	29				
Holo	71	31				
IH Jacher.hapex1	105	lacune	06			
IH Mil	106	08				
IH Plateau	107	07				
Kaba	88	lacune	11			
Kaligorou	61	29				
Kampa zarma	13	06	06	08		
Karabeji	67	24	24			
Kare	29	00				
Kare Bangou	90	11	10			
Karma	81	27	27			
Kiran Mili	45	lacune	lacune			
Kodo	62	27				
Ko Fandou	36	07				
Kokorbe Fandou	73	27	27			
Kolbou Zarma	56	lacune	24			
Kollo	54	-01	-01			
Kollo sol	54	lacune	lacune	-01	11	
Kolo Diogono	46	24	24			
Komakoukou	6	06	10	07		
Koure	17	07	07			
Koure Kobade	26	lacune	-04			
Koure Sud	51	11	11			
Koyria	82	10				
Mare Kire	77	lacune	lacune			
Maroberi Zeno	44	11	11			
Massi Koubou	78	29	29			

Niabere Djambe	59	29	29			
Niamey Aeroport	94	lacune	00	01		
Niamey IRI	83	lacune	04	06		
Niamey ORSTOM	70	lacune	27	29		
Nine Founo	68	26				
Nioumey	79	27				
Ouallam B	103	lacune	07			
Ouallam C	104	06	06			
Ouallam D	108	10				
Sandideye	57	03	30			
Sekoukou	55	26	27			
SD Rive droite	92	13	10	06	11	13
SDC1 Sofia Bangou	93	lacune	00	lacune	00	
SDC2 Jupe	95	11	11	11	11	
SDC3	96	11	06	11		
SDC4	97	10	10	10		
SD Rive gauche	98	11	10	14		
SD Plateau 2 Nord	99	lacune	10	14		
SD Plateau 1 Sud	100	10	lacune			
SD Exutoire	101	13	10	11		
SD Village	102	14	13	13		
Tafakoira	19	06				
Tanaberi	32	00	01			
Tierendji	52	lacune	lacune	lacune		
Tigo zeno	23	06	06			
Timborane Soli	72	30	30			
Tollo	22	lacune	07			
Tondi Gamey	76	lacune	lacune	lacune	26	
Tondi Kire	69	36	30			
Tongom	37	00				
Torodi	86	31				
Wari	40	11	11			
Winde gorou	31	lacune	lacune			
Yelouma est	15	07	08	08		
Yiladde	35	01				
Zouzou Beri	30	01	01			

(-) horloge de la station en retard sur le temps reel
 () horloge de la station en avance sur le temps reel

3.5 Dérives en temps

En 1990, des dérives en temps anormalement élevées par rapport aux normes du constructeur (ce dernier garantit des dérives théoriques inférieures à 10 secondes par mois) ont été enregistrées. On avait ainsi observé des valeurs de dérive allant jusqu'à 74 minutes sur cent jours (station de Darey). De plus, 90% des cartouches avaient été affectées d'une dérive de plus de trois minutes sur cent jours (Lebel et Al. , 1991). A la suite de ce constat, une étude avait été entreprise ayant conduit à mettre en évidence une dérive constante dans le temps, ce qui permet une correction linéaire.

En 1991, les dérives sont comprises entre -25 et +40 minutes pour 100 jours et 179 cartouches sur 200 (soit 90 %) ont enregistré des dérives supérieures à 3 minutes pour 100 jours. Ces dérives sont corrigées linéairement par le module de dépouillement /mise en forme du logiciel PLUVIOM¹, conformément aux enseignements tirés de l'étude expérimentale menée à la fin de la saison 1990. Aucune étude systématique du synchronisme des données ainsi corrigées n'a cependant encore été réalisée. La mise en évidence d'anomalies non détectées au dépouillement n'est donc pas à exclure.

¹Rappelons que l'horloge des systèmes Elsyde mesure le temps relativement à la date de pose d'une cartouche. Pour quantifier les dérives, il faut comparer, lors du dépouillement de la cartouche par le Lecteur de Cartouche Magnétique (LCM), le temps écoulé entre les heures de pose et de dépose notées par l'observateur et le temps mesuré par l'horloge du système. Les erreurs liées à un mauvais report des dates de pose ou de dépose sont donc toujours possibles.

3.6 Valeurs seuu et valeurs augets

Les comparaisons systématiques effectuées en 1990 avaient montré une surestimation de 7% environ en moyenne des valeurs augets par rapport aux valeurs seuu. Ces dernières doivent être considérées comme les valeurs de référence, la surestimation par les augets étant due à un basculement prématuré, lié à l'énergie cinétique en cas de forte pluie, ou à des dépôts de poussière, ou encore à l'action du vent. En 1991 ce rapport a été ramené à 5,4%, en partie peut-être grâce au haubannage de certains postes dont le pied vibrait particulièrement, favorisant les basculements anticipés en cas de vent. Deux valeurs aberrantes de respectivement 24% (N°73) et 23% (N°40) ont été enregistrées (tableau 6). La distribution des écarts relatifs (fig. 8) est sensiblement normale et 71 des 93 valeurs calculées (pour certaines stations on ne dispose pas de la valeur seuu et de la valeur augets) sont comprises entre 0 et 10%.

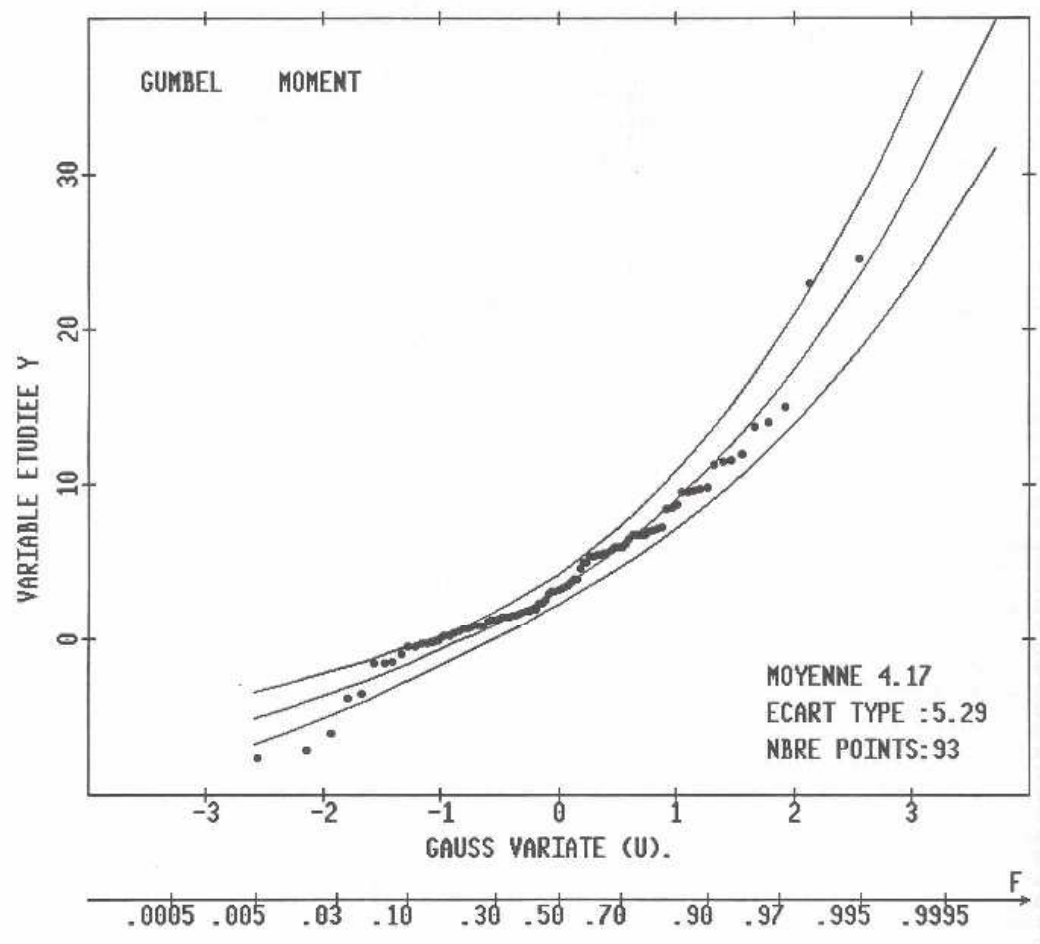
Tableau 6: Comparaison des valeurs totales de la saison (mm), seuu et augets. Delta= (Augets-seuu)/seuu, en pour cent.

NOM	AUGETS	SEUU	PERIODE	DELTA %	No EPSAT
Agharous	540.0	527.5	15.05-04.10	2.4	47
Alkama	433.2	389.6	16.05-04.10	11.6	43
Bangou Bobo	91.0	88.0	15.08-11.10	3.4	53
Bangou Tawey	487.0	489.3	16.05-10.10	-0.5	75
Banizoumbou	507.0	494.3	02.05-29.10	2.6	11
Banizoumbousol	147.5	158.9	07.08-29.10	-7.2	911
Beri kaira	397.5	386.0	29.05-10.10	3.0	21
Berkiawal	304.5	306.2	29.05-01.10	-0.5	28
Bololadie	206.0	188.0	18.04-18.07	9.6	84
Borgoberi		lacune			60
Borne 253	351.5	334.8	09.07-06.09	5.0	74
Boubon Golf	491.0	452.3	22.04-22.10	8.6	85
Damana	225.0	228.5	15.05-21.07	-1.5	27
Darey	567.0	532.2	23.04-10.10	6.5	18
Debere Gati	561.0	531.5	07.05-28.10	5.5	25
Dey Tegui	369.5	336.3	17.05-08.10	9.9	33
Diokoti	618.5	614.2	14.03-24.10	0.7	64
Djakindji	638.5	628.9	14.03-24.10	1.5	48
Djoure	225.0	225.8	30.07-23.10	-0.3	63
Fandou Beri	475.0	505.7	03.05-29.10	-6.1	9
Foy Fandou	271.5	256.7	31.05-01.10	5.8	24
Gagare	374.5	350.6	16.05-10.10	6.8	20
Gamonzon	722.5	710.9	08.04-02.10	1.6	34
Ganki Bassarou	715.0	638.5	06.05-24.10	12.0	65
Gardana Kouara	367.0	352.7	30.05-14.10	4.0	50
Gassanamari NE	582.5	577.0	29.04-22.10	0.9	2
Gassanamari NW	545.5	534.2	29.04-22.10	2.0	1
Gassanamari SE	278.5	302.0	30.04-14.07	-7.7	3
Gassanamari SW	496.5	490.1	29.04-22.10	1.4	4
Gasseйда	528.0	481.7	16.04-22.10	8.8	12
Gobirkoye Kaina	516.5	525.2	12.04-06.09	-1.6	39
Gorou Goussa	343.0	341.4	31.05-01.10	0.4	80
Gourmandey	362.5	330.5	24.05-25.07	9.7	58
Gouroua	503.0	469.0	19.04-15.10	7.2	87
Guessel Bodi	523.0	524.2	17.04-03.10	-0.2	66
Guilahel	666.5	607.1	06.05-24.10	9.8	49
Harikanassou	483.0	423.1	23.05-02.10	14.1	41
Hassou Bangou	316.5	288.9	30.05-14.10	9.6	42
Holo	567.0	509.2	22.05-01.10	11.3	71
IH Jacher.hapex1	342.5	329.9	03.07-24.10	3.8	105
IH Mil	438.0	438.6	04.06-24.10	-1.0	106
IH Plateau	517.0	492.1	04.06-24.10	5.0	107

Kaba	79.5	78.5	20.04-14.06	1.3	88
Kaligorou	539.5	561.5	22.05-01.10	-3.9	61
Kampa zarma	516.5	508.4	16.04-22.10	1.6	13
Karabeji	677.0	631.2	16.04-04.10	7.3	67
Kare	451.0	427.0	06.05-28.10	5.6	29
Kare Bangou	651.0	572.0	19.04-15.10	13.8	90
Karma	437.0	443.9	22.04-17.09	-1.6	81
Kiran Mili	153.5	134.0	08.05-15.07	1.5	45
Kodo	521.5	511.1	23.05-01.10	2.0	62
Ko Fandou	364.9	344.1	11.06-08.10	6.0	36
Kokorbe Fandou	679.5	543.4	02.05-09.10	24.6	73
Kolbou Zarma	601.0	623.3	22.05-18.10	-3.6	56
Kollo	405.5	384.6	25.01-04.09	5.4	54
Kollosol	lacune				954
Kolo Diogono	675.5	653.7	02.05-09.10	3.3	46
Komakoukou	549.0	544.8	23.04-29.10	0.8	6
Koure	573.0	571.9	10.05-03.10	0.2	17
Koure Kobade	195.5	183.0	07.08-02.10	6.8	26
Koure Sud	406.5	385.3	09-07-07.10	5.5	51
Koyria	331.0	312.3	17.06-22.10	6.0	82
Mare Kire	131.0	128.5	16.08-10.10	1.9	77
Maroberi Zeno	664.4	595.9	12.04-07.10	11.5	44
Massi Koubou	431.5	406.8	07.05-11.10	6.0	78
Niabere Djambe	428.5	425.7	03.06-02.10	0.7	59
Niamey Aeroport	280.5	277.9	16.07-30.10	0.9	94
Niamey IRI	205.0	201.5	23.01-01.08	1.7	83
Niamey ORSTOM	304.0	283.8	15.07-30.10	7.1	70
Nine Founo	432.0	433.2	15.05-01.10	-0.3	68
Nioumey	396.5	381.4	05.07-03.10	4.0	79
Ouallam B	lacune				103
Ouallam C	284.0	269.5	11.07-21.10	5.4	104
Ouallam D	lacune				108
Sandideye	623.5	616.1	22.05-18.10	1.2	57
Sekoukou	635.5	627.6	30.04-25.10	1.3	55
SD Rive droite	567.5	550.1	30.01-29.10	3.2	92
SDC1 Sofia Bangou	lacune				93
SDC2 Jupe	525.0	506.9	13.05-29.10	3.6	95
SDC3	526.5	510.5	14.05-29.10	3.2	96
SDC4	459.5	451.1	14.05-29.10	1.9	97
SD Rive gauche	499.0	467.3	15.05-15.10	6.8	98
SD Plateau 2 Nord	408.5	386.7	29.05-14.10	5.6	99
SD Plateau 1 Sud	461.5	440.9	14.05-01.09	4.7	100
SD Exutoire	521.5	480.6	14.05-29.10	8.5	101
SD Village	218.5	204.2	23.05-31.07	7.0	102
Tafakoira	463.5	459.3	16.05-01.10	0.9	19
Tanaberi	488.5	457.4	30.04-25.10	6.8	32
Tierendji	lacune				52
Tigo zeno	562.5	552.6	11.04-03.10	1.8	23
Timborane Sol	325.0	323.4	15.05-17.10	0.5	72
Tollo	485.5	457.3	12.04-12.08	6.2	22
Tondi Gamey	lacune				76
Tondi Kire	542.5	542.8	16.05-17.10	-0.1	69
Tongom	272.0	268.3	16.07-14.10	1.5	37
Torodi	553.0	552.0	18.04-16.10	0.2	86
Wari	374.0	304.0	19.06-11.10	23.0	40
Winde gorou	lacune				31
Yelouma est	600.5	580.0	16.04-22.10	3.5	15
Yiladde	614.0	533.7	10.04-03.10	15.0	35
Zouzou Beri	622.5	608.7	11.04-03.10	2.4	30

DELTA % = (AUGETS-SEAU)/SEAU en pour cent

Figure 8. Ajustement d'une loi de Gumbel aux écarts relatifs entre les cumuls saisonniers enregistrés par le seuil d'une part et par les augets d'autre part. Ecart = (valeur auget - valeur seuil) / valeur seuil. Paramètre d'échelle = 4,15; paramètre de position = 1,78



4

TRAITEMENT DES DONNEES PLUVIOGRAPHIQUES

4.1 Cumuls saisonniers

Compte tenu de la remise en service progressive des pluviographes et du démarrage précoce de la saison seuls 52 postes ont fonctionné pendant l'ensemble de la saison des pluies (15 avril - 15 octobre). On possède par contre des cumuls sur la période 15 mai - 1 octobre pour 82 stations (tableau 8, P. 28). Ces cumuls sont distribués selon une loi normale de moyenne 462,7 mm (fig. 9). Cette valeur est proche de la valeur moyenne sur le degré carré calculée par krigeage (467,1 mm, tableau 1, P. 5).

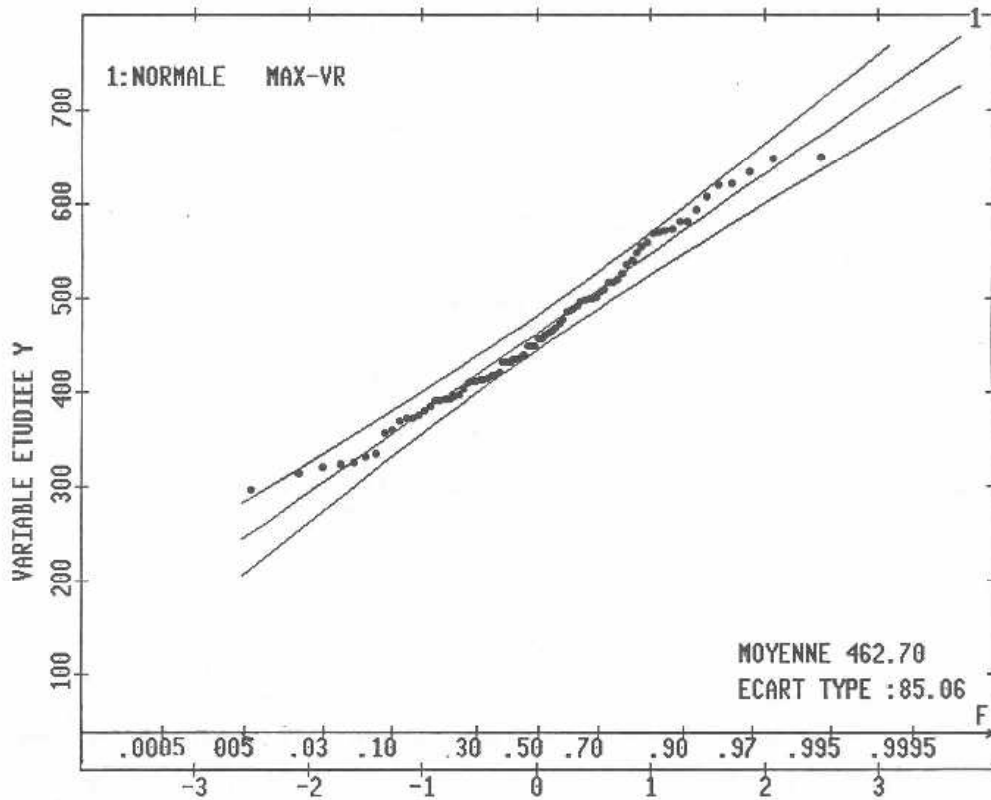


Figure 9. Ajustement d'une loi normale aux 82 cumuls seuu de la période 15 mai - 1 octobre, avec les limites de l'intervalle de confiance des quantiles au seuil de 95%.

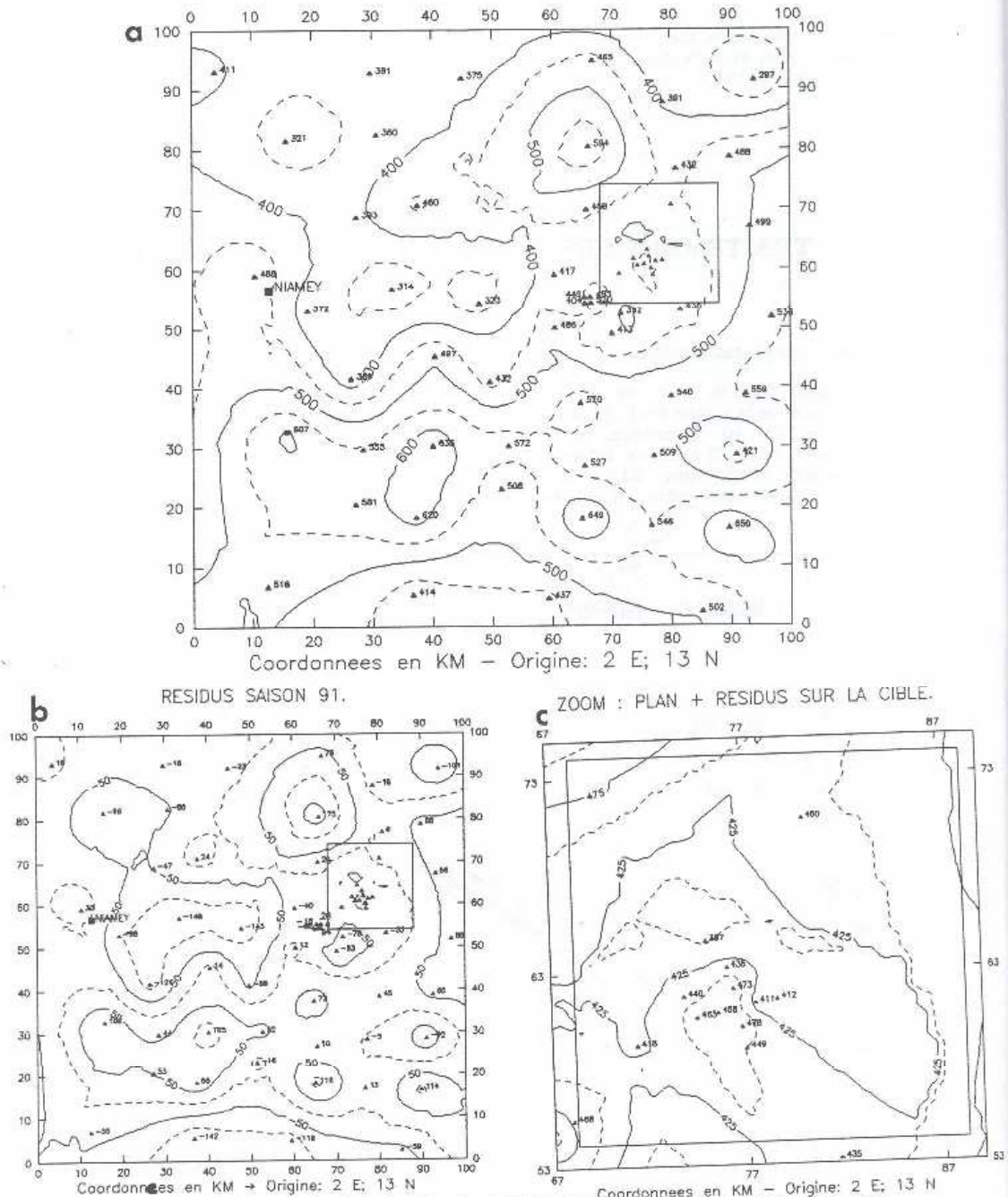


Figure 10. Isohyètes de la période 15 mai - 1 octobre calculées à partir des cumuls seuu mesurés à 82 stations; a. Carte des isohyètes du cumul $M(x,y)$. Le modèle utilisé pour interpoler les données est : $M(x,y) = 555 - 1,8 y + e(x,y)$, avec M en mm et y en km, $y=0$ à la latitude 13°N . Les résidus $e(x,y)$ ont été interpolés par krigeage, en utilisant un variogramme sphérique d'une portée de 30km; b. carte des isohyètes des résidus $e(x,y)$ au plan de dérive; c. zoom sur la cible.

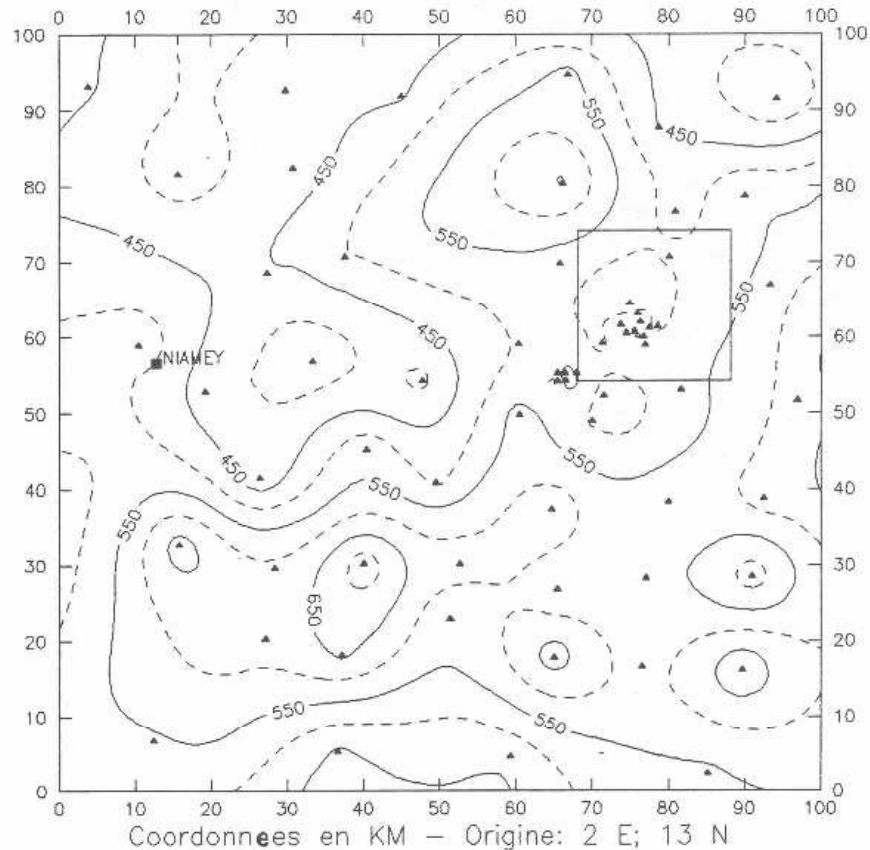


Figure 11. Isohyètes de la saison des pluies 1991 (15 avril - 15 octobre) sur la zone de référence calculée à partir de 82 stations; 52 valeurs ont été mesurées et les 30 autres reconstituées pour les 4 épisodes sur lesquels elles étaient manquantes.

Pour les 30 stations sur lesquelles manque une partie de la période 15 avril - 15 mai ou 1 octobre - 15 octobre, les cumuls saisonniers ont été reconstitués en interpolant épisode par épisode les événements qui se sont produits sur ces deux périodes. Ces événements sont au nombre de 4 : 28 avril, 4 mai, 3 et 4 octobre. Ils représentent 10 à 15% du total de la saison. Les valeurs minimale et maximale des 82 cumuls saisonniers ainsi obtenus (52 mesurés et 30 reconstitués)¹ sont respectivement de 341 mm (Timborane Soli; N° 72; 13°50'; valeur mesurée) et 725 mm (Sekoukou; N° 55; 13°16'; valeur reconstituée).

