

## **ESPAT Vers une estimation des précipitations par satellite au Sahel EPSAT-Niger : campagne 1990**

Thierry Lebel, Frédéric Cazenave, Robert Gatheller, Michel Gréard, René Gualde, Joseph Kong, Thierry Valero

► **To cite this version:**

Thierry Lebel, Frédéric Cazenave, Robert Gatheller, Michel Gréard, René Gualde, et al.. ESPAT Vers une estimation des précipitations par satellite au Sahel EPSAT-Niger : campagne 1990. [Rapport Technique] IRD. 1990. hal-02082518

**HAL Id: hal-02082518**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02082518>**

Submitted on 28 Mar 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# EPSAT

**N I G E R**

Vers une estimation  
des précipitations  
par satellite au Sahel

## EPSAT-NIGER

## CAMPAGNE 1990

Thierry LEBEL, Frederic CAZENAVE, Robert GATHELIER,  
Michel GREARD, René GUALDE, Joseph KONG, Thierry VALERO

**ORSTOM**



**DMN**

# **EPSAT-NIGER**

## **CAMPAGNE 1990**

**Thierry LEBEL, Frederic CAZENAVE, Robert GATHELIER,  
Michel GREARD, René GUALDE, Joseph KONG, Thierry VALERO**



## S O M M A I R E

1. Rappel sur l'expérience EPSAT-NIGER	1	
2. Ce qu'il faut retenir de la campagne 1990	3	
3. Le réseau de pluviographes	9	
4. Collecte des données radar	21	
5. Quelques résultats	25	
6. Conclusions	35	
Références		
Annexe 1	Gestion du réseau du pluviographes	39
Annexe 2	Déroulement de la campagne radar	47
Annexe 3	Protocole d'acquisition des données radar	49
Annexe 4	Isohyètes des cumuls par épisode	51
Annexe 5	Hyetogrammes de l'épisode du 27 Juillet	53
Annexe 6	Pluies à Niamey-ville	59
Annexe 7	Liste des fichiers créés lors du traitement des données pluviographiques	63

# I

## RAPPEL SUR L'EXPERIENCE EPSAT-NIGER

La nécessité d'obtenir des estimations fiables et précises des précipitations en zone sahélienne a été soulignée aussi bien par les climatologues et météorologues que par les agronomes ou les hydrologues. L'ampleur des surfaces à instrumenter, et un environnement difficile y rendent particulièrement délicates les mesures de précipitations à l'aide des seuls réseaux de pluviomètres ou pluviographes. La télédétection, qu'elle soit active ou passive, devrait permettre de remédier en partie à cette situation, grâce à la couverture spatiale continue qu'elle procure, mais à condition que ses données puissent être étalonnées correctement par des données sol appropriées. Dans le cas particulier des données satellitaires, cet étalonnage doit être réactualisé en permanence, ce qui rend d'autant plus important de déterminer le dispositif optimal qu'il requiert, qui dépend de la précision souhaitée et des échelles de travail.

L'expérience EPSAT-NIGER a donc été conçue pour: 1) valider les données satellitaires à des échelles fines, ce qui est impossible avec les réseaux météorologiques nationaux, peu denses et composés surtout de pluviomètres non enregistreurs; 2) mettre au point des algorithmes d'estimation des précipitations utilisant, pour une échelle donnée, la combinaison la plus appropriée de capteurs sol et de télédétection. Cette expérience a été mise sur pied par l'ORSTOM, en association avec la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Niger, et le Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse. Elle repose sur l'utilisation conjointe d'un réseau dense de pluviographes à mémoire statique, et d'un radar météorologique bande C, numérisé pour les besoins de l'expérience.