A la grille (obtenue selon une méthode détaillée ci-dessous) qui a servi à tracer la carte des isohyètes des cumuls du 15 mai au 1 octobre à partir des 82 cumuls mesurés sur cette période (fig. 10 a), on a donc ajouté les 4 grilles interpolées pour les événements cités ci-dessus, obtenant ainsi la grille des totaux sur la période 15 avril - 15 octobre, à partir de laquelle a été tracée la carte de la figure 11. Ces deux cartes sont d'allure très

¹ Sur la période restreinte 15 mai - 1 octobre le minimum mesuré a été 300 mm à Timborano Soli, et le maximum 648 mm à Nioumey (79; 13°09')

voisine, avec notamment un minimum très prononcé sur la zone centre-ouest : on observe des écarts de l'ordre de 100 % sur moins de 30 kilomètres (314 mm à Berkiawel et 635 mm à 25 kilomètres au sud pour la période 15 mai - 1 octobre).

Comme en 1990, le gradient Nord-Sud n'apparaît pas de manière évidente sur la carte des cumuls saisonniers, un creux pluviométrique très marqué existant notamment dans la partie centre-ouest de la zone d'étude. Néanmoins ce gradient se retrouve en grand, comme on peut le voir d'après la figure 12, où des moyennes par bandes latitudinales ont été calculées à partir de l'intégration du champ des valeurs krigées. En opérant un lissage suffisant (bandes de plus de 20 kilomètres de large), on peut estimer que ce gradient est localement égal à 1,6. Le calage direct d'un plan de régression donne lui un gradient de 1,8. L'absence de palier sur le variogramme des cumuls saisonniers (fig. 13a) est également un indicateur d'une dérive probable. En imposant à cette dérive une moyenne de 465 mm sur la zone, et en adoptant le gradient du plan calé par régression linéaire, elle prend la forme : $M(x,y) = 555 - 1,8 y$. On peut alors calculer les résidus $e(x,y) = Z(x,y) - M(x,y)$, et étudier leur variogramme expérimental. Il présente un palier assez net, pour une portée de 30 km environ, et un modèle sphérique s'ajuste bien (fig. 13b). Ce modèle a été utilisé en interpolation pour obtenir la carte des résidus de la figure 10c. La carte de la figure 10a résulte elle du cumul en chaque point de grille de la valeur de la dérive et de celle du résidu interpolé en ce point. Pour la figure 11, chacune des 4 grilles additionnée à celle de la figure 10a a été obtenue par krigeage simple, en utilisant la fonction de structure la mieux adaptée à chaque événement.

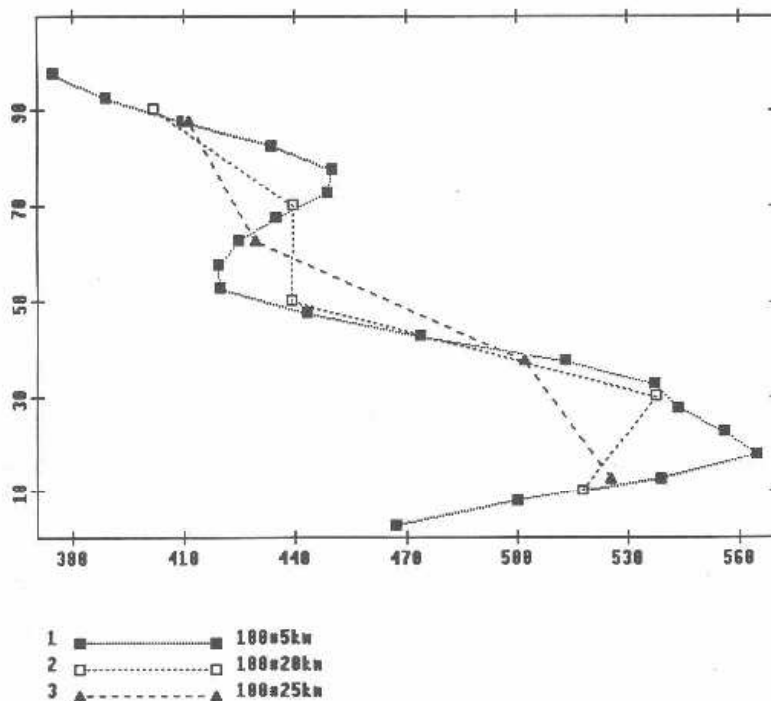


Figure 12. Moyenne des cumuls (15 mai - 1 octobre) calculés sur des bandes latitudinales de différentes largeurs .

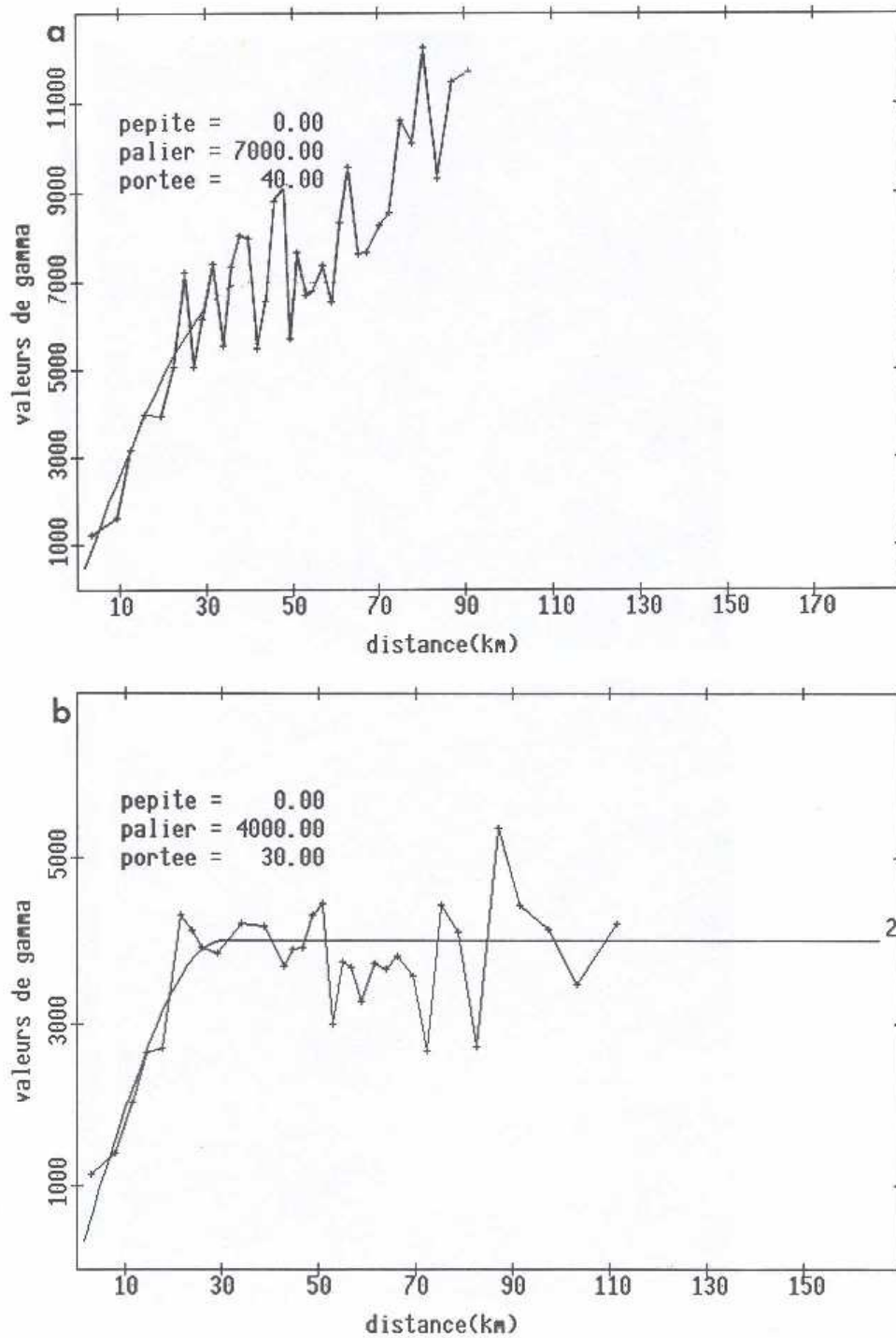


Figure 13. Structure des cumuls 15 mai - 1 octobre; a. Variogramme des valeurs brutes; b. Variogramme des résidus à la dérive $M(x,y) = 555 - 1,8 y$.

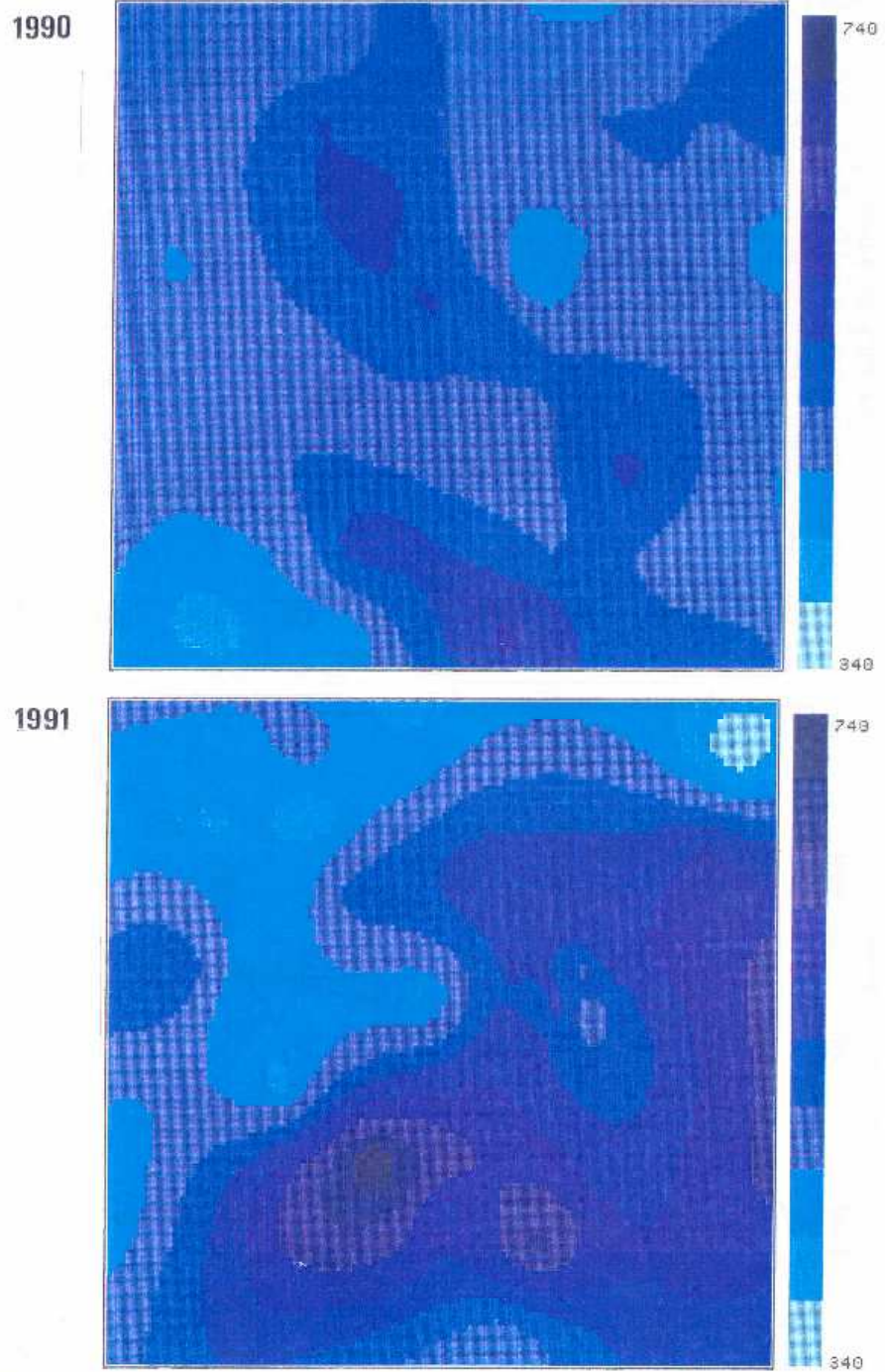


Figure 14. Comparaison des saisons des pluies en 1990 et 1991. Représentation à partir des valeurs moyennes (mm) calculées sur des pixels de 1x1 km².

Par un procédé analogue à celui utilisé en 1990 (Lebel et Al., 1991), on a vérifié le bien fondé de la modélisation du champ saisonnier. Les 82 totaux saisonniers de la période 15 mai - 1 octobre ont été séparés en 2 échantillons de 41 valeurs réparties régulièrement dans l'espace. On reconstitue les valeurs d'un échantillon (échantillon test) à partir des valeurs de l'autre, et on prend comme critère à minimiser la somme du carré des écarts entre valeurs mesurées et valeurs reconstituées sur l'échantillon test. Les rôles des deux sous-échantillons sont ensuite inversés. La procédure s'effectue en comparant plusieurs schémas d'interpolation. Les résultats sont résumés dans le tableau 7 pour un échantillon test, où il apparaît que le schéma associant une dérive de 1,8 et un krigeage des résidus, fournit les erreurs de reconstitution les plus faibles. D'une manière générale les méthodes avec dérive linéaire présentent les meilleurs résultats. A condition de rester dans une gamme de gradients réaliste (entre le gradient climatologique qui vaut 1, et celui du plan de régression de 1991 qui vaut 1,8), la valeur retenue pour la pente de la dérive linéaire est donc moins discriminante que le degré de dérive lui-même.

Tableau 7: Comparaison des estimateurs de valeurs ponctuelles par reconstitution des 41 cumuls (15 mai - 1 octobre) d'un échantillon test à l'aide des 41 valeurs restantes. Moyenne des valeurs mesurées de l'échantillon test : 468,6 mm; écart-type : 79,6 mm. Z^*_i : valeur estimée.

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. sphérique) Portée 40 km Portée 80 km	74,5 72,0	49,1 55,7	449,2 450,7
Krigeage des observations Z_i (dérive linéaire, variog. sphérique) Portée 40 km Portée 80 km	71,1 71,3	61,3 59,1	456,3 454,6
Krigeage des observations Z_i (dérive quadratique, variog. sphérique) Portée 40 km Portée 80 km	69,4 71,3	61,0 58,0	455,9 452,8
Krigeage des observations Z_i Fonction spline de type plaque mince	88,1	76,6	438,9
Krigeage des résidus e_i à une dérive : ☞ dérive : $M(x,y) = 555 - 1,8y$ variog. sphérique, Portée 30 km	66,5	43,8	468,6
☞ dérive : $M(x,y) = 545 - 1,6y$ variog. sphérique, Portée 30 km	66,9	39,4	462,5
Plan moyen $M(x,y) = 515 - y$	70,7	26,2	465,0

Tableau 8: Données seuu disponibles sur l'ensemble de la saison et cumuls seuu mesurés sur la période 15 mai - 1 octobre (82 stations). Lorsque la valeur seuu était en lacune, elle a été remplacée par la valeur auget (corrigée de l'erreur moyenne calculée en section 3) si elle était disponible. Exemple : Ko Fandou où il existe une lacune seuu entre le 18 mai et le 11 juin, mais où la valeur auget était disponible et égale à 397.8 mm après correction.

NOM	SEAU	PERIODE	CUMUL 15/05-01/10	No EPSAT
Agharous	580.6	03.04-04.10	487.9	47
Alkama	417.4	05.04-04.10	391.6	43 *
Bangou Bobo	222.0	26.03-11.10	lacune	53
Bangou Taway	525.5	19.03-10.10	460.1	75 *
Banizoumbou	494.3	15.03-29.10	417.6	11
Banizoumbousol	159.5	04.05-27.05	lacune	911
	24.4	04.06-13.06		
	81.3	23.06-31.07		
	158.9	07.08-29.10		
Beri koira	553.5	20.03-10.10	lacune	21
Berkiawal	326.2	21.03-01.10	314.2	28 *
Bololadie	398.9	18.04-16.10	373.1	84
Borgoberi	607.5	04.04-04.10	lacune	60
Borne 253	334.8	09.07-06.09	648.7	74
Boubon Golf	452.3	22.04-22.10	415.4	85 *
Damana	466.8	05.04-11.10	432.1	27
Darey	565.6	19.03-10.10	449.6	18
Debere Gati	531.5	07.05-28.10	517.5	25
Dey Tegui	336.3	17.05-08.10	325.8	33 *
Diokoti	614.2	14.03-24.10	554.9	64
Djakinjji	628.9	14.03-24.10	580.9	48
Djoure	490.5	03.04-23.10	404.8	63
Fandou Beri	548.9	01.30-29.10	417.4	9
Foy Fandou	376.2	22.03-01.10	332.4	24 *
Gagare	421.2	19.03-10.10	323.4	20 *
Gamonzon	710.9	08.04-02.10	622.6	34
Ganki Bassarou	638.5	06.05-24.10	620.1	65
Gardana Kouara	483.5	21.03-14.10	380.7	50 *
Gassanamari NE	577.0	29.04-22.10	492.5	2
Gassanamari NW	534.2	29.04-22.10	449.0	1
Gassanamari SE	598.2	29.04-22.10	519.8	3
Gassanamari SW	490.1	29.04-22.10	403.9	4
Gasseйда	481.7	16.04-22.10	392.3	12
Gobirkoye Kaina	525.2	12.04-06.09	507.8	39
Gorou Goussa	434.1	22.03-01.10	411.0	80 *
Gourmandey	370.4	09.04-25.07	lacune	58
	140.5	22.08-18.10		
Gouroua	469.0	19.04-15.10	385.0	87
Guessel Bodi	524.2	17.04-02.10	496.8	66
Guilahel	607.1	06.05-24.10	607.1	49
Harikanassou	459.5	08.04-02.10	421.2	41 *
Hassou Bangou	413.2	21.03-14.10	320.6	42 *
Holo	545.0	04.04-01.10	517.3	71 *
IH Jacher.hapex1	487.9	04.06-24.10	lacune	105
IH Mil	438.6	04.06-24.10	lacune	106
IH Plateau	492.1	04.06-24.10	lacune	107
Kaba	386.0	19.04-16.10	357.5	88
Kaligorou	675.1	04.04-01.10	569.3	61 *
Kampa zarma	508.4	16.04-22.10	412.9	13
Karabeji	631.2	16.04-04.10	571.9	67
Kare	427.0	06.05-28.10	413.6	29
Kare Bangou	572.0	19.04-15.10	499.7	90
Karma	480.9	22.04-22.10	lacune	81
Kiran Mili	179.2	28.03-15.07	lacune	45
	17.5	12.09-11.10		
Kodo	551.1	08.04-02.10	508.9	62 *
Ko Fandou	20.0	29.03-18.05	397.8	36 *
	344.1	11.06-08.10		
Kokorbe Fandou	543.4	02.05-09.10	465.2	73
Kolbou Zarma	667.3	09.04-18.10	581.2	56 *
Kollo	384.6	25.01-04.09	368.9	54

Kolo Diogono	653.7	02.05-09.10	593.5	46
Komakoukou	544.8	23.04-29.10	468.0	6
Koure	571.9	10.05-03.10	569.5	17
Koure Kobade	552.8	10.04-03.10	lacune	26
Koure Sud	81.0	25.05-10.06	526.6	51 *
	385.3	09.07-07.10		
Koyria	312.3	17.06-22.10	lacune	82
Mare Kire	537.6	20.03-10.10	lacune	77
Maroberi Zeno	595.9	12.04-07.10	548.1	44
Massi Koubou	422.9	28.03-11.10	375.4	78
Niabere Djambe	621.3	08.04-02.10	559.1	59 *
Niamey Aeroport	433.7	22.04-30.10	372.4	94
Niamey IRI	201.5	23.01-02.08	lacune	83
	77.1	31.08-30.10		
Niamey ORSTOM	23.0	28.04-05.05	487.8	70
	27.0	23.06-27.06		
	335.3	30.06-30.10		
Nine Founo	490.7	03.04-01.10	431.6	68
Nioumey	179.5	11.04-06.06	649.5	79
	381.4	05.07-03.10		
Ouallam B	282.1	11.07-21.10	lacune	103
Ouallam C	269.5	11.07-21.10	lacune	104
Ouallam D	11.5	29.08-21.10	lacune	108
Sandideye	654.4	09.04-18.10	573.0	57 *
Sekoukou	745.3	25.03-25.10	634.7	55
SD Rive droite	550.1	30.01-29.10	440.0	92
SDC1 Sofia Bangou	37.3	02.05-22.05	477.7	93
	104.5	24.05-03.06		
	192.8	12.06-17.08		
	134.0	21.08-29.10		
SDC2 Jupe	506.6	13.05-29.10	457.7	95
SDC3	510.5	14.05-29.10	472.9	96
SDC4	451.1	14.05-29.10	410.9	97
SD Rive gauche	467.3	15.05-15.10	434.8	98
SD Plateau 2 Nord	451.0	15.05-15.10	412.4	99
SD Plateau 1 Sud	486.4	14.05-15.10	448.8	100
SD Exutoire	263.9	14.05-30.07	463.0	101
	182.1	07.08-29.10		
SD Village	204.2	22.05-30.07	396.7	102 *
	159.1	05.08-29.10		
Tafakoira	480.7	20.03-01.10	457.9	19 *
Tanaberi	476.7	25.03-25.10	437.4	32
Tierendji	515.9	05.06-18.10	lacune	52
Tigo zeno	552.6	11.04-03.10	435.1	23
Timborane Sol	340.9	05.04-17.10	297.4	72
Tollo	585.8	12.04-03.10	540.1	22
Tondi Gamey	392.7	23.04-11.10	359.7	76
Tondi Kire	605.4	05.04-17.10	499.2	69 *
Tongom	68.9	21.03-20.06	334.5	37 *
	268.3	16.07-14.10		
Torodi	552.0	18.04-16.10	498.1	86
Wari	77.3	23.04-07.06	392.8	40
	304.0	19.06-11.10		
Winde gorou	447.7	10.05-22.10	432.4	31 *
Yelouma est	580.0	16.04-22.10	486.1	15
Yiladde	533.7	10.04-03.10	501.9	35
Zouzou Beri	608.7	11.04-03.10	536.2	30

N.B.: les cumuls entre le 15/05 et le 01/10 sont les valeurs au seuil mais en cas de lacune seuil, les valeurs augets sont pris en compte sur la periode de lacune

* : stations avec donnees manquantes entre le 15 et le 31 mai qui ont ete reconstituees par analyse spline des differents episodés pluvieux de la periode manquante

4.2 Analyse par épisodes.

Le nombre d'épisodes majeurs pour l'année 1991, selon le critère d'extension spatiale et de continuité temporelle déjà retenu en 1990² se monte à 47 (tableau 9). Ce chiffre est nettement plus important qu'en 1990 (année fortement déficitaire) où on en a noté 36. On constate aussi, par rapport à 1990, que les épisodes ont une plus grande extension spatiale (2/3 des épisodes ont touché au-moins 80% des stations en fonctionnement contre moins de la moitié en 1990). Par contre les averses sont en général moins fortes. Sur la période de référence 15/05-01/10 on a 42 événements, totalisant 462 mm (moyenne par krigeage sur le degré carré), soit pratiquement la totalité des 467 mm de cette période (voir tableau 1, p.4). Sur la période totale (15/04-15/10) on a 46 événements, totalisant 519 mm (moyenne par krigeage sur le degré carré), soit là encore la presque totalité des 520 mm de cette période. Le 47^{ème} événement est celui du 14 avril, qui n'a pas été pris en compte dans l'analyse des cumuls saisonniers du fait de sa faible extension spatiale.

L'histogramme de répartition de la durée des averses (fig. 15) montre, comme l'an dernier une répartition à tendance unimodale centrée sur une durée de 5 à 6 heures. La durée maximale est de 10h30 (épisode n° 10)

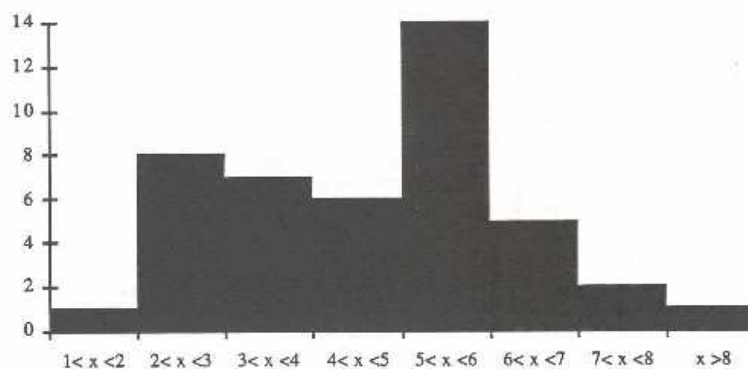


Figure 15. Histogramme de la durée des averses en 1991

Dans 31 cas, la première station touchée appartient à la bordure est de la zone étudiée et, dans 25 cas c'est une des quatre stations les plus à l'est (27,34,57,26). Dans 6 cas la première station touchée appartient à la bordure nord ou sud du degré carré. Pour les 10 épisodes restants (n° 3, 4, 7, 8, 10, 15, 17, 29, 37, 43), la première station touchée se situe à l'intérieur du degré carré et ces épisodes concernent des événements locaux dont seulement 4 (3,10,29,43) vont s'organiser en événements de grande extension.

La dernière station touchée est en général située dans la zone ouest du degré carré (20 cas), mais comme pour la saison 1990, la dernière station touchée peut se situer aussi sur la zone centrale. La traîne des lignes de grains est en effet moins nette que leur front avant et laisse apparaître de larges zones sans précipitations.

²i) au moins 30 % de stations en fonctionnement touchées lors du passage de l'événement pluvieux sur le degré carré; ii) 2,5 mm de pluie au moins enregistrés à une station; iii) pas d'interruption de plus d'une demi-heure de la pluie sur au moins une station.

Tableau 9: Evénements majeurs retenus en 1991 sur le critère de 30 % de stations en fonctionnement touchées : caracteristiques exprimees en 1/10 mm

Les numeros Epsat des stations sont entre parentheses.

De plus i = numero Epsat de la premiere station touchee

j = numero Epsat de la derniere station touchee

N = nombre de stations touchees

moykr = pluie moyenne krigees sur le degre carre

Pluie	debut	fin	N	i	j	5	10	15	30	60	T	Duree	moykr
1	14/ 4 a 9h 5'	14/ 4 a 10h55'	6	11	11	63	110	146	219	288	330	115	
						(23)	(23)	(23)	(23)	(23)	(23)		
2	28/ 4 a 3h 5'	28/ 4 a 7h55'	30	79	86	62	121	170	239	344	425	295	8.4
						(86)	(86)	(86)	(86)	(86)	(86)		
3	4/ 5 a 8h 5'	4/ 5 a 13h15'	42	4	6	84	165	229	377	512	655	315	23.5
						(30)	(30)	(30)	(30)	(30)	(34)		
4	16/ 5 a 0h25'	16/ 5 a 6h25'	36	46	81	97	175	226	377	420	520	365	5.0
						(85)	(85)	(85)	(85)	(85)	(85)		
5	20/ 5 a 9h50'	20/ 5 a 13h 5'	59	27	19	67	112	133	190	250	300	200	4.5
						(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)		
6	24/ 5 a 6h45'	24/ 5 a 19h25'	59	44	69	104	194	277	478	694	1105	765	20.1
						(11)	(71)	(71)	(71)	(71)	(46)		
7	25/ 5 a 13h20'	25/ 5 a 15h30'	32	12	19	54	90	97	120	125	125	135	0.9
						(1)	(2)	(2)	(11)	(56)	(56)		
8	25/ 5 a 15h45'	25/ 5 a 21h 0'	34	54	61	86	171	252	473	645	660	320	3.9
						(79)	(79)	(79)	(79)	(79)	(79)		
9	26/ 5 a 1h10'	26/ 5 a 8h 0'	73	86	96	61	110	149	293	450	645	415	11.4
						(29)	(65)	(65)	(65)	(65)	(65)		
10	26/ 5 a 13h40'	27/ 5 a 6h15'	75	22	6	119	201	249	471	845	1620	1000	33.6
						(49)	(49)	(49)	(34)	(34)	(34)		
11	27/ 5 a 11h40'	27/ 5 a 16h 0'	32	30	69	46	69	88	100	170	190	265	1.4
						(92)	(92)	(72)	(72)	(66)	(66)		
12	28/ 5 a 10h25'	28/ 5 a 15h40'	56	57	90	72	121	140	201	220	225	320	4.7
						(65)	(65)	(86)	(49)	(49)	(49)		
13	1/ 6 a 0h 5'	1/ 6 a 2h10'	56	57	90	115	171	206	210	315	315	130	7.0
						(44)	(44)	(44)	(44)	(51)	(51)		
14	3/ 6 a 1h 5'	3/ 6 a 7h 0'	82	57	70	136	208	255	329	335	380	360	14.1
						(69)	(69)	(69)	(69)	(69)	(69)		
15	7/ 6 a 11h 0'	7/ 6 a 13h45'	73	12	88	104	165	214	245	245	245	170	6.2
						(70)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)		
16	11/ 6 a 20h50'	12/ 6 a 0h25'	74	27	40	150	294	320	425	432	480	220	11.9
						(81)	(81)	(81)	(81)	(73)	(73)		
17	15/ 6 a 5h30'	15/ 6 a 9h10'	74	12	86	157	269	378	521	545	545	225	10.7
						(90)	(90)	(79)	(90)	(90)	(90)		
18	20/ 6 a 22h40'	21/ 6 a 5h25'	54	34	88	72	135	183	319	410	435	410	3.9
						(57)	(57)	(58)	(58)	(58)	(58)		
19	21/ 6 a 5h40'	21/ 6 a 8h25'	67	27	78	21	32	39	50	65	70	170	0.9
						(71)	(99)	(43)	(43)	(99)	(99)		
20	23/ 6 a 4h30'	23/ 6 a 6h55'	83	27	42	61	101	115	115	115	125	150	2.8
						(28)	(28)	(28)	(28)	(28)	(28)		
21	26/ 6 a 20h35'	27/ 6 a 4h20'	88	27	88	115	227	319	512	732	815	470	26.8
						(65)	(65)	(65)	(65)	(56)	(56)		
22	30/ 6 a 8h20'	30/ 6 a 11h10'	49	32	86	164	307	412	475	530	535	175	8.8
						(70)	(70)	(70)	(65)	(65)	(65)		
23	4/ 7 a 6h35'	4/ 7 a 11h50'	73	73	86	122	188	250	343	389	440	320	8.1
						(67)	(67)	(67)	(67)	(67)	(67)		
24	8/ 7 a 5h20'	8/ 7 a 10h15'	74	34	86	86	167	233	364	470	500	300	13.4
						(59)	(66)	(66)	(66)	(66)	(66)		
25	14/ 7 a 6h20'	14/ 7 a 11h40'	74	34	35	129	232	310	446	528	600	325	16.9
						(26)	(26)	(26)	(74)	(74)	(74)		
26	17/ 7 a 9h50'	17/ 7 a 14h40'	68	26	88	107	173	215	365	650	675	295	11.6
						(78)	(40)	(40)	(40)	(40)	(40)		
27	18/ 7 a 7h45'	18/ 7 a 10h50'	47	36	48	37	63	69	70	85	90	190	1.0

28	20/ 7 a 8h25'	20/ 7 a 16h35'	89	36	48	(21) (23) (23) (23) (23) (23)	147	246	322	425	607	700	495	19.6
29	25/ 7 a 14h55'	25/ 7 a 19h35'	85	18	86	(57) (74) (74) (74) (19) (19)	120	193	228	346	380	405	285	12.1
30	26/ 7 a 16h25'	26/ 7 a 18h25'	40	48	46	(73) (35) (106) (106) (106) (106)	103	186	251	275	275	275	125	3.5
31	30/ 7 a 16h20'	30/ 7 a 20h55'	59	34	90	(87) (87) (87) (87) (87) (87)	110	203	260	358	395	475	280	6.6
32	3/ 8 a 21h25'	4/ 8 a 7h10'	84	34	27	(46) (46) (46) (46) (46) (73)	110	204	296	517	623	825	590	36.4
33	6/ 8 a 14h40'	6/ 8 a 18h 5'	57	34	98	(47) (66) (25) (25) (66) (67)	53	100	144	185	195	235	210	1.6
34	7/ 8 a 3h35'	7/ 8 a 7h15'	51	36	24	(61) (61) (61) (61) (61) (61)	81	138	201	270	305	330	225	4.9
35	8/ 8 a 7h50'	8/ 8 a 14h35'	84	34	82	(37) (37) (37) (37) (37) (37)	83	158	211	323	365	405	410	15.1
36	10/ 8 a 17h25'	11/ 8 a 0h50'	77	26	24	(24) (80) (69) (104) (104) (104)	135	243	324	514	690	770	450	15.9
37	14/ 8 a 3h30'	14/ 8 a 6h50'	26	100	27	(73) (73) (73) (50) (50) (50)	71	135	174	214	215	215	205	3.5
38	17/ 8 a 2h30'	17/ 8 a 7h40'	85	34	86	(49) (49) (54) (49) (49) (49)	157	286	377	463	520	565	315	19.8
39	18/ 8 a 5h35'	18/ 8 a 11h20'	78	26	68	(57) (57) (57) (107) (107) (57)	74	135	200	312	345	375	350	7.6
40	20/ 8 a 6h20'	20/ 8 a 11h50'	85	34	25	(34) (34) (34) (34) (34) (34)	130	201	249	364	440	530	335	30.9
41	23/ 8 a 10h15'	23/ 8 a 15h15'	59	57	104	(18) (26) (26) (44) (44) (44)	92	179	264	412	445	495	305	5.4
42	26/ 8 a 1h55'	26/ 8 a 7h20'	85	34	82	(58) (58) (58) (58) (58) (57)	116	219	294	433	470	510	330	14.7
43	29/ 8 a 18h15'	30/ 8 a 0h30'	90	53	82	(59) (59) (59) (59) (59) (59)	106	180	253	331	360	580	380	15.1
44	31/ 8 a 21h 0'	1/ 9 a 2h 5'	87	34	73	(63) (63) (63) (37) (37) (94)	66	117	160	266	368	400	310	8.6
45	2/ 9 a 19h55'	3/ 9 a 0h45'	89	34	54	(95) (101) (101) (101) (101) (101)	108	173	236	356	410	440	295	11.7
46	3/10 a 23h25'	4/10 a 4h30'	72	57	70	(94) (49) (49) (83) (83) (83)	103	183	238	338	425	490	310	21.4
47	4/10 a 5h15'	4/10 a 7h55'	61	47	32	(55) (55) (55) (55) (55) (55)	15	24	29	48	75	90	165	3.4
						(72) (72) (72) (95) (95) (47)								

Maxima Maximorum

sur	5	mn	:	164
sur	10	mn	:	307
sur	15	mn	:	412
sur	30	mn	:	521
sur	60	mn	:	845
totalite			:	1620

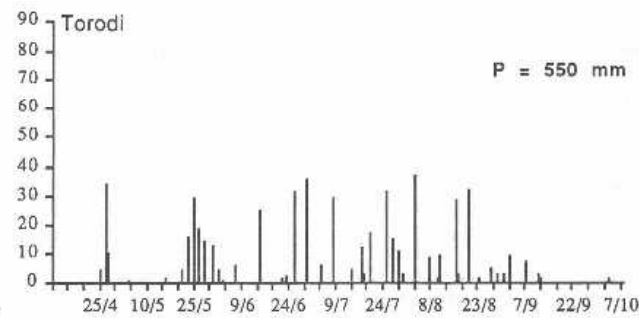
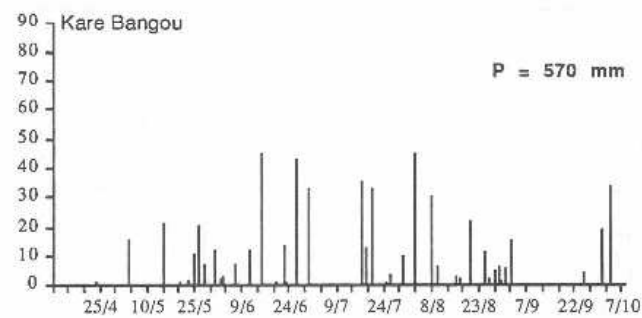
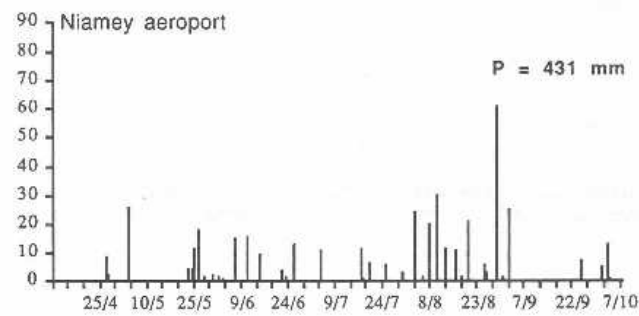
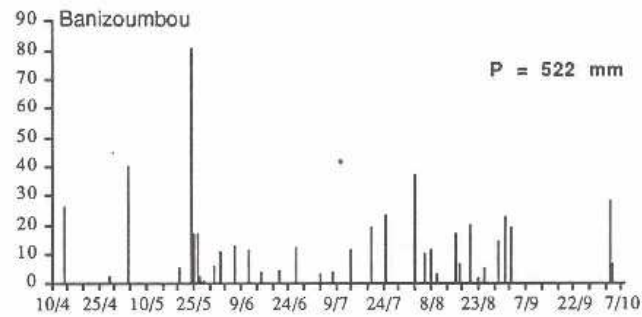


Figure 16. Distribution journalière des pluies pour quatre stations situées sur un transect est-ouest

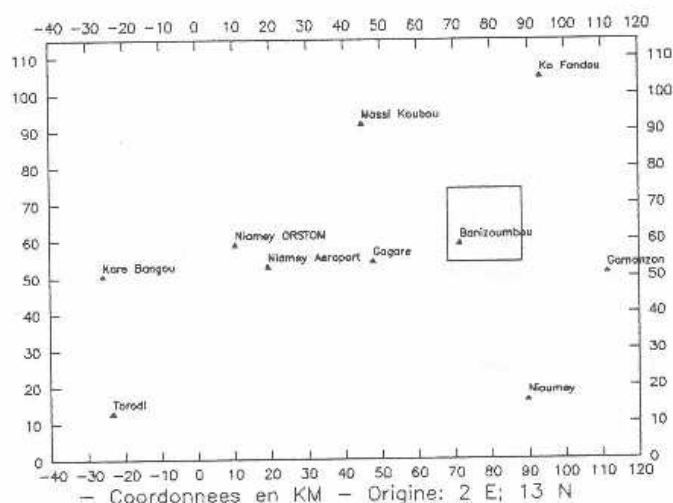


Figure 17. Localisation des quatre stations utilisées pour la visualisation de la répartition des pluies journalières au cours de la saison.

La distribution des pluies journalières au-cours de la saison pour 4 stations (fig. 16) répartis sur un transect Est-Ouest (fig. 17), montre une hétérogénéité tant du nombre d'événements supérieurs à 1 mm (de 35 à 44) que de la distribution des quantités de pluie.

Il est également intéressant, concernant les épisodes pluvieux, d'analyser la distribution fréquentielle des cumuls. On peut pour ce faire travailler soit par station, soit sur des pluies spatiales, c'est à dire intégrées sur une surface quelconque. Pour ce dernier cas on a calculé, pour chacun des 46 épisodes de la période 15 avril-15 octobre, la moyenne du cumul sur la zone de référence : le cumul d'un épisode donné est calculé sur chaque station, et ce champ de cumuls ponctuels est interpolé par krigeage pour obtenir le cumul spatial de l'épisode concerné. On ajuste au mieux une loi de Pearson III à 2 paramètres sur la distribution expérimentale (fig. 18a). Le travail par station donne lieu à l'identification d'un beaucoup plus grand nombre d'épisodes si on ne seuille pas les pluies (à Banizoumbou, 67 épisodes sans seuil, et 44 avec un seuil à 1 mm). Dans les deux cas la loi ajustée aux cumuls ponctuels est généralement une loi de Pearson III, beaucoup plus dissymétrique que celle ajustée aux cumuls spatiaux, comme le montre l'exemple de Banizoumbou donné en figure 18b (paramètre de forme λ de 0,4 contre 1,63 pour les cumuls spatiaux, le coefficient de dissymétrie de Fisher étant égal à $2/\lambda^{1/2}$ pour la loi de Pearson III). En seuillant les pluies de Banizoumbou à 1 mm, la moyenne des 44 épisodes monte à 11,9 mm, très proche de la moyenne des 46 cumuls spatiaux, mais la loi ajustée reste nettement plus dissymétrique (paramètre de forme égal à 0,7).

Cette comparaison entre distribution des cumuls ponctuels et des cumuls spatiaux mériterait une analyse plus approfondie. Il est cependant intéressant de constater qu'on peut ajuster une même loi sur les deux types de cumuls. L'augmentation du paramètre de forme lorsqu'on passe des cumuls ponctuels aux cumuls spatiaux correspond au lissage opéré par le calcul de la moyenne spatiale et doit pouvoir être relié à l'abattement. De plus la comparaison des moyennes et des effectifs des échantillons de valeurs ponctuelles seuillées avec leurs analogues pour les valeurs spatiales peut déboucher sur la détermination d'une procédure relativement objective de choix d'un seuil pour la détermination des événements pluvieux en une station.

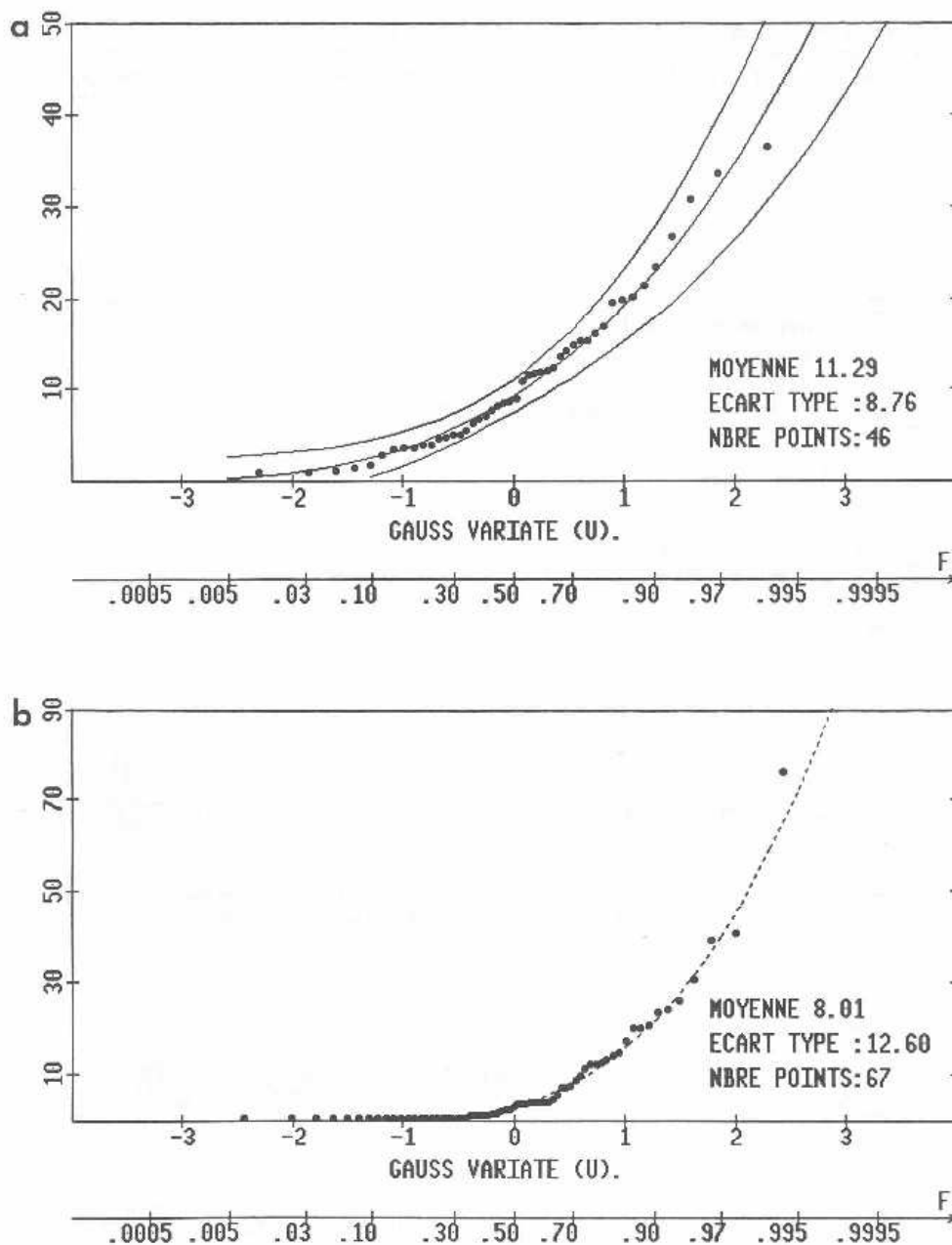


Figure 18. Distribution des cumuls épisodes. a. Cumuls intégrés par krigeage sur la zone de référence (46 épisodes entre le 15 avril et le 15 octobre). La loi ajustée est une loi de Pearson III à deux paramètres (paramètre de position fixé à 0), de paramètre d'échelle 6,94 mm et de paramètre de forme 1,63; pour $F=0,9995$, $P=59,4$ mm, et pour $F=0,9999$, $P=77,9$ mm. b. Distribution des cumuls pour la station de Banizoumbou. 67 pluies ont été enregistrées. La loi de Pearson III ajustée (paramètre de position fixé à 0), est de paramètre d'échelle 20,1 mm et de paramètre de forme 0,40.

Comme en 1989 et 1990, les épisodes de grande extension spatiale (au-moins 80% de stations touchées) représentent la plus grosse partie du cumul annuel (80% cette année contre 64% en 1990). Ils sont au nombre de 30, et leur structure spatiale, telle que représentée par un variogramme climatologique (fig. 19) est analogue à celle des années précédentes (modèle exponentiel; portée un peu plus grande).

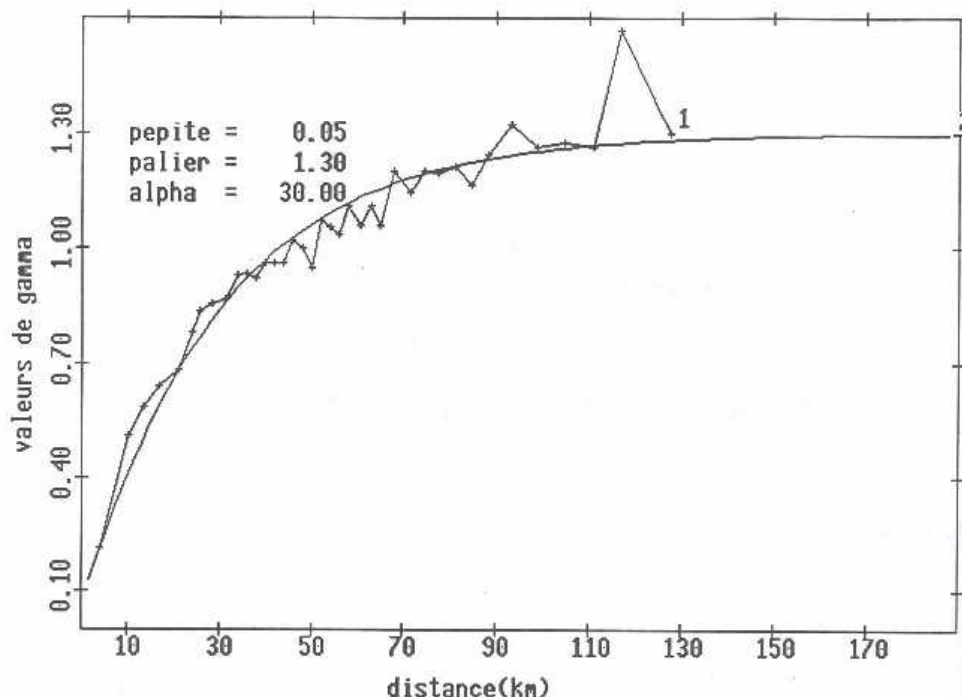


Figure 19. Variogramme climatologique des 30 épisodes de grande extension spatiale (au-moins 80% de stations en fonctionnement touchées) observés en 1991.

4.3 Petits pas de temps

En travaillant sur des cumuls du quart d'heure, on peut étudier la propagation des systèmes précipitants d'Est en Ouest, ainsi que la déformation du hyétogramme lors de cette propagation. Les deux exemples donnés sur les figures 20 et 21 illustrent les deux situations que l'on rencontre le plus souvent, s'agissant de larges systèmes convectifs.

Le 26 juin, les hyétogrammes observés dans la partie Est de la zone d'étude sont assez peu caractéristiques (pas de différenciation très nette entre la partie convective avant et la traîne stratiforme), et ce même si la durée de l'averse est à peu près identique à chaque station et que son début coïncide bien avec les plus fortes intensités. A partir de Gagare cependant, et jusqu'à l'évacuation du système par l'Ouest (Kare Bangou), on retrouve le hyétogramme propre aux lignes de grains (quand bien même il ne s'agirait ici que d'une convection organisée à grande échelle mais ne présentant pas toutes les caractères météorologiques d'une ligne de grains à l'échelle synoptique). Il faut également noter qu'à partir de Gagare, le système se déplace plus rapidement et plus régulièrement, et l'on est tenté d'établir un lien entre ces deux changements dans la

dynamique du système. Une étude sur une zone plus vaste permettrait sans doute de préciser son origine et son devenir, notamment si l'organisation ainsi amorcée sur le degré carré s'est conservée suffisamment longtemps pour qu'il se transforme en véritable ligne de grains.

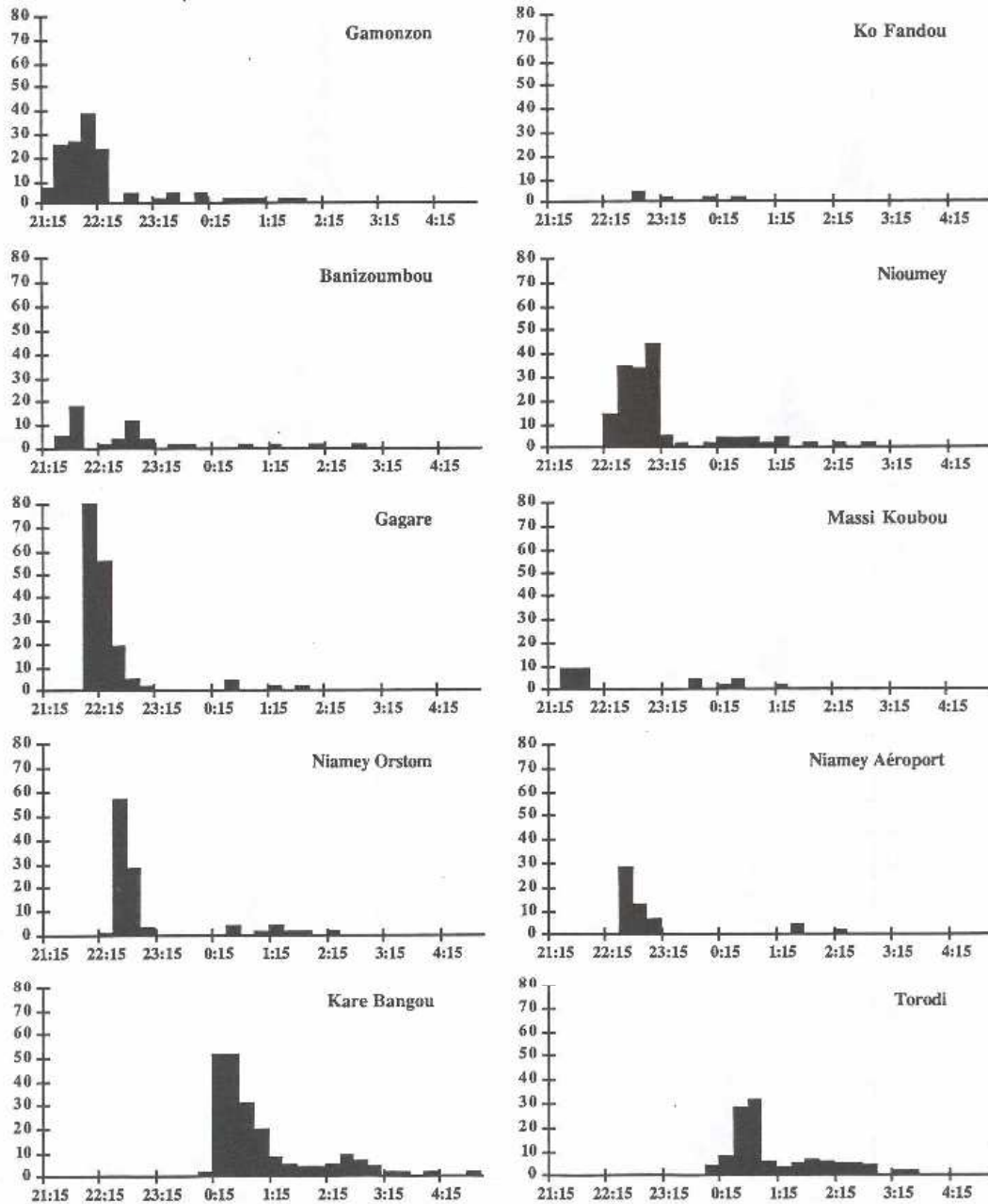


Figure 20. Hyétogrammes pour 10 stations définissant deux transects Est-Ouest, événement du 26 juin. La position des 10 stations est reportée sur la figure 17.