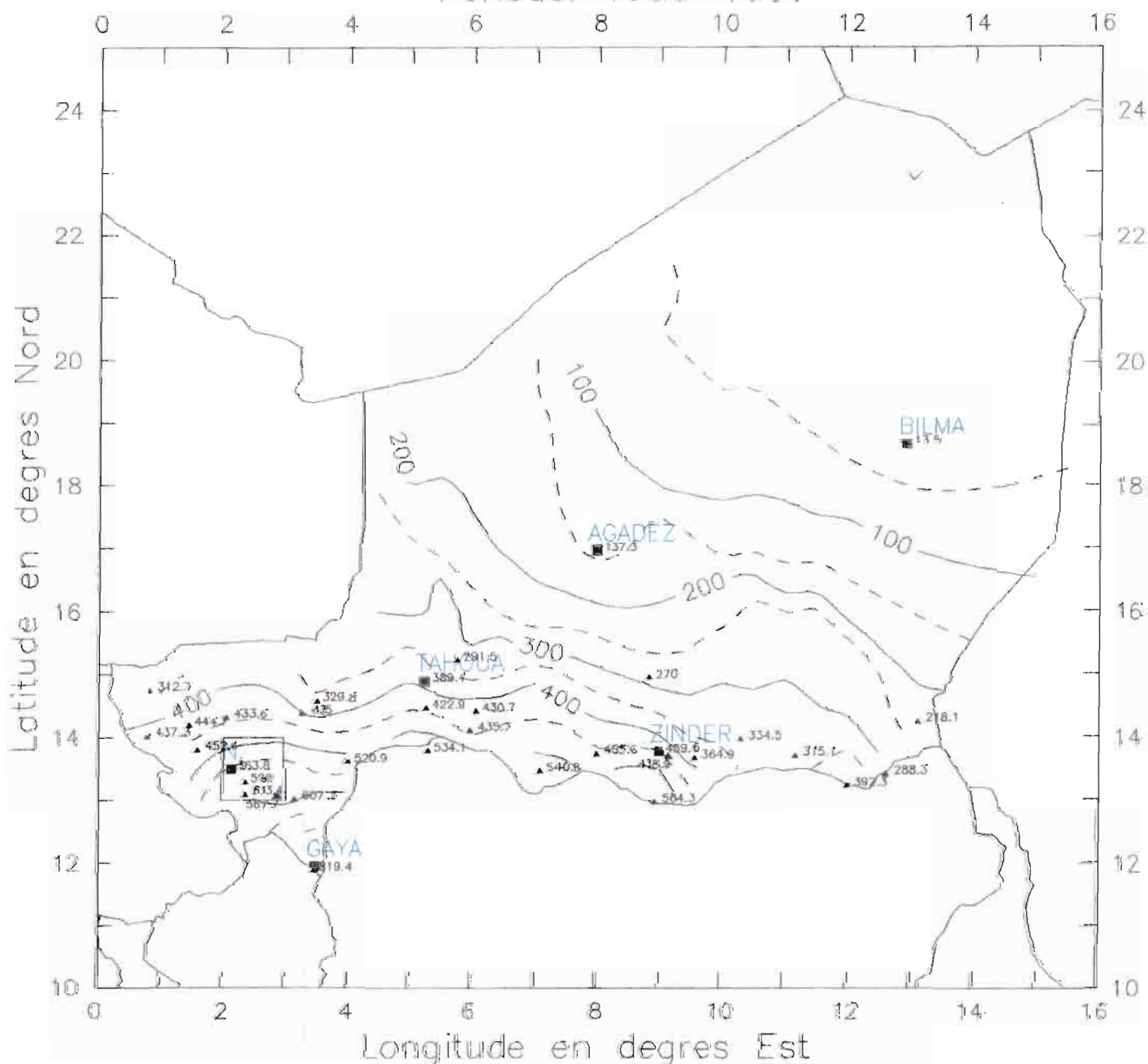
La zone choisie pour implanter EPSAT-NIGER se situe dans les environs de Niamey (fig. 1). Initialement, la zone d'étude correspondait exactement au "degré carré" 2-3° E de longitude ; 13-14°N de latitude, soit un peu plus de 10 000km<sup>2</sup>. Cette zone a été étendue en 1990 vers l'ouest, et le sera peut-être en 1991 vers le nord. Elle est intégralement couverte par un radar météorologique de 5 cm de longueur d'onde (EEC WR 100-5 ), appartenant à la DMN, et situé sur l'aéroport à une dizaine de kilomètres au Sud-Est 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, 1989). 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, 1989 ). Cette pré-campagne, associant pour la première fois en Afrique de l'Ouest, un radar météorologique numérisé et un réseau de plusieurs dizaines de pluviographes à mémoire statique, a permis de tirer des enseignements utiles sur la fiabilité du matériel utilisé, sur les adaptations à apporter, et sur l'organisation d'une telle expérience. Une des particularités du dispositif expérimental d'EPSAT-NIGER est en effet l'utilisation du radar d'un service opérationnel (prévision météorologique et protection aérienne, sous la responsabilité de l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne, ASECNA) à des fins de recherche. La pré-campagne de 1989 avait montré la nécessité, d'une part de sensibiliser le personnel des services de l'ASECNA et de la DMN à l'intérêt de

l'expérience EPSAT-NIGER, d'autre part de leur assurer une formation sur le système SANAGA. Ce dernier améliore notablement la qualité de la visualisation des échos radar et facilite donc l'analyse de l'évolution des systèmes précipitants. Cette formation a été assurée. Elle a débouché sur l'élaboration d'un protocole d'alerte associant les protectionnistes de l'aéroport et les chercheurs de l'ORSTOM. Comme on le verra plus loin, ce protocole a été généralement respecté et a permis d'assurer la présence des équipes de veille lors de tous les événements pluvieux majeurs pour la campagne 1990.