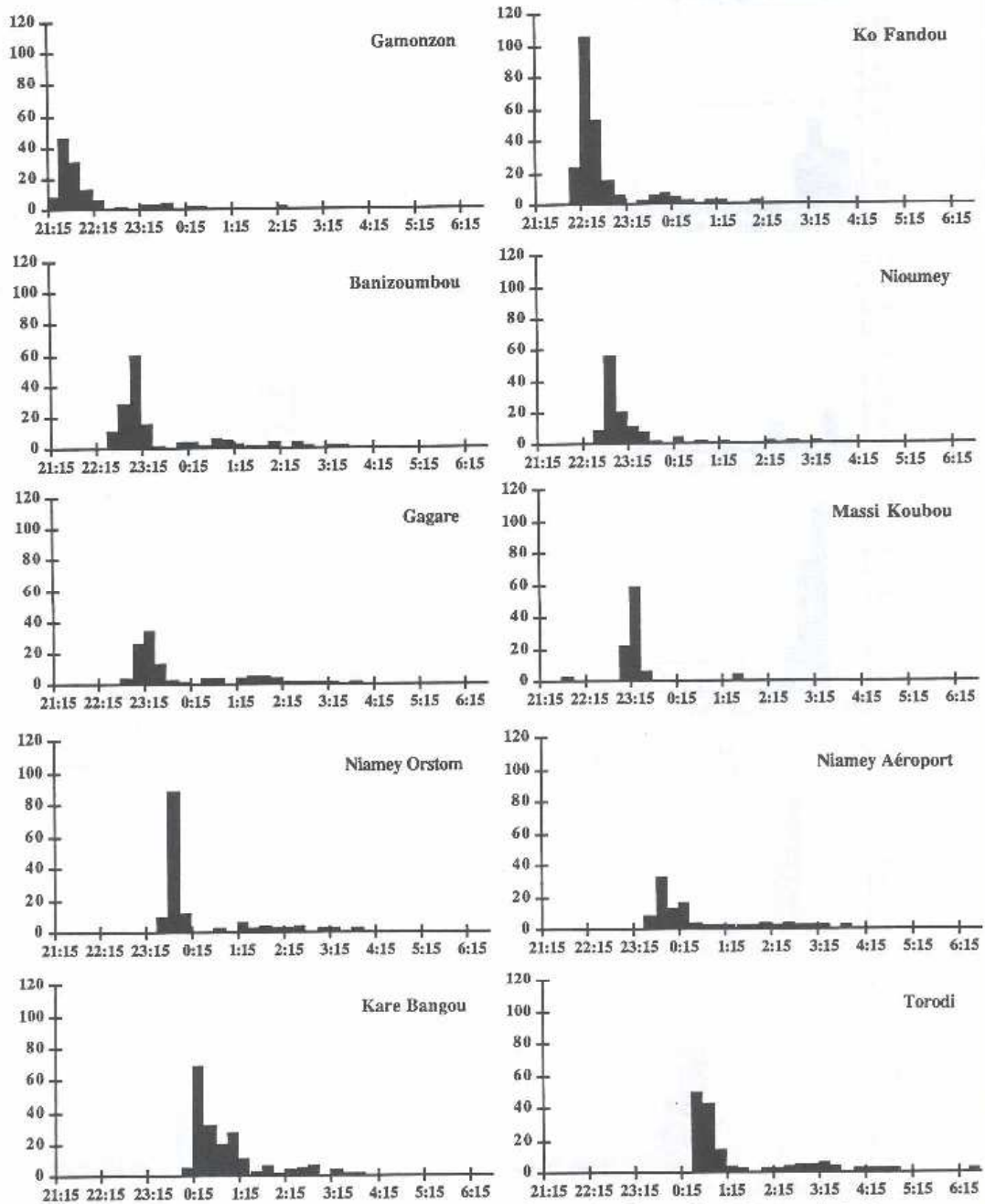


Figure 21. Hyétogrammes pour les mêmes 10 stations qu'en figure 20, événement du 3 août.

Le 3 août au contraire, tous les hyétogrammes représentés ont une forme similaire et on distingue clairement la pluie convective, séparée de la pluie stratiforme par une interruption de 30 à 45 minutes des précipitations. Le déplacement est régulier (40 km/h environ). Néanmoins, le hyétogramme de la partie convective présente des modifications notables d'une station à l'autre, tant en intensité qu'en forme. Particulièrement remarquable est la différence observée entre Niamey ORSTOM et Niamey Aéroport, deux stations distantes de 15 km environ. Un exemple similaire à ce deuxième cas est fourni par la ligne de grains du 20 août qui est présentée plus en détail au chapitre 6 (à eux trois les épisodes des 26/06, 03/08 et 20/08 représentent 1/6 de la pluie moyenne sur l'ensemble de la saison). Cette ligne de grains s'est déplacée à une vitesse moyenne de 50 km/h. Un examen rapide des images radar successives ou des cartes d'isohyètes tracés toutes les 5 minutes pourrait laisser penser à une grande similitude dans les intensités mesurées aux différents points, du fait de l'analogie des formes observées. En réalité, les hyétogrammes individuels, analysés selon les mêmes transects que ci-dessus, montrent des différences très significatives d'une station à l'autre.

A côté des études de dynamique, le calcul des cumuls sur de petits pas de temps permet également une analyse fréquentielle. Les maxima absolus de la saison 1991 ont été calculés en compilant les cumuls maximums de chaque épisode pour des pas de temps allant de 5 à 60 mn (voir le tableau 9). Les valeurs sont présentées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Périodes de retour et maximums enregistrés sur le réseau EPSAT-NIGER en 1991, calculée en prenant la série pluviographique de Niamey-Aéroport (1946-1983) comme référence.

Durée en mn	Quantité en mm	Station	Date événement	Période de retour
5	17,5	IH jachère	11/7	6,8
10	30,7	Niamey ORSTOM	30/6	28,3
15	41,3	Niamey ORSTOM	30/6	32,7
30	52,0	Kare Bangou	15/6	8,5
60	85,0	Gamonzon	26/5	33,7
sur l'averse	162 en 5h50'	Gamonzon	26/5	

Comme en 1990, on a comparé ces valeurs aux quantiles de la série pluviographique de Niamey-Aéroport (Bouvier, 1986). Les périodes de retour qui en résultent sont nettement plus faibles : alors que l'on atteignait des périodes de 200 à 50 ans pour des pas de temps de 5' à 30' en 1990, elles ne sont ici que de 7 à 30 ans. Par contre au pas horaire la période de retour augmente, et sur l'averse on atteint un total 50% plus important qu'en 1990 (102 mm à Ganki Bassarou).

4.4 Pluie à 1,5 m et pluie au sol

On a déjà mentionné que, pour étudier les différences entre pluie au sol et pluie à 1,50 m, deux sites (Banizoumbou et Kollo) avaient été équipés d'un pluviographe au sol placé à côté du pluviographe standard. Le taux de fonctionnement des appareils au sol a été de 60% pour Banizoumbou et 80% pour Kollo. Ces faibles pourcentages sont principalement dus au colmatage des entonnoirs, par la poussière, et cela malgré le grillage disposé au ras du sol pour fixer le sable. Les corrélations établies pour les averses supérieures à 1 mm donnent une pente de la droite de régression pluie au sol/pluie à 1,50 m de 1,02 pour Kollo, et de 1,13 pour Banizoumbou (fig. 22).

En ce qui concerne Banizoumbou, la corrélation repose sur 16 points seulement (les mesures de début de saison sont inexploitable du fait d'un problème mécanique sur le pluviographe au sol), avec une valeur isolée nettement plus forte que les autres, ce qui

doit conduire à relativiser la signification du coefficient obtenu. Comme cette valeur est située au-dessus de la droite de régression elle tend à augmenter la pente d'une part, et diminuer l'ordonnée à l'origine d'autre part qui est de ce fait négative. L'interprétation de ces deux paramètres est impossible avec un échantillonnage aussi restreint, même si on peut constater que la pente ainsi calculée est comparable à celle que l'on peut déduire des travaux de Chevallier et Lapetite (1986). Ces derniers ont comparé la pluie à 1 m et la pluie au sol entre 5° et 17° de latitude nord sur un ensemble de 15 pluviographes. Ils ont montré que le rapport pluie au sol/pluie à 1 m tendait à augmenter en remontant vers le nord (environ 1 vers 5°N pour une pluviométrie de 2000 mm et, environ 2 vers 17°N pour une pluviométrie de 150 mm). A la latitude de notre zone d'étude le rapport pluie au sol/pluie à 1 m serait d'environ 1,2.

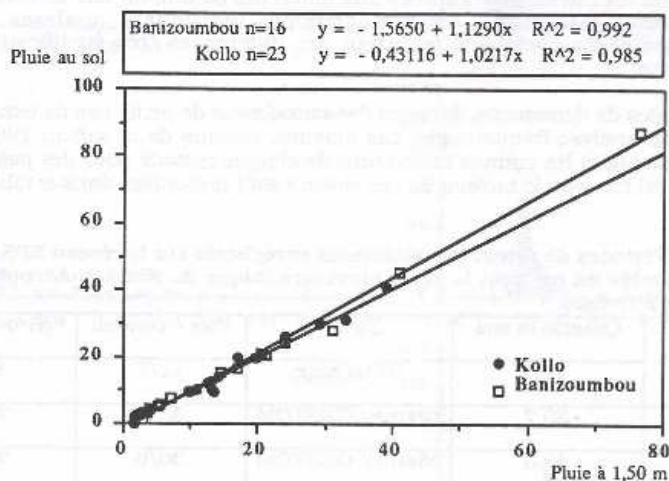


Figure 22. Comparaison pluie à 1,50 m et pluie au sol pour l'année 1991 aux stations de Kollo et Banizoumbou (cumuls par épisode en mm).

Sur Kollo, où on dispose de deux années de mesures, on constate que le rapport pluie au sol/pluie à 1,50 m est inversé entre 1990 (Lebel et Al., 1991) et 1991. Globalement sur les deux années on obtient un rapport sensiblement égal à 1,0 (fig. 23). Même si les rapports 1990 et 1991 restent proches, leur inversion d'une part, la valeur moyenne nettement inférieure à celle de Banizoumbou d'autre part, conduit à se poser des questions sur l'étalonnage du pluviographe au sol. Il est possible qu'en 1990, un mauvais réglage ou un axe légèrement faussé (problème rencontré en début de saison 1991 à Banizoumbou) ait conduit à une sous-estimation de la pluie au sol.

Parmi les facteurs influant sur le déficit de pluie enregistré par les pluviographes au dessus du sol, le vent est souvent cité comme étant le principal. A la station de Banizoumbou on dispose d'une station climatologique munie d'un anémomètre enregistreur. Il a donc été possible d'étudier la relation entre la vitesse moyenne du vent au-cours de l'averse et l'écart (pluie au sol-pluie à 1,50 m)/pluie au sol (fig. 24). Dans l'état actuel des mesures disponibles, aucune relation ne se dégage.

Bien qu'on s'exagère parfois l'importance des erreurs de mesure de la pluie ponctuelle par rapport aux erreurs résultant de l'échantillonnage spatial et/ou temporel, il reste que dans les régions sahéliennes, soumises à un vent quasi permanent qui peut être particulièrement fort sous les lignes de grains, il est nécessaire de cerner au mieux ces erreurs. L'automatisation des systèmes d'acquisition qui incite à des inspections moins fréquentes, la dispersion des efforts de suivi des appareils du fait de leur grand nombre, ont beaucoup contribué au mauvais taux de fonctionnement des pluviographes au sol. Une amélioration sur ce point est indispensable en 1992.

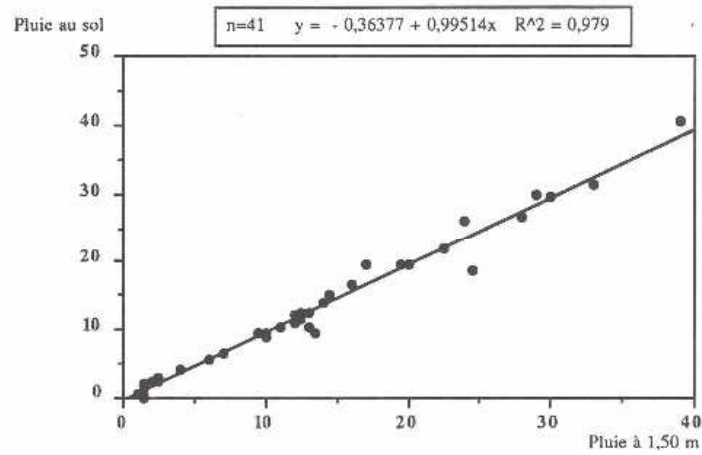


Figure 23. Comparaison pluie à 1,50 m et pluie au sol pour les années 1990 et 1991 à la station de Kollo .

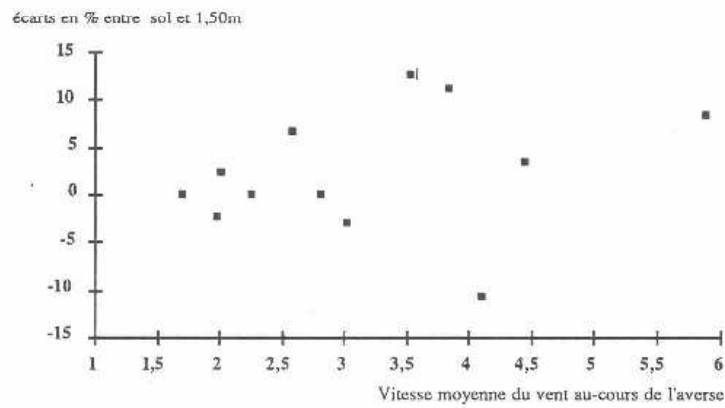


Figure 24. Relation entre vitesse moyenne du vent au cours de l'averse et écart relatif entre pluie au sol et pluie à 1,50 m pour l'année 1991 à la station de Banizoumbou.

5

LES DONNEES RADAR

5.1 Le Radar

Poursuivant les travaux de remise à niveau entrepris en 1989 (installation de SANAGA) et 1990 (actualisation SANAGA, peinture du radôme, réglage fréquence magnétron, remplacement du TR; Lebel et Al., 1991), un certain nombre d'actions ont été menées à bien durant l'inter-saison. La première a été la remise à niveau de l'installation électrique (câblage secteur), puis le changement des pignons endommagés à la fin de la campagne 1990. Différentes opérations sur le système radar et le système d'acquisition ont ensuite été réalisées fin mai, dont le détail est donné en annexe 2.

5.2 Protocole d'alerte et de suivi

Le protocole d'alerte établi pour 1990 a été maintenu en 1991, sa mise en oeuvre ayant été facilitée par l'établissement d'une ligne téléphonique directe pour la salle de prévision de l'aéroport. Ce protocole est rappelé en annexe 3.

5.3 Déroulement de la campagne

La première veille a eu lieu le 7 juin 1991 à l'occasion d'un orage localisé sur Niamey. A compter de cette date, l'acquisition a porté sur 25 événements pluvieux (tableau 11), totalisant 165 heures d'observation, ce qui représente plus de la moitié des 47 épisodes identifiés à partir du réseau de pluviographes, dont la liste figure au tableau 9. La dernière veille est en date du 17 septembre.

Comme en 1990 les difficultés principales ont été liées au manque de fiabilité de l'alimentation électrique, provoquant notamment la mise hors service de l'ensemble régulateur-onduleur le 8 août. A compter de cette date, le radar a été connecté, de façon exceptionnelle et transitoire, au réseau secours de l'aéroport (groupe électrogène et gros onduleurs centraux).

Les événements acquis sous SANAGA sont ensuite intégrés dans la banque de données BADORA. En 1991, cette intégration s'est effectuée pratiquement au fur et à mesure de l'acquisition des données, c'est à dire quelques jours après chaque veille. Au cours de cette opération, un premier filtrage des données disponibles s'effectue. Un secteur de référence est défini : chaque acquisition complète sur ce secteur constitue une image (Valero, 1991). Dans un premier temps aucun secteur particulier n'a été privilégié malgré la localisation de la majeure partie du réseau sol à l'est du radar, et le secteur de référence est donc de 360°. A partir de cette définition et sur la base de critères contrôlés par l'utilisateur, les acquisitions portant sur un secteur incomplet (par rapport au secteur de référence) ou redondantes sont éliminées. Il en est de même en cas de variation de site trop importante au cours d'un passage sur le secteur de référence; le site peut varier d'un passage à un autre, et dans ce cas la banque est capable de trier, lors de l'extraction des données, les images en fonction de leur site. Le catalogue des événements tels qu'archivés dans SAISON91 est présenté dans le tableau

12. L'événement du 29 août a été éliminé du fait de la mauvaise qualité des enregistrements effectués. Par ailleurs, les 26 et 30 juin 2 veilles effectuées le matin ont été récupérées ultérieurement et incorporées dans SAISON91, ce qui porte le nombre d'événements de cette banque de départ à 26.

Tableau 11 : Récapitulatif des acquisitions radar de la saison 1991.

DATE	Personnes de veille	Heure début	Durée	Nbre images	site 0.8	Commentaires
7/06/91	GATHELIER	6h50	1h10	9	8	Convection locale
11/06/91	CAZENAVE GATHELIER	17h04	10h50	57	38	ligne prise 10 km de l'aéro . pb CAF
15/06/91	GATHELIER LEBEL	22h50	1h00	11	6	Convection locale
20/06/91	CAZENAVE TAUPIN	20h01	7h00	32	28	Ligne à 200 km top à 50.000 pieds
26/06/91	GATHELIER LEBEL	18h53	4h52	50	36	Nuage au nord-est
30/06/91	GATHELIER	20h21	6h12	26	20	Multiples coupures
04/07/91	AMANI CAZENAVE GATHELIER	4h11	7h04	41	31	Groupe de CB au Nord-est à 150km Pb onduleur.
07/07/91	GATHELIER TAUPIN	19h28	4h02	30	26	
08/07/91	CAZENAVE	3h54	7h31	54	35	Formation à l'Est à 130 km top 40000 p
14/07/91	CAZENAVE GOSSET	4h09	8h12	58	34	Cb au 060 à 110 km Coupures secteur
17/07/91	AMANI CAZENAVE GATHELIER	4h09	10h14	58	42	Pb avec l'horloge SANAGA (-18mn)
18/07/91	GATHELIER	8h07	3h23	19	14	
20/07/91	GATHELIER TAUPIN	02h00	13h31	72	60	Passage de 2 formations
25/07/91	AMANI CAZENAVE	13h36	7h45	47	31	Pb avec onduleur, CAF, cristaux
30/07/91	GATHELIER	14h30	3h00	35	26	
03/08/91	AMANI GATHELIER	20h00	6h07	56	37	coupures secteurs
07/08/91	TAUPIN LEBEL	00h30	7h30	62	41	Système organisée
10/08/91	B. MOHAMED CAZENAVE CHIRON	14h22	12h00	89	62	Groupe de CB au nord-est .
16/08/91	TAUPIN	22h53	9h20	57	47	
20/08/91	CAZENAVE	03h23	8h39	47	39	Tres belle ligne prise a 210 km
26/08/91	CAZENAVE	2h12	8h08	47	40	Système à 60 km
29/08/91	CAZENAVE CHIRON	19h09	4h03	21	21	Convection sur Niamey
31/08/91	CAZENAVE	19h45	4h30	34	27	
02/09/91	CAZENAVE	17h49	6h09	33	29	Plusieurs cellules en lignes à l'est
17/09/91	CAZENAVE	05h02	1h33	10	10	Petites cellules à l'est.
Total au 10 septembre 1991 :			163h45	1061	788	

Tableau 12 : BADORA-91 : catalogue des épisodes.

B A D O R A - E P S A T N I G E R							
BANQUE DE DONNEES RADAR							
(c) Laboratoire d'Hydrologie - Centre ORSTOM - Montpellier - FRANCE							
28/02/1992 16:36:36		EDITION DU CATALOGUE DES EVENEMENTS					
DU		-----DEBUT-----		A		-----FIN-----	
DEBUT	FIN	STAT	QUAL	NBR	TAILLE		
JJ/MM/AAAA HH:MM:SS	JJ/MM/AAAA HH:MM:SS			IMAGES	(ko)		
07/06/1991 06:55:03	07/06/1991 16:14:12	D	Pb	36	828		
11/06/1991 17:10:46	12/06/1991 03:54:02	D	Pb	45	944		
15/06/1991 22:54:23	15/06/1991 23:48:48	D	Pb	6	148		
20/06/1991 20:01:22	21/06/1991 03:00:36	D	Pb	25	560		
26/06/1991 08:34:00	26/06/1991 08:34:00	D	Pb	1	13		
26/06/1991 18:53:23	26/06/1991 23:35:16	D	Pb	40	1051		
30/06/1991 08:30:10	30/06/1991 09:30:24	D	Pb	5	98		
30/06/1991 22:34:01	01/07/1991 02:33:41	D	Ok	18	239		
04/07/1991 04:44:45	04/07/1991 11:05:39	D	Pb	28	543		
07/07/1991 19:32:13	07/07/1991 23:30:18	D	Pb	20	263		
08/07/1991 03:54:42	08/07/1991 11:25:48	D	Pb	39	813		
14/07/1991 04:09:43	14/07/1991 12:21:45	D	Pb	43	895		
17/07/1991 04:09:46	17/07/1991 14:23:37	D	Pb	43	623		
18/07/1991 08:07:55	18/07/1991 11:30:58	D	Pb	14	194		
20/07/1991 02:00:26	20/07/1991 11:44:35	D	Pb	40	588		
25/07/1991 13:36:54	25/07/1991 21:21:51	D	Pb	31	1232		
30/07/1991 14:46:49	30/07/1991 17:29:06	D	Pb	27	482		
03/08/1991 20:00:31	04/08/1991 02:07:14	D	Pb	36	1277		
07/08/1991 00:59:22	07/08/1991 06:32:13	D	Pb	34	526		
10/08/1991 14:22:09	11/08/1991 02:20:42	D	Pb	61	2276		
16/08/1991 22:53:03	17/08/1991 08:13:48	D	Pb	42	1463		
20/08/1991 03:23:09	20/08/1991 12:02:29	D	Pb	45	1500		
26/08/1991 02:12:34	26/08/1991 10:20:36	D	Pb	44	1113		
31/08/1991 19:51:10	31/08/1991 23:15:53	D	Pb	23	356		
02/09/1991 17:49:15	02/09/1991 23:58:18	D	Pb	29	411		
17/09/1991 05:02:53	17/09/1991 06:35:17	D	Pb	10	142		

26 enregistrements lus

5.4 Remise à niveau des différentes acquisitions

Les 26 épisodes archivés dans SAISON91 ne sont pas tous équivalents sur le plan de l'intérêt hydrologique ou sur celui de la qualité des données, même après le premier filtrage. Certains épisodes sont incomplets (interruptions lors du passage du système précipitant sur le degré carré ou veille démarrée tardivement) ou d'intérêt secondaire au premier abord. C'est ainsi que seuls 12 des épisodes pluvieux catalogués dans SAISON91 ont été conservés pour mener à bien une analyse sur la qualité des données acquises.

La première étape de cette analyse consiste à comparer le niveau moyen de réflectivité des échos de sol d'une veille à l'autre. Pour ce faire on ne garde que les images obtenues avant que le système pluvieux n'atteigne la région des 20 kilomètres autour du radar, où se trouve concentrés les échos de sol. Ce choix est assez aisé, dans la mesure où les 12 événements sélectionnés correspondent tous à des systèmes bien organisés se déplaçant d'est/nord-est en ouest/sud-ouest, et atteignent donc le radar après avoir traversé notre zone d'étude. En faisant la moyenne par secteurs de 10° et sur l'ensemble des images choisies pour une veille donnée, on obtient une assez bonne idée

du niveau auquel opérait la chaîne d'émission-réception au cours de cette veille. Sur la figure 25 on constate des écarts allant jusqu'à 50 db de rapport signal/bruit entre la veille du 11 juin (cristaux neufs) et celle du 2 septembre (cristaux endommagés en fin de campagne). Un examen attentif de cette figure a conduit à éliminer 4 veilles. Celle du 2 septembre est d'un niveau trop bas et présente peu de différences entre les secteurs, preuve d'un manque de sensibilité. La veille du 25 juillet est également très basse, mais surtout présente une anomalie de comportement dans le secteur 65°-85° (remontée du niveau moyen des échos de sol par rapport aux secteurs environnants, alors que pour les autres événements il diminue). De façon analogue les données du 3 août forment quasiment un palier dans le secteur 0°-115°, alors que les autres veilles présentent deux minima bien marqués à 35 et 85°. Pour ce qui est de la veille du 11 juin, c'est son niveau moyen nettement plus élevé que les autres qui a conduit à la laisser provisoirement de côté, sachant que par ailleurs elle ne présente qu'un intérêt limité sur le plan hydrologique.

EPSAT/NIGER 91 : Echos de sol

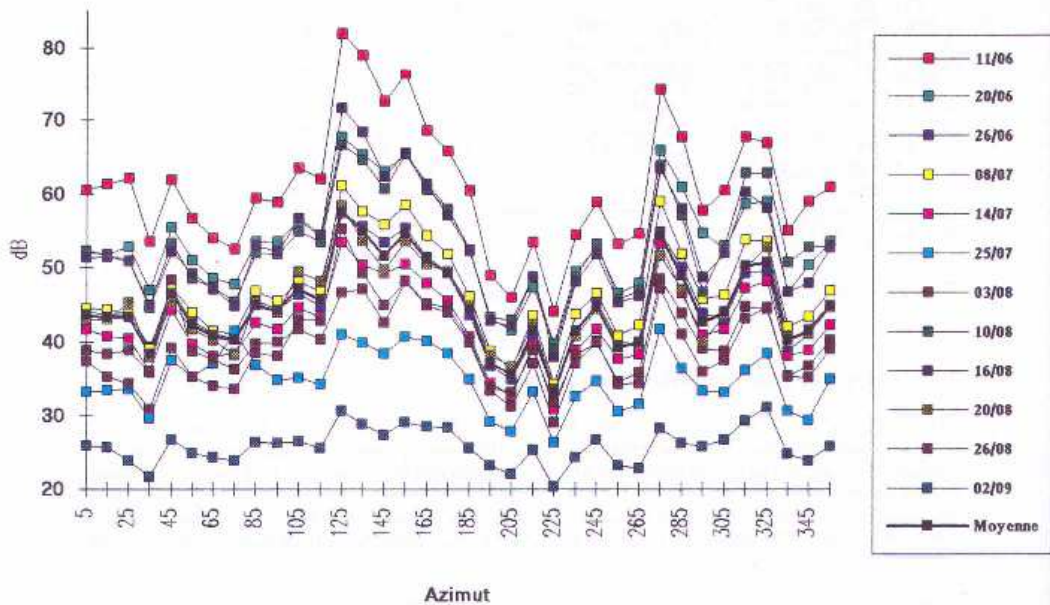
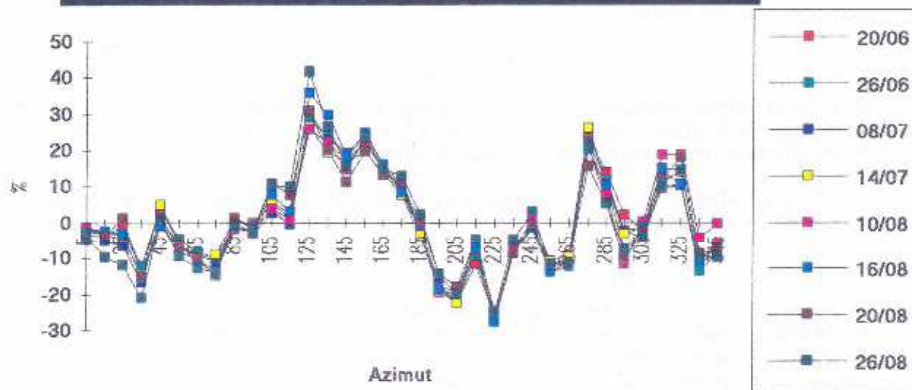


Figure 25. Moyenne des réflectivités des échos de sol sur l'ensemble d'une veille et par secteur de 10°. Pour établir ce graphique on a conservé uniquement les images acquises avant l'arrivée des systèmes précipitants sur la zone d'échos de sol.

Ecart relatif par rapport à la moyenne de la veille



Remise à niveau des veilles

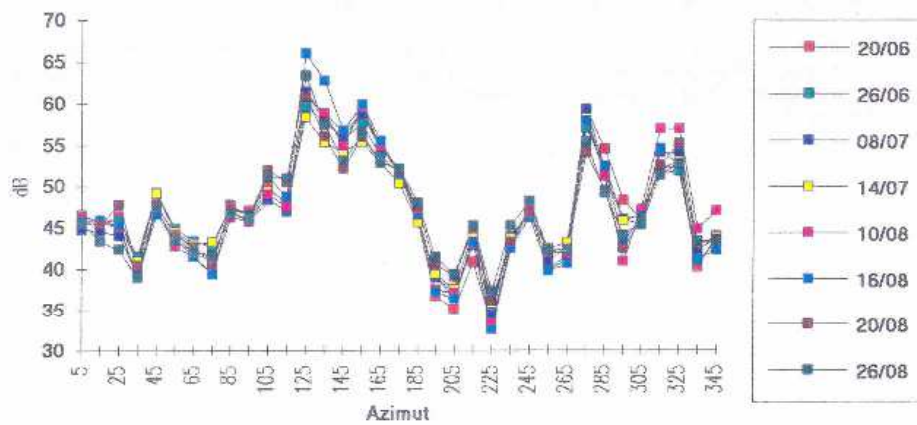


Figure 26. En haut: écarts relatifs entre la moyenne des réflectivités des échos de sol par secteur de 10° et la moyenne d'ensemble pour la veille. En bas: réflectivités des échos de sol par secteur de 10° après remise à niveau. La remise à niveau a été opérée en additionnant, aux valeurs d'une veille donnée j (figure 25) le terme $Z_0^* - Z_j^*$ (Z_0^* : moyenne d'ensemble sur toutes les veilles, Z_j^* : moyenne d'ensemble de la veille j).

Dans une deuxième étape on a été amené à comparer les variations relatives des niveaux des huit veilles conservées en calculant pour chacune d'elle la moyenne Z_j^* des 36 valeurs par secteur :

$$Z_j^* = 1/36 \sum z_{ij},$$

où z_{ij} est la valeur moyenne de z pour les échos de sol du secteur i , au cours de la $j^{\text{ème}}$ veille. D'après le tableau 5.4, on voit que Z_j^* varie entre 53,6 db pour la première des 8 veilles retenues (le 20 juin) et 39,0 db pour la dernière (le 26 août).

Afin de s'affranchir de ces fluctuations de niveau moyen d'une veille à l'autre, on calcule des écarts relatifs :

$$e_{ij} = (z_{ij} - Z_j^*) / Z_j^*,$$

La figure 26 montre que les variations par secteur de ces écarts relatifs sont assez semblables, c'est à dire que pour ces huit veilles le radar émettait en moyenne pareillement dans toutes les directions, à une constante près. Ceci permet de définir le niveau moyen général Z_0^* (47,1 db) représentant un niveau standard d'opération pour la saison 1991:

$$Z_0^* = 1/8 \sum Z_j^*.$$

L'ensemble des données des huit veilles (pour chaque radiale et pour chaque porte) sont alors remises à niveau par l'opération suivante :

$$z_c = z + (Z_0^* - Z_j^*),$$

où z_c est la valeur de réflectivité corrigée des effets de variation de niveau de la chaîne d'émission-réception d'une veille à l'autre.

Ces valeurs ne sont en aucune manière étalonnées par rapport aux performances nominales du radar ou par rapport à une cible de référence. Il est donc incontournable que, lors de la comparaison du signal radar transformé en mm de pluie avec les données sol, des différences significatives de moyennes apparaîtront qui conduiront à affecter un facteur correctif au niveau standard d'opération Z_0^* .

Les valeurs z_c pour les 8 veilles sont stockées dans une sous-banque de structure BADORA : R_A_N91, à partir de laquelle des études approfondies sur la quantification des précipitations utilisant les données du radar de Niamey pourront être menées.

Tableau 13: Niveau moyen des échos de sol par secteurs de 10°, pour les 8 veilles retenues aux fins de remise à niveau. Le niveau moyen par veille, Z_j , varie entre 53,6 dbz pour la première veille retenue (le 20 juin) et 39,0 dbz pour la dernière (le 26 août).

Données de base									
	20/06	26/06	08/07	14/07	10/08	16/08	20/08	26/08	Moyenne
5	52,3	44,1	44,5	41,7	52,2	51,4	43,1	37,4	45,8
15	51,9	43,7	44,4	40,8	51,7	51,5	43,0	35,2	45,3
25	52,9	43,7	43,8	40,4	50,9	50,9	45,3	34,3	45,3
35	47,0	39,3	39,1	36,1	45,0	44,6	38,0	30,8	40,0
45	55,5	47,0	47,5	44,3	53,3	52,2	45,3	39,2	48,0
55	51,1	42,7	44,0	39,7	48,6	49,2	41,7	35,3	44,0
65	48,6	41,1	41,5	38,1	47,3	47,1	40,2	34,0	42,2
75	47,8	40,5	41,1	38,4	45,4	44,9	38,2	33,6	41,2
85	53,5	45,5	46,9	42,6	52,0	53,0	45,3	38,5	47,2
95	53,6	44,4	45,5	41,7	51,8	52,2	43,9	38,1	46,4
105	56,4	46,4	48,1	44,6	54,9	56,7	49,5	43,0	50,0
115	54,2	44,7	46,8	43,3	53,4	54,4	48,1	42,8	48,5
125	67,6	57,4	61,1	53,4	66,6	71,6	58,4	55,2	61,4
135	65,3	55,6	57,6	50,4	64,6	68,3	53,6	49,3	58,1
145	63,0	53,4	55,8	49,3	60,7	62,3	49,7	45,0	54,9
155	65,4	55,3	58,5	50,5	65,4	65,5	53,5	48,1	57,8
165	61,3	51,4	54,3	47,9	60,6	61,1	50,5	44,8	54,0
175	58,0	49,4	51,8	45,5	58,0	57,1	49,5	44,0	51,7
185	52,4	43,6	46,1	40,7	52,3	52,3	44,8	39,9	46,5
195	43,1	36,7	38,8	34,4	43,3	42,8	38,2	33,3	38,8
205	41,6	34,9	36,3	32,7	42,9	42,0	36,6	31,2	37,3
215	47,3	40,6	43,5	39,5	48,8	48,8	42,4	37,1	43,5
225	39,8	33,2	34,2	30,9	39,1	38,0	33,6	29,1	34,7
235	49,5	41,0	43,7	38,9	48,7	48,1	40,8	37,1	43,5
245	52,7	45,4	46,6	41,7	53,2	51,9	44,4	40,1	47,0
255	46,5	40,0	40,8	37,6	45,7	45,3	39,4	34,2	41,2
265	47,9	39,7	42,3	38,3	46,9	46,2	39,6	34,3	41,9
275	65,8	54,8	59,0	53,3	63,8	63,4	51,6	47,2	57,4
285	60,9	50,1	51,9	46,5	57,1	58,0	47,0	41,0	51,6
295	54,7	43,8	45,8	40,9	46,7	48,7	40,0	35,9	44,6
305	52,5	43,1	46,3	41,7	53,0	52,0	43,5	37,5	46,2
315	58,6	49,3	53,8	47,2	62,8	60,2	50,1	43,2	53,2
325	59,0	49,6	53,6	48,1	62,8	58,1	52,7	44,6	53,6
335	46,7	38,7	42,0	38,1	50,7	46,8	40,7	35,2	42,4
345	50,4	41,0	43,4	38,9	52,8	47,9	41,1	35,1	43,8
Moyenne	53,6	44,9	46,9	42,2	52,9	52,7	44,7	39,0	47,1

LA LIGNE DE GRAINS DU 20 AOUT

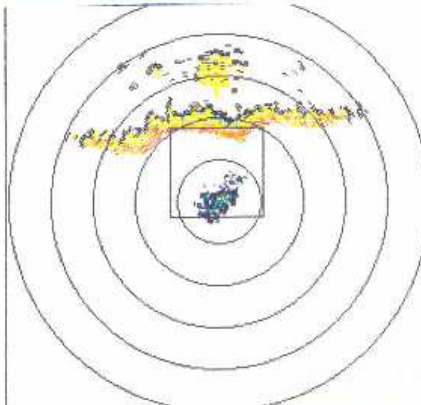
Avec 30,9 mm (tableau 9), la ligne de grains du 20 août 1991 ne constitue que le troisième événement de la saison par la quantité d'eau totale tombée sur le degré carré: on a estimé les cumuls moyens sur la zone de référence à 36,4 mm pour le 3 août et 33,6 mm pour le 26 mai. Cependant c'est la ligne de grains à la fois la plus caractéristique de la saison 1991 et celle qui a été la mieux observée, du fait d'une alerte précoce qui a rendu possible son suivi durant tout le temps qu'elle a mis pour traverser la zone de détection radar. Elle s'est déplacée régulièrement à une vitesse moyenne de 50 km/h. Toutes les stations en fonctionnement sur la zone d'étude (soit 85 sur 96¹) ont enregistré de la pluie avec un maximum sur l'épisode de 53 mm à la station de Maroberi Zeno (N° 44). On peut noter au passage que cette valeur n'est que le quinzième plus important maximum pour les 47 épisodes de la saison. Il en est de même pour les cumuls maximums (ponctuels c'est à dire à une station) aux différents pas de temps (voir tableau 9), qui ne sont jamais parmi les plus forts enregistrés au cours de la saison. Ce n'est donc pas les intensités locales qui sont remarquables dans cette ligne de grains, mais sa structure (comme le montre les images radar des pages suivantes) et le niveau d'ensemble du champ de précipitations: à partir de totaux ponctuels qui n'ont rien d'exceptionnels, on obtient finalement un des plus forts cumuls sur l'ensemble du degré carré. Ceci ressort bien des cartes des cumuls par épisode données en annexe 5. On peut par ailleurs envisager que ces intensités locales relativement modérées pour un tel système précipitant soient en partie liées au fait qu'il a traversé la région en début de matinée, c'est à dire à une heure de la journée où les conditions locales sont peu propices au renforcement de la convection.

Dans les pages qui suivent sont reproduites les images radar successives, à intervalle de 10 minutes, (pp 52 à 53), puis les "images sol" qui sont des cumuls sur 5 minutes interpolés dans l'espace à partir des seules mesures pluviographiques (pp 54 à 57). En ce qui concerne les images radar, il s'agit des images remises à niveau selon la procédure décrite au chapitre précédent. En se reportant au tableau 13, on constate que le niveau moyen des échos de sol a été de 44,7 dbz au cours de cette veille, soit 9 dbz de moins que lors de la veille du 20 juin lorsque les cristaux étaient neufs. La remise à niveau, effectuée sur un niveau moyen pour la saison et non au niveau maximum du début de campagne a donc permis de corriger une partie de la sous-détection pour les images du 20 août. On peut estimer qu'il subsiste néanmoins une plage d'incertitude de l'ordre de un niveau de couleur soit 5 dbz. Cette incertitude ne pourra être levée qu'après une étude détaillée de la calibration par les données sol; elle n'enlève cependant rien aux renseignements qu'on peut retirer sur la structure interne et la dynamique de cette ligne de grains.

Sur les images des pages suivantes on pourra remarquer notamment deux choses. Tout d'abord la traîne stratiforme reste longtemps non détectée du fait de l'atténuation dans la partie frontale convective et d'un possible remplissage partiel du faisceau. Ensuite on observe une zone d'échos faibles² (verts) signalant une région sans pluie, correspondant à l'arrêt des précipitations observé sur les hyétogrammes de la figure 27 entre le pic convectif et les faibles précipitations stratiformes.

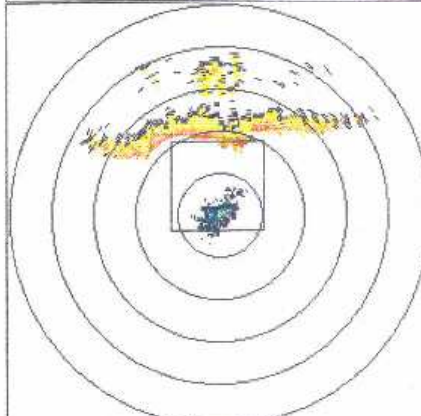
¹ Les 3 stations de Ouallam sont exclues de ces analyses parce que trop éloignées du réseau principal et n'ayant été installées que tardivement.

² Les zones d'échos intenses sont en rouge, marron et gris, les zones d'échos faibles en bleu et vert; le jaune marque l'apparition des précipitations.



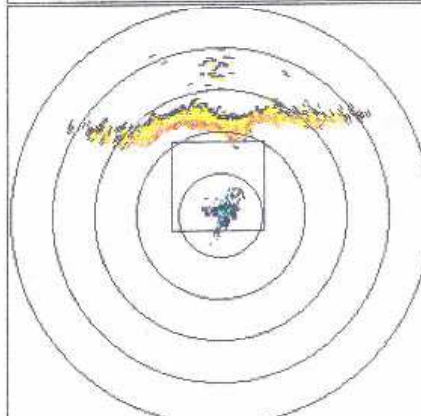
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 05:23:15

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 05:29:43



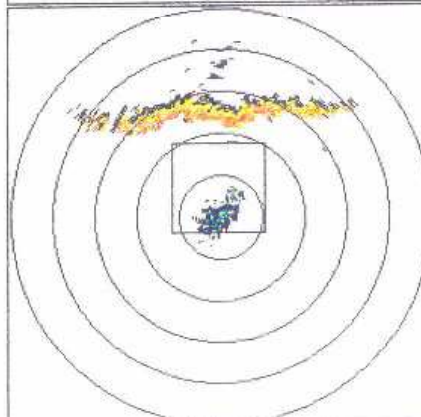
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 05:29:43

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 05:49:51



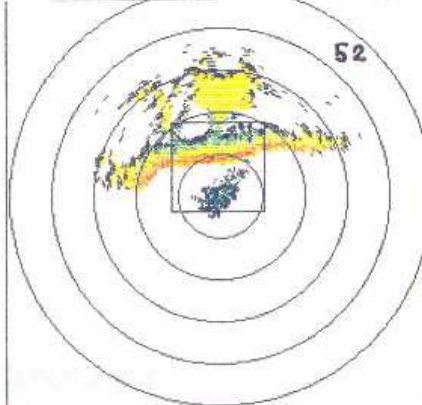
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 05:49:51

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:09:36



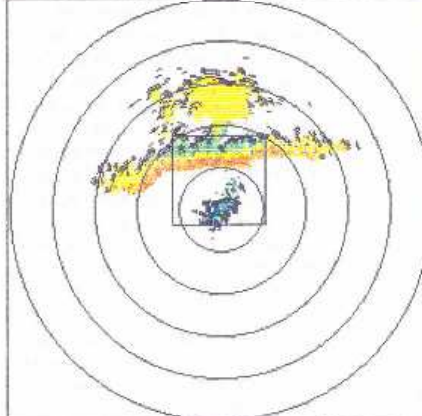
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:09:36

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:20:12



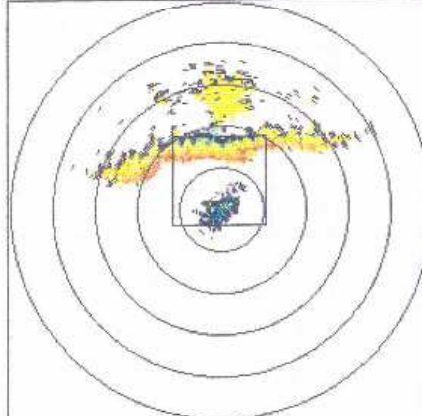
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:20:12

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:39:35



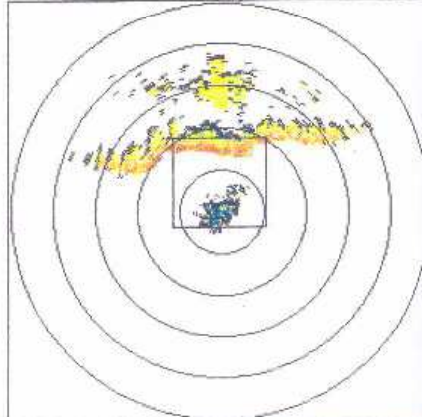
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:39:35

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:43:08



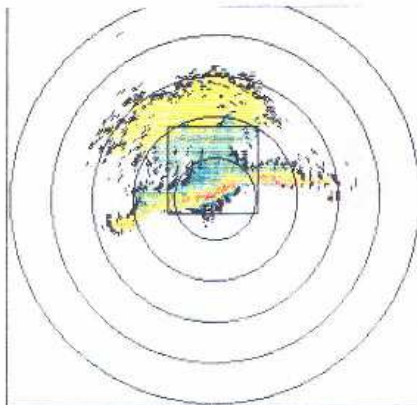
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:43:08

BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:50:00

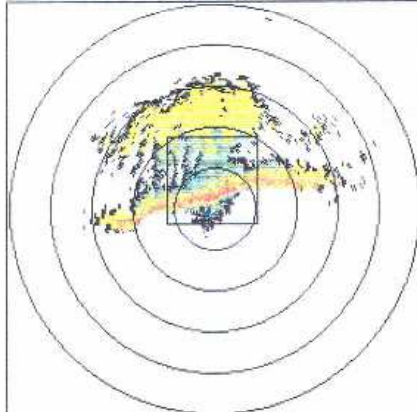


BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:50:00

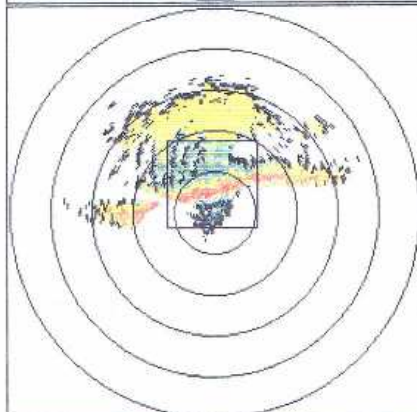
BADORA/VISU ORSTON/NTAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:59:35



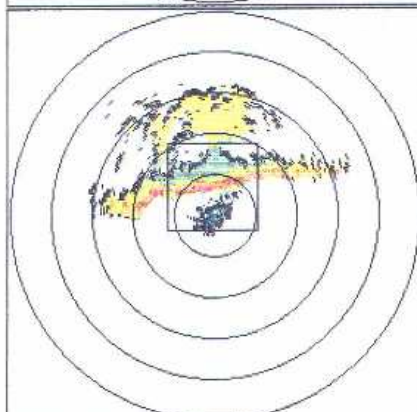
BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 07:19:47
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km
 BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 07:59:52
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km



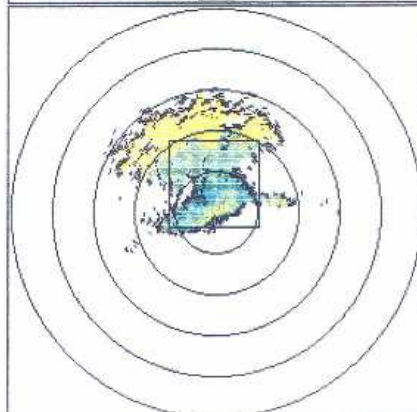
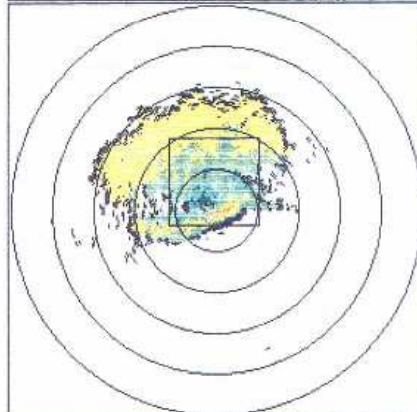
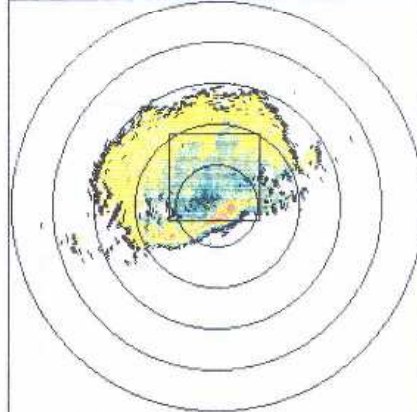
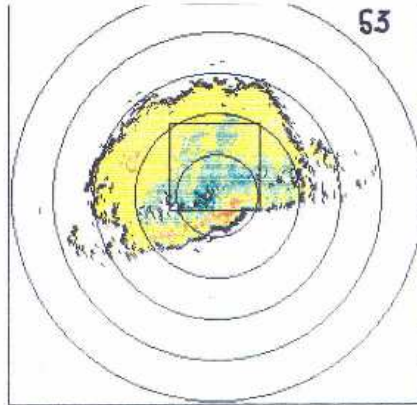
BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 07:09:50
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km
 BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 07:49:49
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km

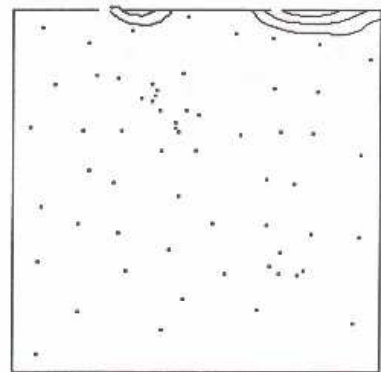


BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:59:54
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km
 BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 07:39:46
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km

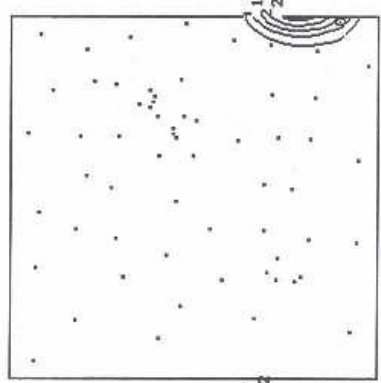


BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 06:49:29
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km
 BAOBPA/VISU ORSTOM/NIAMEY
 DATE..... 20/08/1991 07:29:47
 RESOLUTION... 0500 m
 MARK..... 50 km

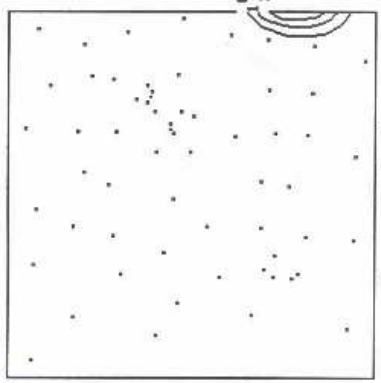




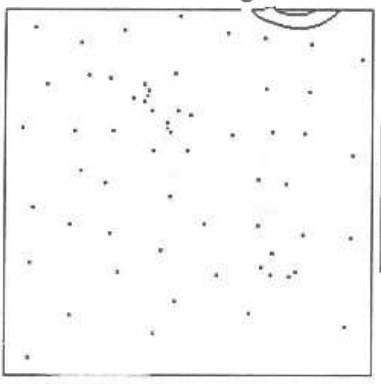
20/08/1991 06:55:00



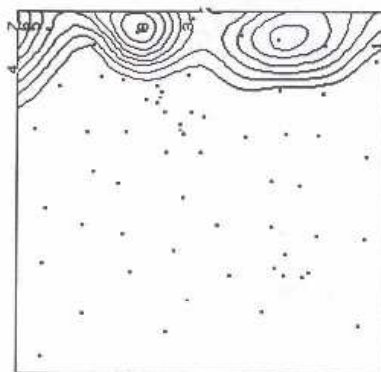
20/08/1991 06:50:00



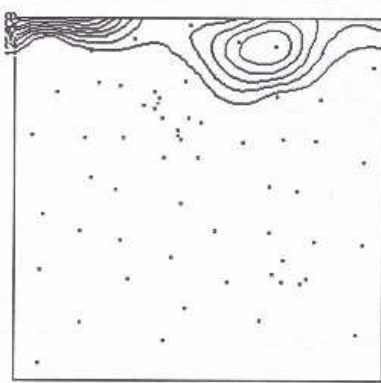
20/08/1991 06:45:00



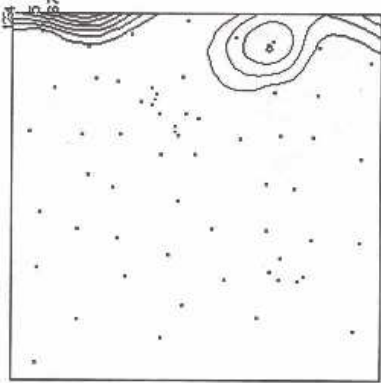
20/08/1991 06:40:00



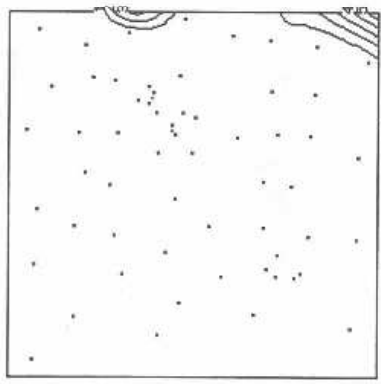
20/08/1991 07:15:00



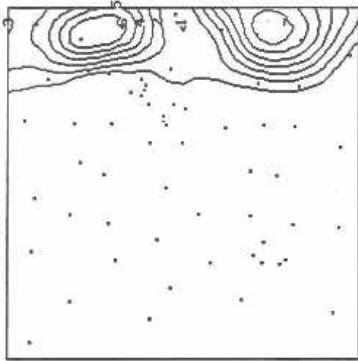
20/08/1991 07:10:00



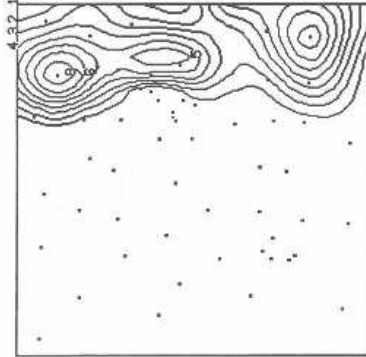
20/08/1991 07:05:00



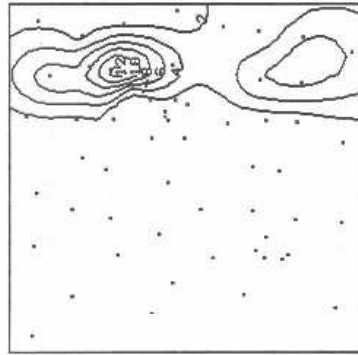
20/08/1991 07:00:00



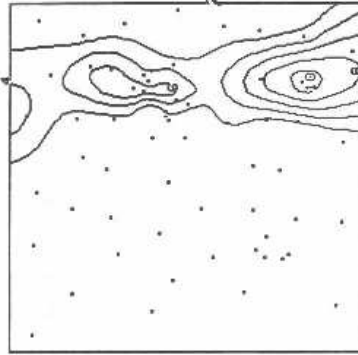
20/08/1991 07:20:00



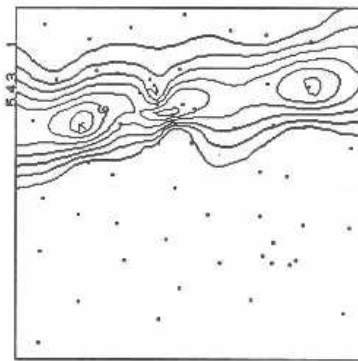
20/08/1991 07:25:00



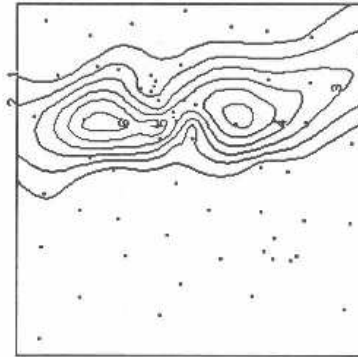
20/08/1991 07:30:00



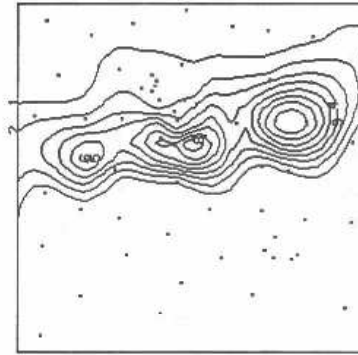
20/08/1991 07:35:00



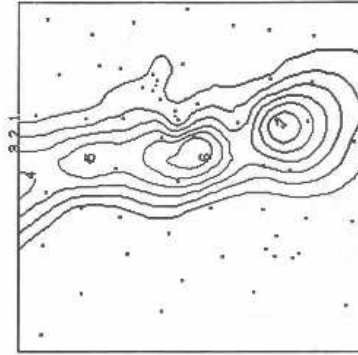
20/08/1991 07:40:00



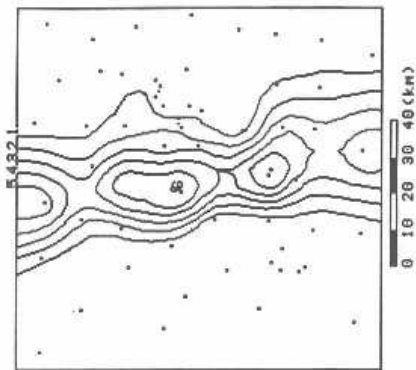
20/08/1991 07:45:00



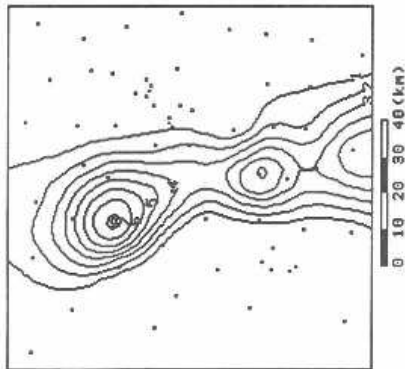
20/08/1991 07:50:00



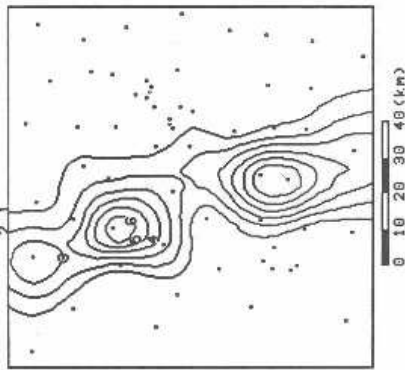
20/08/1991 07:55:00



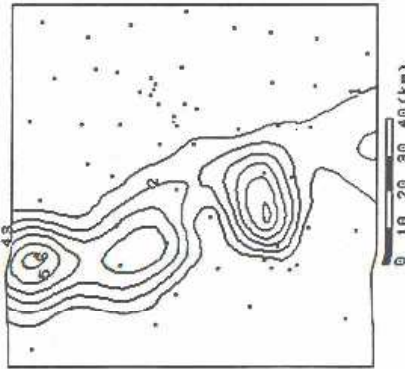
20/08/1991 08:00:00



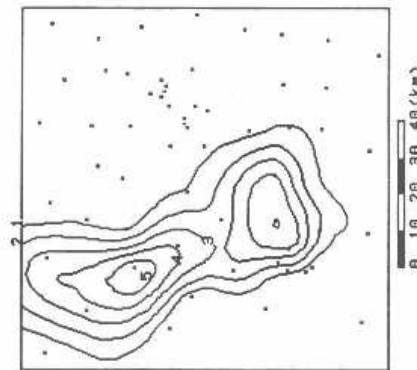
20/08/1991 08:05:00



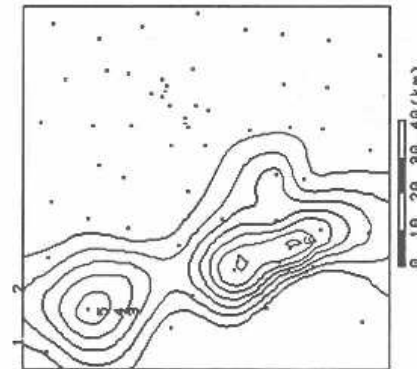
20/08/1991 08:10:00



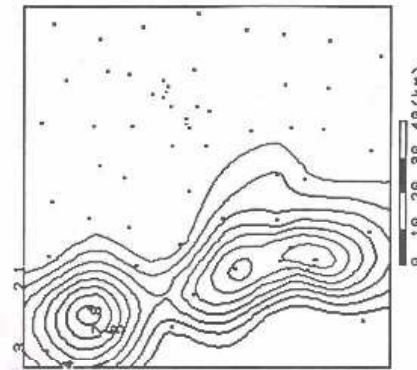
20/08/1991 08:15:00



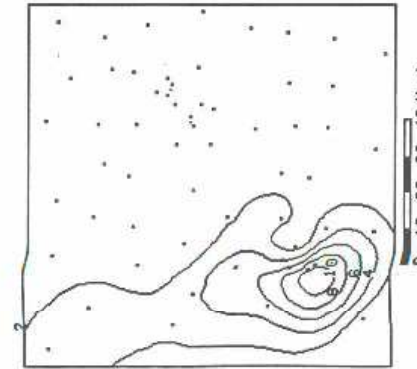
20/08/1991 08:20:00



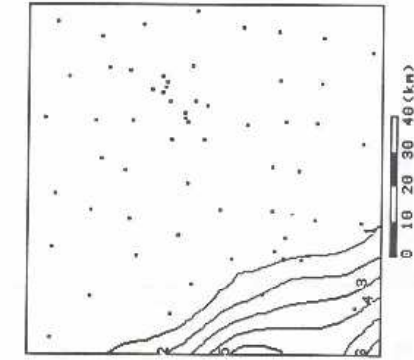
20/08/1991 08:25:00



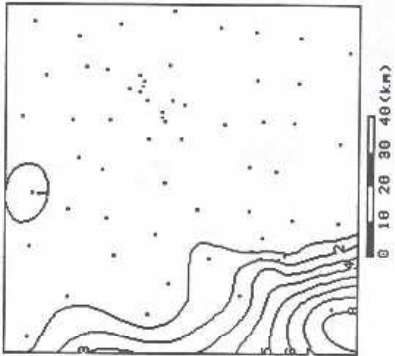
20/08/1991 08:30:00



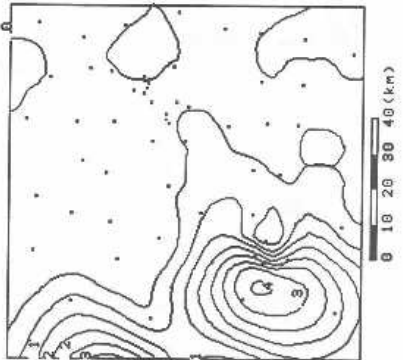
20/08/1991 08:35:00



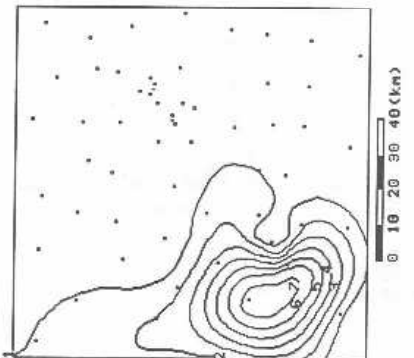
20/08/1991 08:55:00



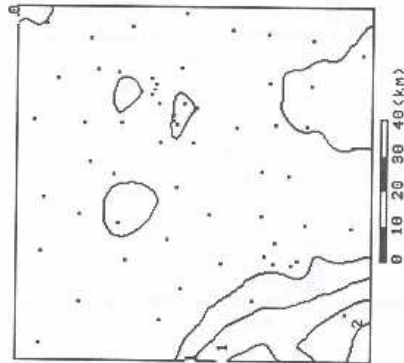
20/08/1991 08:50:00



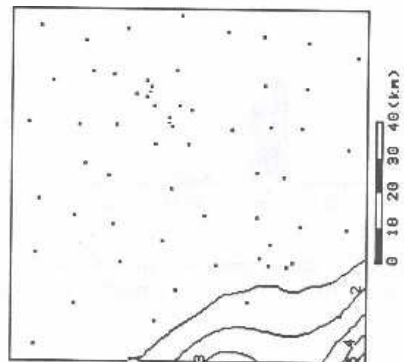
20/08/1991 08:45:00



20/08/1991 08:40:00



20/08/1991 09:05:00



20/08/1991 09:00:00

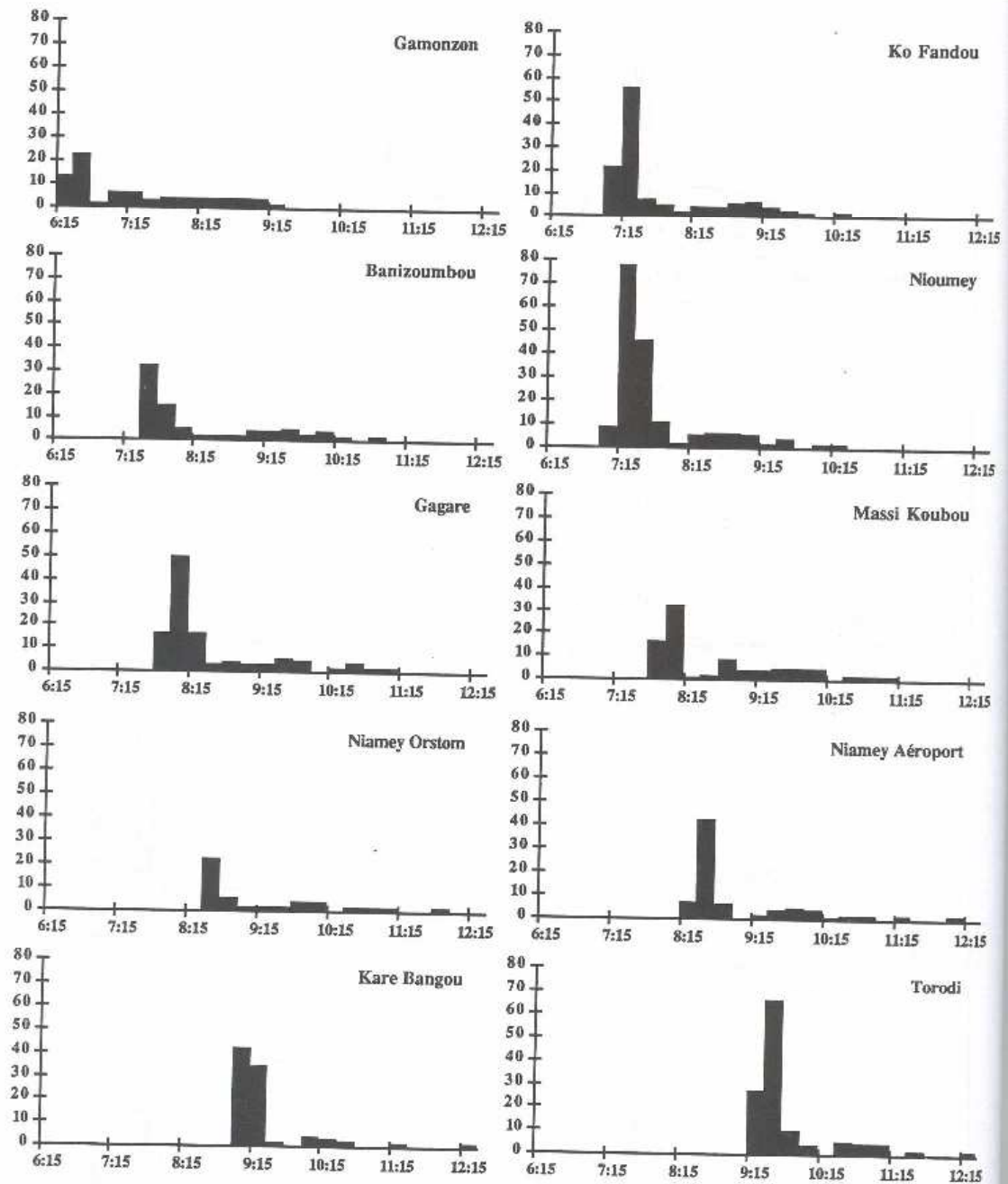


Figure 27. Hyétogrammes enregistrés au passage de la ligne de grains du 20 août 1991 pour les 10 stations dont la position est donnée dans la figure 17, p. 34.

```

ORSTOM/NIAMEY // jazz/ustr jazz/badonahr_la_n_91
DATE..... 2000/06/21 06:39:30
TIME..... 06:39:30
ELEVATION... 0000 M
MARK..... 0000 K M

```

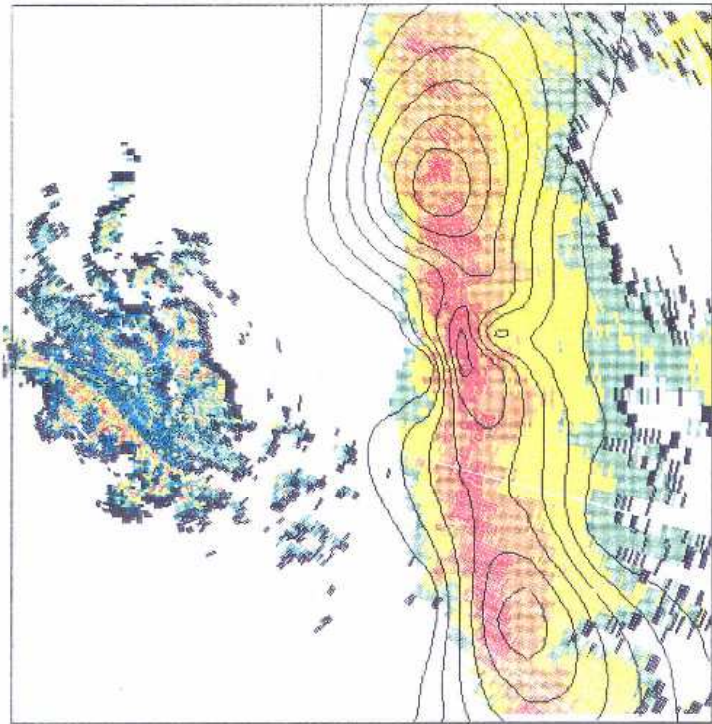


Figure 28. Zoom de l'image radar de 6h40 TU (7h40 locale) sur le degré carré et superposition des isohyètes (cumuls sur 5 minutes) calculées à partir des données sol. Les zones d'échos intenses sont en marron, rouge et gris (45 à 60 dbz), les zones d'échos faibles en bleu et vert (5 à 25 dbz); le jaune marque l'apparition des précipitations, et l'orange les précipitations modérées. Espacement des isohyètes : 1 mm. Les 3 noyaux correspondent à des cumuls de 7 à 8 mm sur 5 minutes, soit 85 à 95 mm environ en une heure. On remarque la bonne adéquation d'ensemble entre les isohyètes et les échos radar, notamment les ondulations concomitantes dans la zone de transition orange-rouge, explicable par le fait qu'on se retrouve ici sur la cible. Par contre, à l'avant du système pluvieux, les isohyètes, déduites d'une interpolation purement statistique, représentent très mal la transition non pluie-->pluie. La prise en compte dans l'algorithme d'estimation de la structure et de la position du système au pas de temps précédent permettrait probablement de corriger ce défaut en grande partie. Par ailleurs il existe plusieurs discordances, dont la plus significative se situe dans la partie Sud, où les isohyètes dessinent un dôme décalé par rapport à la partie la plus intense des échos radar. Ce décalage peut se traduire localement par des écarts de plusieurs dizaines d'équivalents mm/h entre l'estimation radar et la mesure sol, du fait que dans la gamme des 45-50 dbz, un écart de 1 dbz peut représenter une différence de 2 à 20 mm/h d'intensité de pluie, selon la relation Z-R mise en oeuvre.

7

CONCLUSION

La campagne 1991 constitue la deuxième année de fonctionnement du dispositif complet de l'expérience EPSAT-NIGER. Déjà en 1989, une pre-campagne avait permis de dégager certaines constatations qui ont été confirmées par la suite : grande variabilité aux petites échelles d'espace des cumuls saisonniers; stratification des événements en deux ou trois classes dont une est celle des événements de grande extension dans l'espace, qui présentent une certaine stabilité de la structure spatiale de leurs cumuls; forme caractéristique du hyétogramme des lignes de grains; forte intermittence du signal temporel y compris lorsqu'on s'intéresse aux pluies moyennes sur l'ensemble de la zone d'étude .

Plusieurs événements particulièrement intéressants (que ce soit par leur structure ou par les intensités relevées) serviront de références pour des études de cas approfondies, par exemple ceux du 4 août 1989, 27 juillet 1990, 20 août 1991. Pour ces deux derniers on dispose à la fois des données sol et radar, ce qui permet de bien suivre la dynamique du système précipitant d'une part et de connaître finement sa structure à tout instant d'autre part. Il est remarquable que, même au sein de ces événements qui se propagent pourtant régulièrement tout en conservant leur configuration générale (et dont la forme la plus achevée est la ligne de grains), les hyétogrammes enregistrés à des stations parfois peu éloignées puissent présenter des différences significatives. Ceci illustre la difficulté qu'il peut y avoir à déduire les structures locales à partir des structures de grande échelle.

Cependant EPSAT-NIGER ne se limite pas à une succession d'études de cas. L'objectif central reste la quantification de la variabilité des champs de précipitations sahéllens pour toute la gamme d'échelles spatiales et temporelles autorisées par la zone couverte et la résolution des mesures. Cette quantification doit déboucher sur la mise au point d'algorithmes d'estimation et de modèles de simulation, pouvant ultérieurement être utilisés en prévision à court terme si ils s'avèrent performants. Pour cela plusieurs années d'expérience en continu sont nécessaires. Si les données déjà recueillies constituent un ensemble unique pour le Sahel, elles restent néanmoins insuffisantes pour fonder une climatologie servant elle-même de base aux modèles à développer, comme en témoigne une comparaison rapide entre les saisons 1990 et 1991.

On a pu constater des différences marquées entre ces deux saisons : par rapport à 1990, 1991 a été plus abondante et présente une structure spatiale des cumuls saisonniers plus lisse. Le nombre et le poids (en terme de totaux pluviométriques) des événements de grande extension spatiale ont également été plus grands en 1991. Par contre on a observé dans les deux cas une longue période sèche en milieu de saison et des gradients locaux très importants. Pour se faire une idée plus précise de la "représentativité" de ces différents caractères, une année au moins de mesures supplémentaires est nécessaire. C'est pourquoi en 1992 l'expérience sera poursuivie, jumelée avec HAPEX-SAHEL, qui fournira l'occasion d'un élargissement de la cible centrale. Un maintien du dispositif en 1993 apparaît également souhaitable. Par la suite il pourrait être envisagé de faire de la région de Niamey le centre d'un site de validation de plus grande échelle, établi dans la perspective des missions de type TRMM et BEST programmées pour la fin de la décennie. D'ici là les recherches menées à partir des trois ou quatre

années de données produites par le dispositif complet d'EPSAT devraient avoir permis de concevoir des réseaux sol adaptés aux échelles de validation régionale. Par ailleurs le remplacement, prévu pour 1994 ou 1995, du radar météorologique de la DMN pourrait permettre de disposer d'un outil plus fiable, intermédiaire encore indispensable entre la mesure sol et la mesure satellitaire.

Il ne faut cependant pas se cacher que le prolongement de l'expérience actuelle sur deux ans, le maintien d'un dispositif de veille sur plusieurs années, associé éventuellement à un élargissement de sa couverture spatiale, la maîtrise d'oeuvre d'un radar moderne, représentent des investissements conséquents. Seul un programme cohérent, soutenu par plusieurs équipes compétentes dans les différents domaines qui vont de l'hydrologie à la physique de l'atmosphère et de la météorologie à la modélisation, peut justifier de tels investissements. Ce programme devrait résulter naturellement d'une exploitation systématique et approfondie des données de EPSAT-NIGER. Cet effort de recherche reste la mission première des équipes engagées dans EPSAT-NIGER, et du fait qu'il est moins spectaculaire que l'expérience proprement dite, on oublie souvent d'en préciser le coût, considérant qu'il est inclus à la fois dans celui de la phase de mesures et dans le fonctionnement courant des équipes. S'agissant d'un jeu de données aussi riche il y a en réalité des sommes non négligeables qui doivent être consacrées au développement d'outils appropriés pour la mise en forme des données, leur diffusion et leur traitement. En parallèle, ce jeu de données ne doit pas être vu comme un ensemble déconnecté des données pluviométriques recueillies sur l'Afrique de l'Ouest depuis plusieurs décennies par les réseaux nationaux. Un effort s'impose donc également sur ce plan afin de constituer des banques de données complètes, cohérentes entre les différents types de données stockées et facilement accessibles. Si ces travaux ne sont pas menés à bien, les investissements consentis jusqu'à présent perdront beaucoup de leur efficacité et donc de leur signification.

REFERENCES

- Bouvier, C., 1986: Etude du ruissellement urbain à Niamey, tome 3, Interprétation des données. Rapport général de convention ORSTOM/ MRH-DRE/ CIEH, 106 P.
- Chamsi, N., and H. Sauvageot, 1989: Variabilité spatio-temporelle des paramètres de la relation Z-R dans les lignes de grains tropicales. *Velle clim. satel.*, **27**, 16-18.
- Chevallier, P., et J.M. Lapetite, 1986: Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. *Hydrologie continentale*, **1/2**, 111- 119.
- Despaux, G., 1990: Chaîne d'acquisition SANAGA, Notice technique, Université Paul Sabatier (Laboratoire d'Aérodologie)- Observatoire Midi-pyrénées, 31p.
- Goutorbe, J.P. et al., 1992 : HAPEx-SAHÉL, science and operation plan, à paraître en mai 1992.
- Lebel, T., H. Sauvageot, M. Hoepffner, M. Desbois, B. Guillot, P. Hubert, 1992: "Rainfall estimation in the Sahel: the EPSAT-NIGER experiment"; *Hydrological Sciences Journal*, **37/3**.
- Lebel T., F. Cazenave, R. Gathelier, M. Gréard, R. Gualde, J. Kong, T. Valero, 1991 : EPSAT-NIGER, campagne 1990. ORSTOM-DMN, 66 p.
- Roux, C., 1990: Rapport de campagne EPSAT-NIGER 1989. ORSTOM - Direction de la Météorologie Nationale du Niger, 38 p.
- Thauvin, V., and T. Lebel, 1991: EPSAT-NIGER. Study of rainfall over the Sahel at small time steps using a dense network of recording raingauges. *Hydrol. Process.*, **5**, 251-260.
- Valero, T., 1990 : BADORA, rapport de synthèse, ORSTOM, Montpellier, 28p.

**ANNEXE 1.
FONCTIONNEMENT CAMPAGNE 91 ET
INVENTAIRE DES PANNES**

CHAPITRE 690

- Batteries	:	850.000 FCFA
- Petit matériel (réinstallation, installation)	:	700.000 FCFA
- Commande matériel pièces pluvio-montres-résistances	:	520.000 FCFA
- Terminal	:	300.000 FCFA
- Carburant-Essence-gasoil-huile	:	1.700.000 FCFA
- Déplacement personnel local (240 jours de tournées en 91)	:	2.500.000 FCFA
- Déplacement personnel expatrié	:	200.000 FCFA
- Douane transitaire	:	300.000 FCFA
- Réparation-Cartes ELSYDE-Terminal	:	200.000 FCFA
- Photocopie-papeterie-disquettes	:	280.000 FCFA
TOTAL	:	7.550.000 FCFA

CHAPITRE 644

- Gardiennage	:	3.000.000 FCFA
---------------	---	----------------

STATIONS	JF	JP	JE	% JE	CAUSES PANNE
- AGHAROUS	142	0	142	100	
- ALKAMA	141	0	141	100	
- BANGOU BOBO	125	36	89	71	Entonnoir bouché
- BANGOU TAWEY	146	0	146	100	
- BANIZOUMBOU 1,50	-	0	-	100	Permanent
- BANIZOUMBOU SOL	181	76	105	58	Entonnoir bouché-Mécanisme Pluvio
- BERI KOIRA	134	0	134	100	
- BERKIAWAL BERI	145	0	145	100	
- BOLOLADIE	181	56	125	69	Pluvio débranché
- BORGOBERI	0	135	0	0	Pas d'enregistrement sur la cartouche
- BORNE 253	178	0	178	100	
- BOUBON	183	0	183	100	
- BOUGOUM	-	-	-	-	non installé
- DAMANA	148	5	143	97	Cartouche défectueuse
- DAREY	170	0	170	100	
- DEBERE GATI	174	0	174	100	
- DEY TEGUI	144	0	144	100	
- DIOKOTI	224	0	244	100	
- DIAKINDI	227	0	227	100	
- DJOURE	160	76	84	52	Alimentation (mauvais branchement)
- FANDOUBERI	-	0	-	100	Permanent
- FOY FANDOU	124	0	124	100	
- GAGARE	146	0	146	100	
- GAMONZON	177	0	177	100	
- GANKIBASSAROU	170	0	170	100	
- GARDAMA KOUARA	137	0	137	100	
- GASSANAMARI N.O	177	0	177	100	
- GASSANAMARI N.E	177	0	177	100	
- GASSANAMARI S.E	177	85	92	48	Pluvio (mauvais fonctionnement)
- GASSANAMARI S.O	177	0	177	100	
- GASSEYDA	189	0	184	100	
- GOBIRKOYE KAINA	172	0	172	100	
- GOROU GOUSSA	124	30	94	76	Alimentation (fil non serré)
- GOURMANDEY	148	31	117	79	Entonnoir bouché
- GOUROUA	186	0	186	100	
- GUESSEL BODI	169	0	169	100	
- GUILAHEL	170	0	170	100	

- HARIKANASSOU	152	0	152	100	
- HASSOU BANGOU	140	0	140	100	
- HOLO	132	0	132	100	
- I.H. JACHERE	206	25	181	88	Vandalisme
- I.H. MIL	149	0	149	100	
- I.H. PLATEAU	149	0	149	100	
- IRI	-	28	-	-	Permanent-Entonnoir bouché
- KABA	180	60	120	67	Cedipe (mauvais fonctionnement)
- KALI GOROU	132	0	132	100	
- KAMPA ZAMA	189	0	189	100	
- KARABEDJI	171	0	171	100	
- KARE	175	0	175	100	
- KARE BANGOU	189	0	189	100	
- KARMA	152	37	115	76	Pluvio
- KIRAN MILI	157	87	70	45	Alimentation
- KODO	133	0	133	100	
- KOKORBE FANDOU	160	0	160	100	
- KOLBOU ZARMA	149	15	134	90	Cedipe
- KOLLO 1,50	-	0	-	100	Permanent
- KOLLO SOL	157	30	127	81	Carte cedipe
- KOLLO DIOGONO	160	0	160	100	
- KOMAKOUKOU	-	0	-	100	Permanent
- KOSSEY	-	-	-	-	Non installé
- KOURE	169	0	169	100	
- KOURE KOBADE	172	60	112	65	Mauvais contact
- KOURE SUD	136	0	136	100	
- KOYRIA	127	0	127	100	
- KO FANDOU	144	0	144	100	
- MAREKIRE	134	52	82	61	Vandalisme
- MAROUBERI ZENO	178	0	178	100	
- MASSI KOULOU	157	0	157	100	
- NIAMEY AEROPORT	-	0	-	100	Permanent
- NIAMEY ORSTOM	-	15	-	-	Permanent-Alimentation batteric
- NIAMBERE DJAMBE	132	11	121	92	Alimentation
- NINE FOUNO	139	0	139	100	
- NIOUMEY	176	0	176	100	
- OUALLAM B	102	49	53	52	Pluvio
- OUALLAM C	102	0	102	100	
- OUALLAM D	60	0	60	100	
- SAMA BV RD	-	0	-	100	Permanent

- SAMA BV RG	153	0	153	100	
- SAMA BV EX	-	0	-	100	Permanent
- SAMA BV CIBLE 1	-	15	-	-	Permanent-Cédipe-Pluvio
- SAMA CIBLE 2	-	5	-	-	Permanent-Régulateur
- SAMA CIBLE 3	-	0	-	100	Permanent
- SAMA CIBLE 4	-	0	-	100	Permanent
- SAMA PL 1	153	45	108	71	??
- SAMA PL 2	152	13	139	91	Entonnoir bouché + mauvais contact
- SAMA DEY VILLAGE	-	0	-	100	Permanent
- SANDIDEYE	149	0	149	100	
- SEKOUKOU	128	0	128	100	
- TAFAKOIRA	138	0	138	100	
- TANABERI	178	0	178	100	
- TIERENDJI	0	135	0	0	Pas d'enregistrement sur la cartouche
- TIGO ZENO	175	0	175	100	
- TIMBORANE SOLI	155	0	155	100	
- TOLLO	175	35	140	80	Mauvais contact
- TOMGOM	137	0	137	100	
- TONDI GAMEY	157	75	82	52	Alimentation batterie
- TONDI KIRE	154	0	154	100	
- TORODI	181	0	181	100	
- WARI	157	0	157	100	
- WINDE GOROU	164	154	10	6	Entonnoir bouché, aliment., vandal.
- YELOUMA	189	0	189	100	
- YILLADE	176	0	176	100	
- ZOZOU BERI	175	0	175	100	

Nombre de jours total de fonctionnement 15991 (JF)

Nombre de jours de panne 1476 (JP)

Pourcentage de jours d'enregistrement disponible : 90,7%

N.B : 1] La période de panne pour un appareil est celle qui remonte du jour du constat de la panne jusqu'à la visite précédente. La durée réelle des pannes est donc surestimée, mais elle correspond à l'information effectivement non disponible.

2] Les 14 appareils permanents ont été comptabilisés sur seulement six mois de fonctionnement, de mai à octobre (183 jours)

Causes Pannes.	Nombre de jours	% des pannes
- Entonnoir bouché	192	15,98
- Mauvais branchement ou contact	263	21,80
- Pluvio mécanisme défectueux	211	17,49
- Cédipe défectueux	120	9,95
- Cartouche défectueuse	5	0,41
- Alimentation (batterie)	238	19,73
- Vandalisme	127	10,53
- A découvrir	45	3,73
- Régulateur	5	0,41

<p style="text-align: center;">ANNEXE 2. ENTRETIEN ET REPARATIONS DU RADAR</p>
--

Mars 1991

- Remise à niveau de l'installation électrique du radar.

24/05/1991

Mission de Mr DESPAUX :

- Installation des pignons manufactures à Toulouse.
- Installation du réseau (nouvelles cartes, nouveau logiciel).
- Test de la sensibilité du radar : on effectue une visée sur le soleil afin de connaître le niveau de réception. Après réglage de la chaîne de réception et changement des cristaux on reçoit le soleil à 2 dB au-dessus du bruit.
- Changement du moteur d'azimut. Celui-ci génère des parasites lors de son fonctionnement.
- Démontage de la turbine de refroidissement du magnétron pour entretien.
- Changement de la tension de polarisation de la grille du magnétron pour protéger les cristaux de réception lors des coupures secteur.
- Modification du câblage sur la carte CAF afin de permettre une manipulation plus facile du contrôle manuel de fréquence.
- Mesure du minimum détectable à -104 dBm.
- Etalonnage de la chaîne SANAGA.

07/06/1991

- Première veille de la saison.

11/06/1991

- Le CAF décroche après une coupure secteur, fonctionnement sur manuel pendant une heure. Problème avec l'onduleur.

12/06/1991

- Modification du câblage du CMF pour conserver la tension lors du passage en CAF. Le cristal CAF est endommagé lors des coupures secteur.

04/07/1991

- Les fusibles de l'onduleur ont claqué suite à de multiples coupures.

06/07/1991

- Réglage du seuil de basculement de l'onduleur et installation d'un régulateur de tension.

09/07/1991

- Changement du magnétron.

17/07/1991

- plus de cristaux, perte de 20 dB en réception.

08/08/1991

- L'onduleur est hors service. Après discussion avec le responsable de la maintenance et le chef de la centrale électrique nous avons l'autorisation de travailler sur le réseau secouru de l'aéroport (Nigelec + groupe + onduleur).

14/09/1991

- Réception de nouveaux cristaux (envoi de l'ASECNA et de G.DESPAUX). Ils serviront pour la saison 1992.

Remarque :

Malgré l'acquisition du régulateur de tension le problème lié à l'indépendance électrique du radar n'a toujours pas été résolu. Après le passage sur le secteur aéroport (groupe + 2 onduleur de 15 KVA) nos problèmes de tension ont été résolus. Malheureusement le manque de cristaux n'a pas permis de réaliser des enregistrements de bonne qualité.

Pour la prochaine saison les onduleur de l'aéroport doivent être changés. Il y a de fortes chances pour que le radar ne soit plus sur l'alimentation secourue de l'aéroport en 92.

D'autre part il semble souhaitable d'envisager de refaire la chaîne de réception du radar avec des composants plus récents et donc plus fiables.

Données acquises

Au total 25 veilles effectuées, soit 149 h 12 mn d'observation et 944 images enregistrées.

ANNEXE 3.
PROTOCOLE D'ACQUISITION DES DONNEES
RADAR

1) Il faut saisir la ligne de grains le plus tôt possible, si possible à partir des images satellites ou d'une préalerte en provenance de ZINDER.

2) Une fois la ligne de grains annoncée ou détectée à la limite de portée du radar, on se place sur l'échelle 350 kms (soit une résolution radiale de 750 m) et on fait des acquisitions de PPI à $0,8^\circ$ tous les quart d'heure.

3) Lorsque la ligne de grains est à moins de 250 kms, on effectue et on enregistre un RHI chaque demi heure, en restant sur l'échelle 350 kms afin de ne pas tronquer la ligne de grains sur les bords.

4) Lorsque la ligne de grains est à 100 kms (la seule station en dehors du rayon 100 kms est DAMANA située à 108 kms du radar dans la direction 65°E), on passe à l'échelle 250 (résolution radiale de 600 m). Les acquisitions de PPI à $0,8^\circ$ se font toutes les dix minutes (éventuellement cinq minutes en cas de forte variabilité temporelle). Une acquisition sur 2 est doublée par une acquisition au site de $1,2^\circ$ (c'est à dire toutes les 20 ou toutes les 10 minutes).

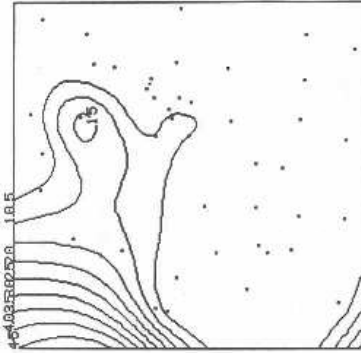
Tous les quarts d'heure, faire également un RHI perpendiculairement au front de la ligne, et également dans toute cellule remarquable éventuelle.

5. Continuer le suivi lors que la ligne de grains s'éloigne vers l'ouest, même après un aveuglement temporaire possible du fait de la formation d'une pellicule d'eau sur le radome.

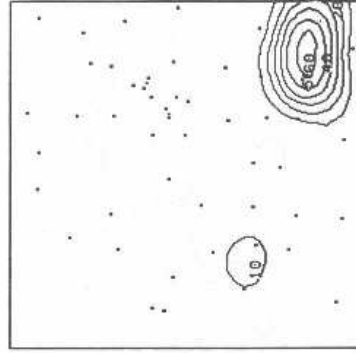
ANNEXE 4.
LISTE DES 52 STATIONS AYANT FONCTIONNE
EN CONTINU DU 15 AVRIL AU 15 OCTOBRE

NOMS	X	Y	No EPSAT	CUMUL 15.04-15.10
Agharous	89.99	78.80	47	580.6
Alkama	103.32	91.39	43	417.6
Bangou Tawey	37.61	70.85	75	525.5
Banizoumbou	71.34	59.25	11	494.3
Beri koira	51.49	72.26	2	553.5
Bololadie	-14.06	24.98	84	398.9
Borgoberi	114.57	74.41	60	607.5
Borne 253	65.02	17.96	74	676.7
Boubon Golf	-6.93	67.46	85	452.3
Damana	117.79	99.76	27	466.8
Darey	80.14	70.80	18	565.6
Diokoti	28.39	29.75	64	614.2
Djakindji	27.12	20.46	48	628.9
Djoure	78.73	87.87	63	490.5
Fandou Beri	60.36	59.14	9	548.9
Gagare	47.83	54.43	20	421.2
Gardama Kouara	29.78	92.78	50	483.5
Gassa NW	65.48	55.36	1	534.2
Gassanamari NE	66.47	55.36	2	577.0
Gassa SE	66.53	54.38	3	598.2
Gassa SW	65.54	54.30	4	490.1
Gasseйда	71.59	52.43	12	481.7
Gorbikoi Kaina	51.43	23.02	39	563.1
Hassou Bangou	15.69	81.66	42	413.2
Holo	102.93	78.62	71	545.0
Kaba	-37.94	70.43	88	386.0
Kampa zarma	70.05	49.08	13	508.4
Karabeji	52.69	30.26	67	631.2
Kare Bangou	-25.72	50.56	90	572.0
Karma	-20.79	0.44	81	480.9
Kodo	77.13	28.39	62	551.1
Ko Fandou	93.43	104.84	36	427.0
Kolbou Zarma	103.18	39.79	56	667.3
Kollo	26.42	41.61	54	409.6
Komakoukou	67.96	55.40	6	544.8
Maroberi Zeno	76.61	16.72	44	595.9
Massi Koubou	44.95	91.94	78	422.9
Ngourwa	-6.78	37.51	87	469.0
Niamey Aeroport	19.23	52.99	94	433.7
Niamey ORSTOM	10.44	59.07	70	541.4
Sandideye	114.01	25.06	57	654.4
Sekoukou	40.04	30.34	55	745.3
SD Rive droite	73.80	61.73	92	550.1
SDCl Sofia Bangou	76.77	60.12	93	569.4
Tanaberi	59.34	4.63	32	476.7
Timborane Soli	94.13	91.59	72	340.9
Tondi Gamey	30.78	82.49	76	392.7
Tondi Kire	93.35	67.11	69	605.4
Tongom	45.23	105.36	37	384.7
Torodi	-23.27	12.97	86	552.0
Wari	27.39	68.74	40	442.5
Yelouma est	60.47	49.97	15	582.7

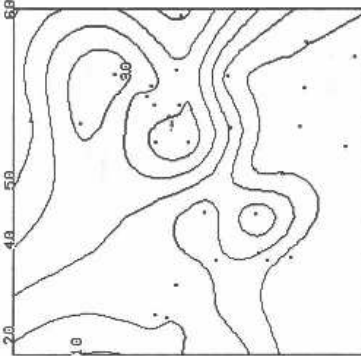
**ANNEXE 5.
ISOHYETES DES 47 EPISODES DE LA SAISON
1991**



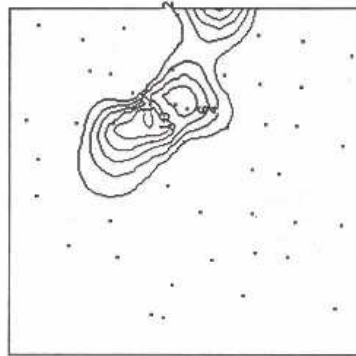
4 16/05 06h25 - 16/05 06h25



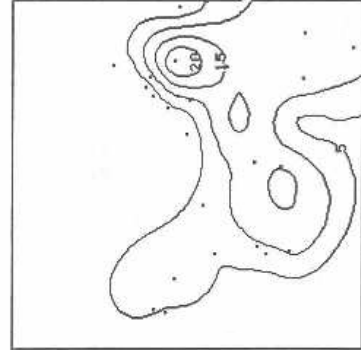
6 25/05 15h45 - 25/05 21h00



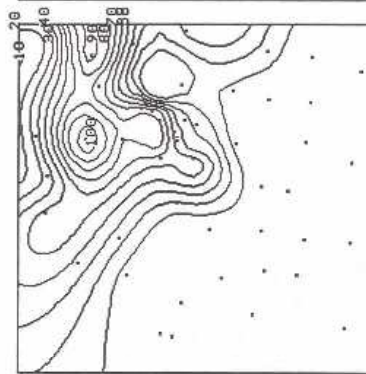
8 04/05 06h05 - 04/05 13h15



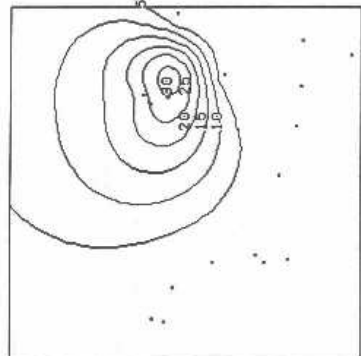
7 25/05 13h20 - 25/05 15h30



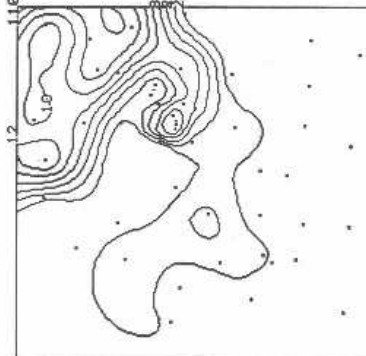
2 28/04 03h05 - 28/04 07h55



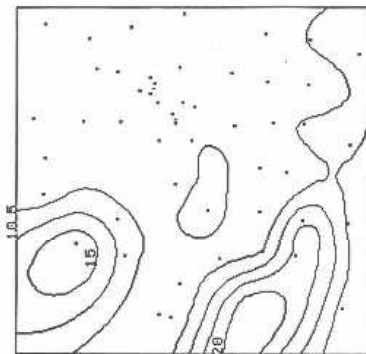
6 24/05 06h45 - 24/05 19h25



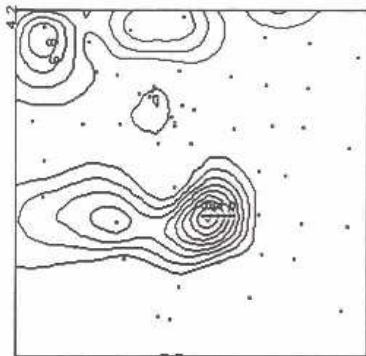
1 14/04 09h05 - 14/04 10h55



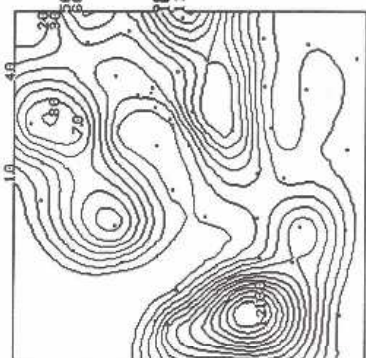
5 28/05 09h50 - 28/05 13h05



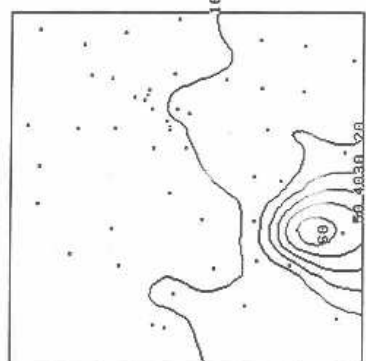
12 28/05 10h25 - 28/05 15h49



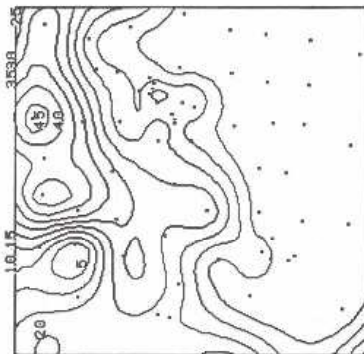
11 27/05 11h40 - 27/05 16h00



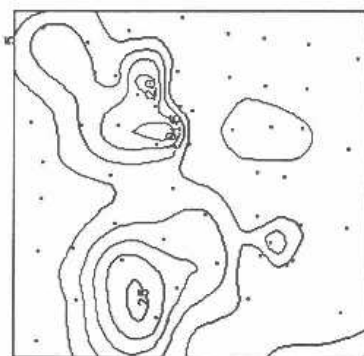
10 26/05 13h40 - 27/05 06h15



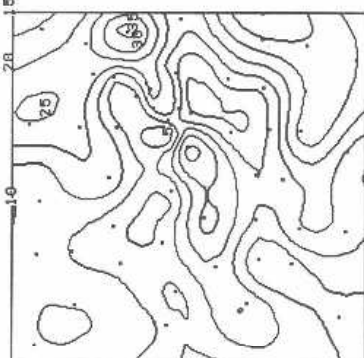
9 26/05 01h10 - 26/05 08h00



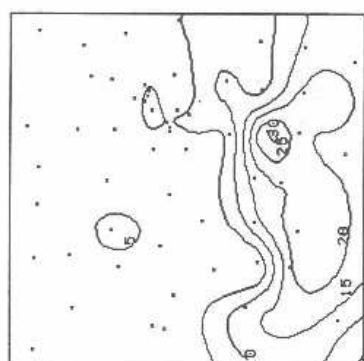
16 11/06 20h50 - 12/06 00h25



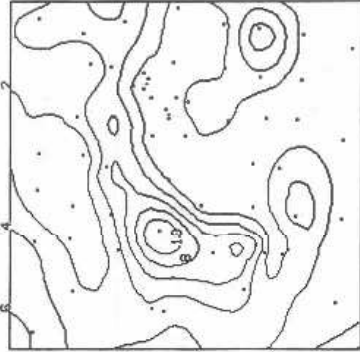
15 07/06 11h00 - 07/06 13h45



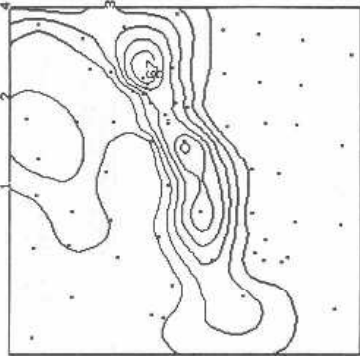
14 03/06 01h05 - 03/06 07h00



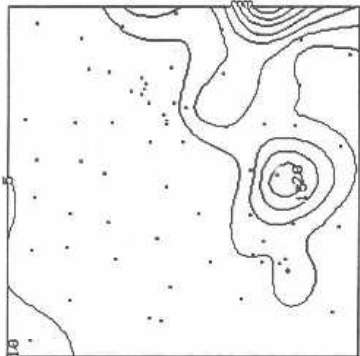
13 01/06 00h05 - 01/06 02h10



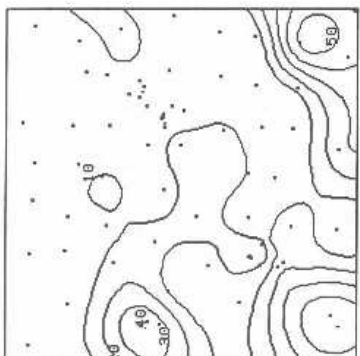
20 23/06 04h30 - 23/06 06h55



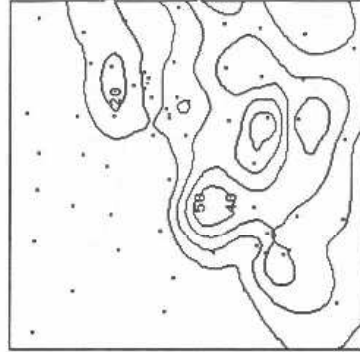
19 21/06 05h40 - 21/06 06h25



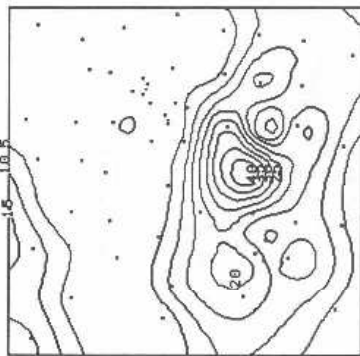
18 20/06 22h40 - 21/06 05h25



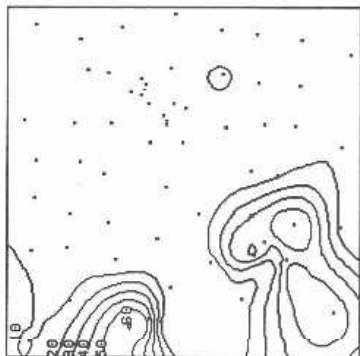
17 15/06 05h30 - 15/06 09h10



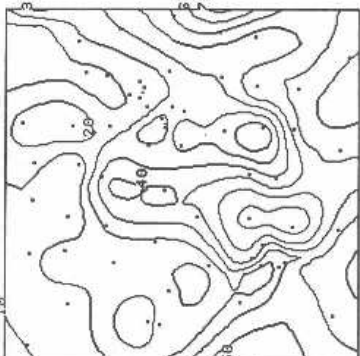
24 08/07 05h20 - 08/07 16h15



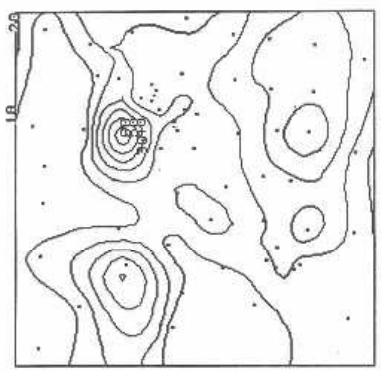
23 04/07 06h35 - 04/07 11h50



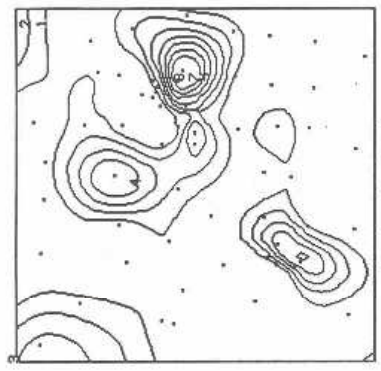
22 30/06 06h20 - 30/06 11h10



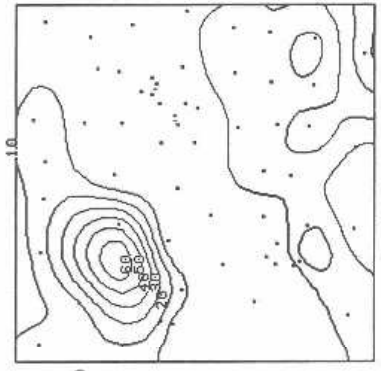
21 26/06 20h35 - 27/06 04h20



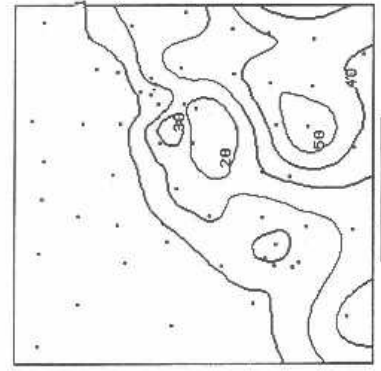
20 20/07 08h25 - 20/07 16h35



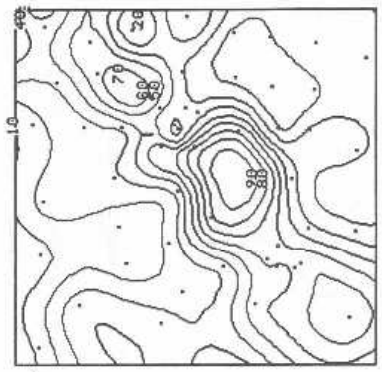
27 18/07 07h45 - 18/07 18h50



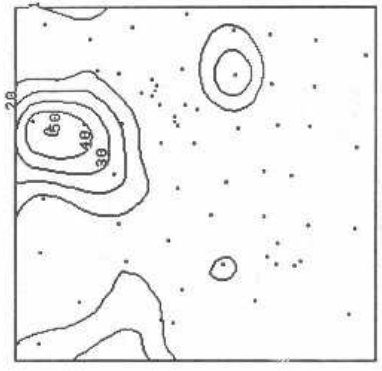
26 17/07 09h50 - 17/07 14h40



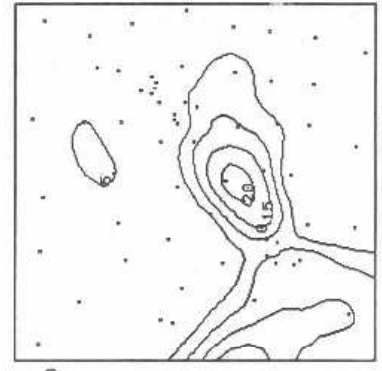
25 14/07 06h20 - 14/07 11h48



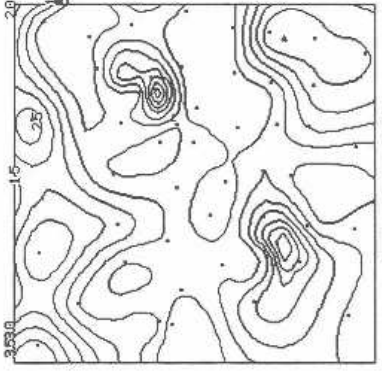
32 03/08 21h25 - 04/08 07h10



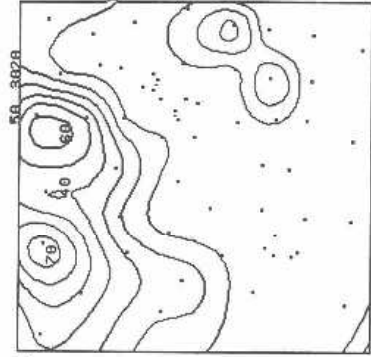
31 30/07 16h20 - 30/07 20h55



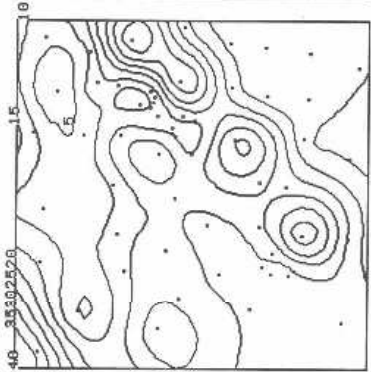
30 26/07 18h25 - 26/07 18h25



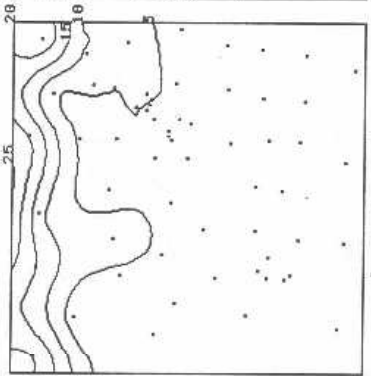
29 25/07 14h55 - 25/07 19h35



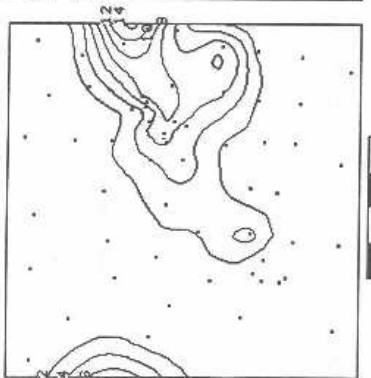
33 06/08 14h40 - 06/08 18h05



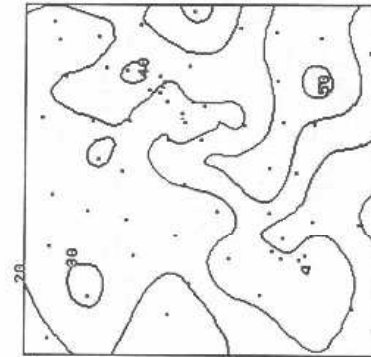
34 07/08 03h35 - 07/08 07h15



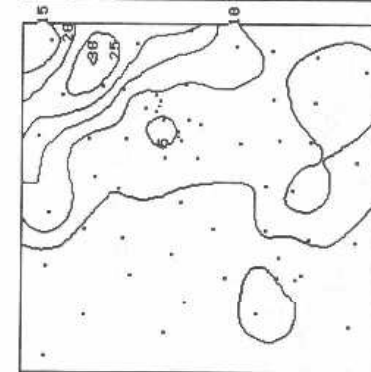
35 09/08 07h58 - 09/08 14h35



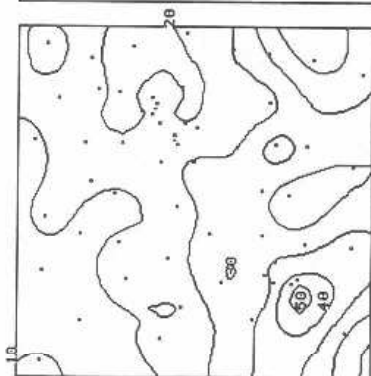
36 10/08 17h25 - 11/08 00h50



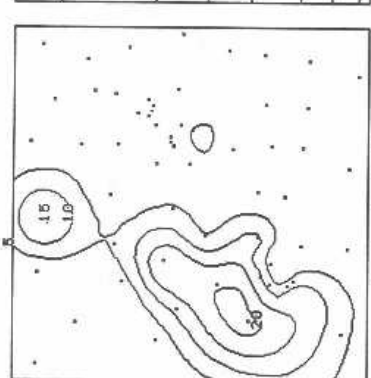
37 14/08 03h30 - 14/08 06h50



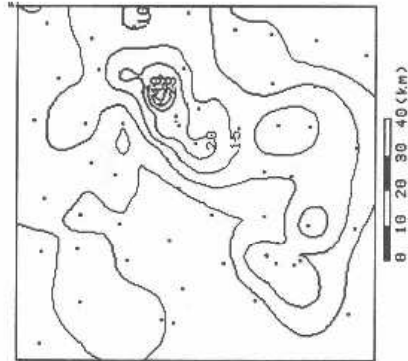
38 17/08 02h30 - 17/08 07h40



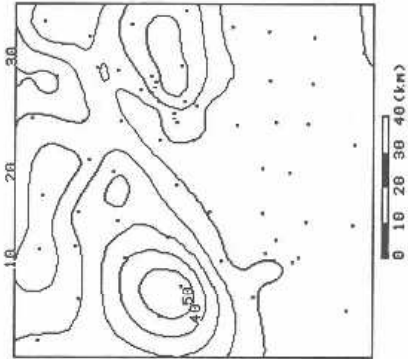
39 18/08 05h35 - 18/08 11h20



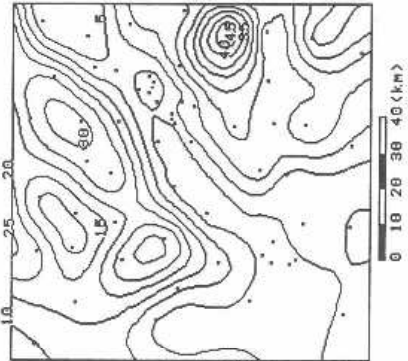
40 20/08 06h20 - 20/08 11h56



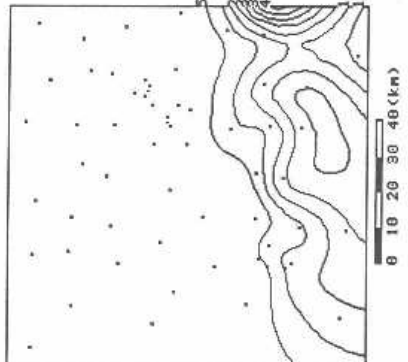
44 31/08 21h00 - 01/09 02h05



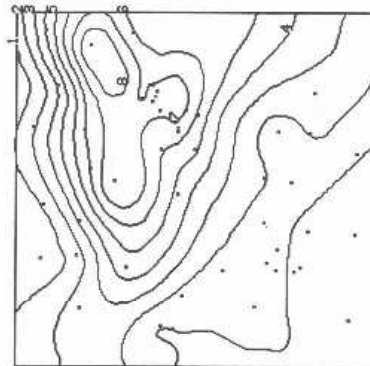
43 29/08 18h15 - 30/08 00h30



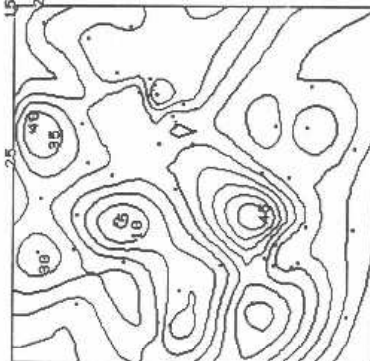
42 26/08 01h55 - 26/08 07h20



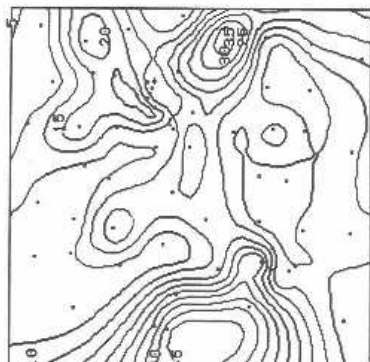
41 23/08 10h15 - 23/08 15h15



47 04/10 05h15 - 04/10 07h55



46 03/10 23h25 - 04/10 04h30



45 02/09 19h55 - 03/09 00h45

ANNEXE 6.
CUMULS MENSUELS

Tableau A-6.1: Cumuls mensuels enregistrés aux 99 stations (cône de réception 1,50 m au dessus du sol) du réseau EPSAT-NIGER pour les mois de mai à octobre 1992.

NOM	No EPSAT	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
Agharous	47		68.4	50.4	186.8	22.4	
Alkama	43		78.0	49.6	142.4	4.7	
Bangou Bobo	53		47.8			0.4	19.9
Bangou Tawey	75		70.4	88.9	144.1	18.1	39.0
Banizoumbou	11	170.0	55.9	61.6	150.7	19.7	35.0
Beri koira	21		99.8	59.6	187.2	7.1	29.9
Berkiawal	28		82.2	34.1	185.4	0.5	
Bololadie	84	51.2	109.3	62.0			4.9
Borne 253	74	78.0	99.0	214.2	182.3	28.7	28.0
Boubon Golf	85	80.0	91.7	89.7	133.2	27.7	27.2
Damana	27		57.1	115.3	121.4	19.0	12.5
Darey	18	108.7	52.4	79.7	211.4	20.3	44.4
Debere Gati	25		133.5	101.5	208.1	13.8	11.9
Dey Tegui	33		53.8	47.9	179.5	0.4	8.5
Diokoti	64	102.0	153.6	88.9	196.7	31.5	31.3
Djakindji	48	108.7	105.8	134.0	226.9	8.5	20.9
Djoure	63				202.1	3.0	20.4
Fandou Beri	9	135.9	73.3	64.9	191.1	5.6	30.7
Foy Fandou	24		62.9	32.8	151.7	8.0	
Gagare	20		81.0	66.3	120.8	14.5	24.5
Gamonzon	34	295.9	65.0	118.9	206.6	10.9	
Ganki Bassarou	65		153.6	110.6	173.8	29.0	16.0
Gardana Kouara	50		50.1	73.4	176.7	0.5	50.6
Gassanamari NE	2	166.3	122.8	78.1	172.6	7.2	27.7
Gassa NW	1	181.9	84.1	76.4	158.8	4.9	25.5
Gassa SE	3	150.1	106.2				22.7
Gassa SW	4	155.1	70.4	77.6	149.8	10.8	24.2
Gasseyda	12	140.1	55.0	64.0	166.1	6.1	41.6
Gorbikoi Kaina	39	75.5	85.2	135.6	197.7	24.3	19.5
Gorou Goussa	80		73.6	100.3	162.8	3.3	
Gourmandey	58		149.8	118.6	73.8	37.3	28.9
Gouroua	87	69.0	104.7	70.0	120.5	44.5	26.4
Guessel Bodi	66	77.3	108.8	127.3	182.0	14.5	
Guilahel	49		69.4	79.9	199.4	40.2	45.0
Harikanassou	41		75.0	147.9	140.7	10.6	
Hassou Bangou	42		51.7	45.6	159.9	1.4	28.7
Holo	71		81.8	73.6	176.7	17.0	
IH Jachere.hapex	105				168.1	7.4	25.7
IH Mil	06			131.3	176.0	14.3	23.8
IH Plateau	07			118.6	215.9	8.8	23.8

NOM	No EPSAT	MAI	JUIN	JUILLET	AOUT	SEPTEMBRE	OCTOBRE
Kaba	88	51.3	76.6				22.4
Kaligorou	61		104.8	109.4	245.4	2.9	
Kampa zarma	13	172.6	59.1	50.2	163.1	15.1	39.3
Karabeji	67	83.3	101.6	149.2	229.2	15.9	
Kare	29		46.3	80.8	151.6	29.0	11.5
Kare Bangou	90	91.4	163.0	95.8	144.1	21.4	53.3
Karma	81	61.4	134.2	62.3	174.6		
Kiran Mili	45		57.7				
Kodo	62		69.7	129.3	235.8	28.4	
Ko Fandou	36		31.8	76.9	225.8	13.3	
Kokorbe Fandou	73	151.5	71.0	105.7	176.8	5.0	31.4
Kolbou Zarma	56		129.1	132.3	161.2	10.1	44.8
Kollo	54	64.3	57.8	77.0	166.2	22.1	
Kolo Diogono	46	220.5	94.1	61.5	220.4	22.5	31.8
Komakoukou	6	136.2	94.6	76.3	196.9	10.6	22.0
Koure	17	137.6	56.7	127.9	270.3	5.0	
Koure Kobade	26					29.1	
Koure Sud	51		77.5	114.9	211.7	39.0	17.8
Koyria	82			42.5	164.8	30.8	28.9
Mare Kire	77					2.5	28.3
Maroberi Zeno	44	114.9	110.2	148.8	171.2	10.6	16.6
Massi Koubou	78		50.2	53.8	175.7	50.0	29.4
Niabere Djambe	59			130.4	203.7	41.9	
Niamey Aeroport	94	68.1	63.7	41.3	192.4	32.7	22.4
Niamey IRI	83	95.7	89.3			62.0	10.8
Nine Founo	68		66.0	40.8	187.6	13.8	
Nioumey	79	125.9	139.3	138.5	231.1	25.1	
Niamey ORSTOM	70	73.5	168.7	65.7	158.5	39.9	27.7
Ouallam B	103					5.4	2.7
Ouallam C	104				180.5	6.4	0.8
Ouallam D	108					7.6	0.8
SDC3	96		72.0	68.7	194.7	13.0	35.7
SDC4	97		69.7	71.5	185.3	7.2	37.9
SD Exutoire	101		70.9	68.1	185.0	10.5	42.1
SDC2 Jupe	95		78.3	72.4	192.3	11.5	47.2
SD Plateau 1 Sud	100		77.9	74.9	210.4		
SD Plateau 2 Nord	99		79.3	67.7	187.8	6.0	36.7
SD Rive droite	92	163.9	59.4	71.3	172.4	18.1	36.6
SD Rive gauche	98		62.3	60.1	188.6	22.0	30.9
SD Village	102		53.1	51.4	170.6	20.7	31.1
Sandideye	57		121.4	137.4	217.5	12.6	40.7
Sekoukou	55	117.3	186.0	161.7	215.9	4.1	47.3
SDC1 Sofia Bangou	93		77.7	85.9	217.7	8.5	39.9
Tafakoira	19		61.7	134.2	163.7	9.0	
Tanaberi	32	76.7	103.0	101.3	146.7	11.4	15.8
Tigo zeno	23	125.7	47.4	73.6	216.9	20.9	
Timborane Soli	72		67.5	21.3	143.5	1.8	24.6
Tollo	22	119.5	66.6	160.9			
Tondi Gamey	76						25.9
Tondi Kire	69		98.0	57.1	227.5	12.9	41.9
Tomgom	37		51.6	61.1	202.6	9.2	19.5
Torodi	86	99.4	108.6	132.5	136.0	22.5	2.5
Wari	40		83.4	108.6	149.6	2.6	29.3
Winde gorou	31						
yelouma est	15	155.6	80.0	78.3	206.2	18.9	40.9
Yiladde	35	55.0	111.2	170.7	149.9	20.4	
Zouzou Beri	30	186.9	82.7	81.4	233.2	3.9	

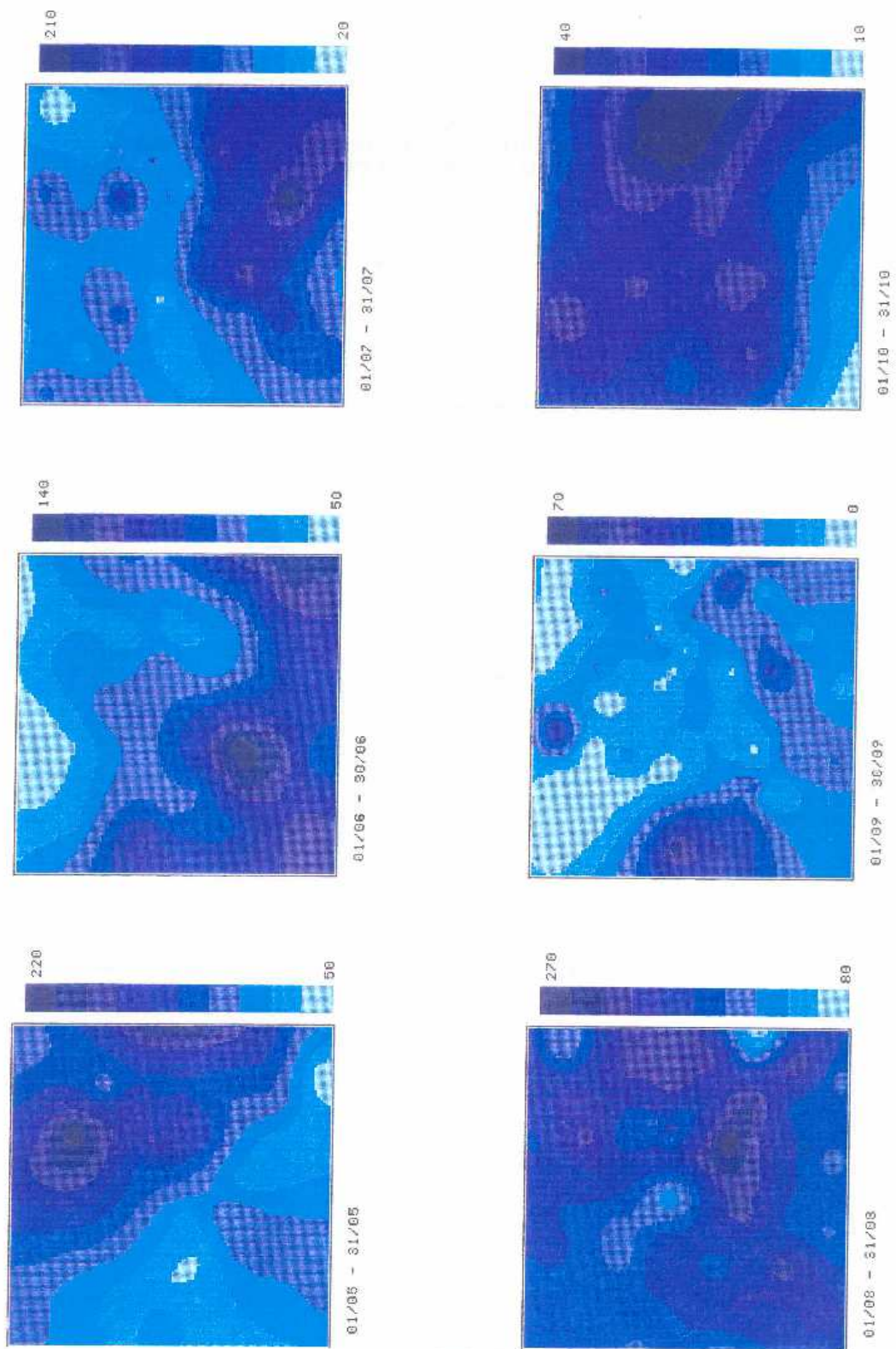


Figure A-6.1. Cumuls mensuels enregistrés aux 99 stations (cône de réception 1,50 m au dessus du sol) du réseau EPSAT-NIGER pour les mois de mai à octobre 1992.

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

Tableau A-7.1: Liste des fichiers .OE3, images cartouches.

AGHAROU1	OE3	GANKIBA1	OE3	KAMZARM1	OE3	NIABERE2	OE3	SAMARG3	OE3
AGHAROU2	OE3	GARDANA1	OE3	KAMZARM2	OE3	NIAMEYA1	OE3	SAMAVIL1	OE3
ALKAMA1	OE3	GASSANE1	OE3	KAMZARM3	OE3	NIAMEYA2	OE3	SAMAVIL2	OE3
ALKAMA2	OE3	GASSANE2	OE3	KARABED1	OE3	NIAMEYA3	OE3	SAMAVIL3	OE3
BANGBOB1	OE3	GASSANE3	OE3	KARABED2	OE3	NINEFOU1	OE3	SANDIDE1	OE3
BANGOUT1	OE3	GASSANO1	OE3	KARE1	OE3	NIOUMEY1	OE3	SANDIDE2	OE3
BANIZOU1	OE3	GASSANO2	OE3	KAREBAN1	OE3	ORSTOM1	OE3	SEKOUK01	OE3
BANIZOU2	OE3	GASSANO3	OE3	KAREBAN2	OE3	ORSTOM2	OE3	SEKOUK02	OE3
BANIZOU3	OE3	GASSASE1	OE3	KARMA1	OE3	ORSTOM3	OE3	SOFIABA1	OE3
BANIZOU4	OE3	GASSASE2	OE3	KIRANMI1	OE3	ORSTOM4	OE3	SOFIABA2	OE3
BANIZOS1	OE3	GASSASE3	OE3	KODO1	OE3	OUALLAB1	OE3	SOFIABA3	OE3
BANIZOS3	OE3	GASSASO1	OE3	KOFANDO1	OE3	OUALLAB2	OE3	SOFIABA5	OE3
BANIZOS4	OE3	GASSASO2	OE3	KOKORBE1	OE3	OUALLAC1	OE3	TAFAKO11	OE3
BERIKO11	OE3	GASSASO3	OE3	KOKORBE2	OE3	OUALLAC2	OE3	TANABER1	OE3
BERKIAW1	OE3	GASSEYD1	OE3	KOLBOUZ1	OE3	OUALLAD1	OE3	TANABER2	OE3
BOLOLAD1	OE3	GASSEYD2	OE3	KOLBOUZ2	OE3	SAMADC31	OE3	TIERE1	OE3
BOLOLAD2	OE3	GASSEYD3	OE3	KOLLO1	OE3	SAMADC32	OE3	TIGOZEN1	OE3
BORNE1	OE3	GOBIRKO1	OE3	KOLLO2	OE3	SAMADC33	OE3	TIGOZEN2	OE3
BORNE2	OE3	GOBIRKO2	OE3	KOLLOSO1	OE3	SAMADC41	OE3	TIMBSOL1	OE3
BOUBON1	OE3	GOROUGO1	OE3	KOLLOSO2	OE3	SAMADC42	OE3	TIMBSOL2	OE3
BOUBON2	OE3	GOROUGO2	OE3	KOLLOSO3	OE3	SAMADC43	OE3	TOLLO1	OE3
DAMANA1	OE3	GOURMAN1	OE3	KOLLOSO4	OE3	SAMAEXU1	OE3	TOLLO2	OE3
DAMANA3	OE3	GOURMAN2	OE3	KOLODIO1	OE3	SAMAEXU2	OE3	TONDIGA1	OE3
DAREY1	OE3	GOUROUA1	OE3	KOLODIO2	OE3	SAMAEXU3	OE3	TONDIGA2	OE3
DAREY2	OE3	GOUROUA2	OE3	KOMAKOU1	OE3	SAMAJU1	OE3	TONDIGA3	OE3
DEBEREG1	OE3	GUESSEL1	OE3	KOMAKOU2	OE3	SAMAJU2	OE3	TONDIGA4	OE3
DEYTEGU1	OE3	GUILAHE1	OE3	KOMAKOU3	OE3	SAMAJU3	OE3	TONDIK11	OE3
DIKOTI1	OE3	HAPEX11	OE3	KOURE1	OE3	SAMAJU4	OE3	TONDIK12	OE3
DIKOTI2	OE3	HAPEX12	OE3	KOURE2	OE3	SAMAPL11	OE3	TONGOM1	OE3
DJAKIND1	OE3	HARIKAN1	OE3	KOUREK01	OE3	SAMAPL12	OE3	TORODI1	OE3
DJAKIND2	OE3	HASSOUB1	OE3	KOUREK02	OE3	SAMAPL21	OE3	WARI1	OE3
DJOURE1	OE3	HOLO1	OE3	KOURESU1	OE3	SAMAPL22	OE3	WARI2	OE3
FANDOUB1	OE3	IHMIL1	OE3	KOURESU2	OE3	SAMAPL24	OE3	WINDE1	OE3
FANDOUB2	OE3	IHPLATE1	OE3	KOYRIA1	OE3	SAMARD1	OE3	WINDE2	OE3
FANDOUB3	OE3	IRI1	OE3	MAREKIR2	OE3	SAMARD2	OE3	YELOUMA1	OE3
FANDOUB4	OE3	IRI3	OE3	MAROUZE1	OE3	SAMARD3	OE3	YELOUMA2	OE3
FOYFAND1	OE3	IRI4	OE3	MAROUZE2	OE3	SAMARD4	OE3	YELOUMA3	OE3
FOYFAND2	OE3	KABA1	OE3	MASSIKO1	OE3	SAMARD5	OE3	YILLADE1	OE3
GAGARE1	OE3	KABA2	OE3	MASSIKO2	OE3	SAMARG1	OE3	ZOUZOUB1	OE3
GAMONZO1	OE3	KALIGOR1	OE3	NIABERE1	OE3	SAMARG2	OE3	ZOUZOUB2	OE3



OERSCI

BP 3
34981 St. GELY de FESC Cedex
Tél. 67 84 86 20