## PLUIE MOYENNE ANNUELLE SUR LE NIGER (en mm).

Période: 1950-1989



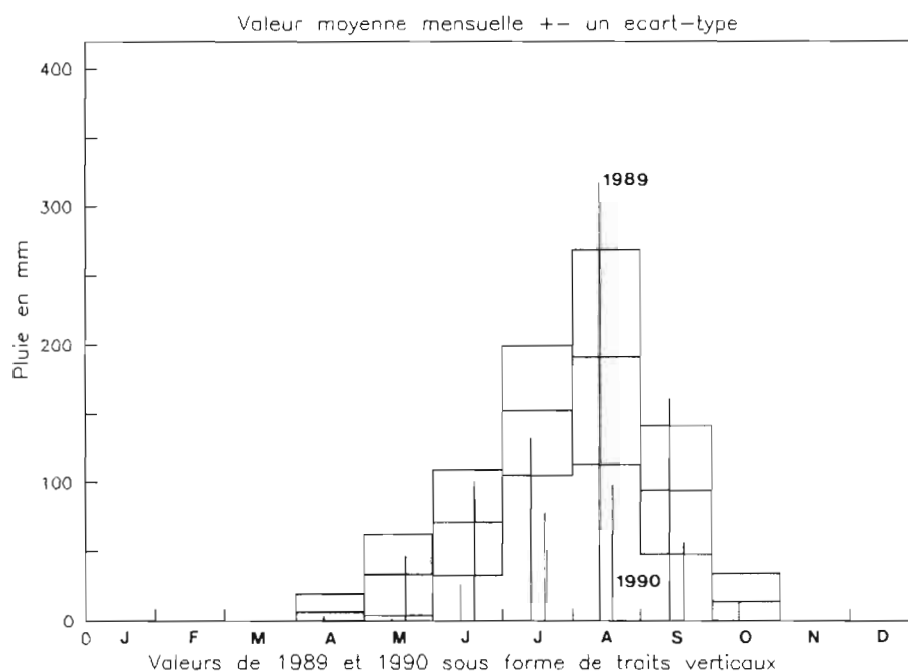
**Figure 1. Situation de la zone d'étude de EPSAT-NIGER.** La zone d'étude initiale est le carré figurant en bas à gauche, et dans lequel se trouve Niamey (N). Les isohyètes interannuelles sont de 500 mm au nord de la zone et 600 mm au sud.

## 2

## CE QU'IL FAUT RETENIR DE LA CAMPAGNE 1990

☛ **La saison des pluies 1990 a été déficitaire presque partout au Sahel.** La zone d'étude d'EPSAT-NIGER ne fait pas exception à cette règle. Sur le hyétogramme moyen de Niamey de la figure 2, on a porté les pluies mensuelles mesurées en 1989 et 1990. On peut remarquer l'importance des déficits enregistrés lors des mois de juillet et d'août 1990. Pour ces deux mois, qui représentent en moyenne à eux seuls presque les 3/5 du total annuel, les valeurs 1990 se situent en dessous de l'intervalle à un écart type calculé sur la série des 40 dernières années. Par contraste, la saison 1989 avait été bien mieux arrosée. Le déficit peut se résumer globalement en comparant les moyennes observées en 1989 et 1990 sur les trente stations du réseau EPSAT-NIGER ayant fonctionné sans lacune tout au long de ces deux années. On obtient une moyenne arithmétique de 405 mm en 1990, et de 536 en 1989, soit un écart de 30 %. Une intégration grossière de la carte des isohyètes interannuelles sur la zone d'étude (période 1950-1989) donne une valeur moyenne de 550 mm. En corrigeant par un facteur 1.05 les cumulés 1990, pour tenir compte du fait que 5% de la pluie annuelle tombe en moyenne en dehors de la période 15 mai- 15 octobre, on obtient un déficit de l'ordre de 20 à 25 % qui souligne la sécheresse de l'année 1990.

Hyetogramme des pluies mensuelles à NIAMEY (1950-1989).



**Figure 2. Les pluies mensuelles à Niamey (1950-1989);** 340 mm tombent en moyenne en juillet et août, soit 60% du total annuel. Moins de 5% du total annuel tombe en dehors de la période 15 mai-31 octobre.

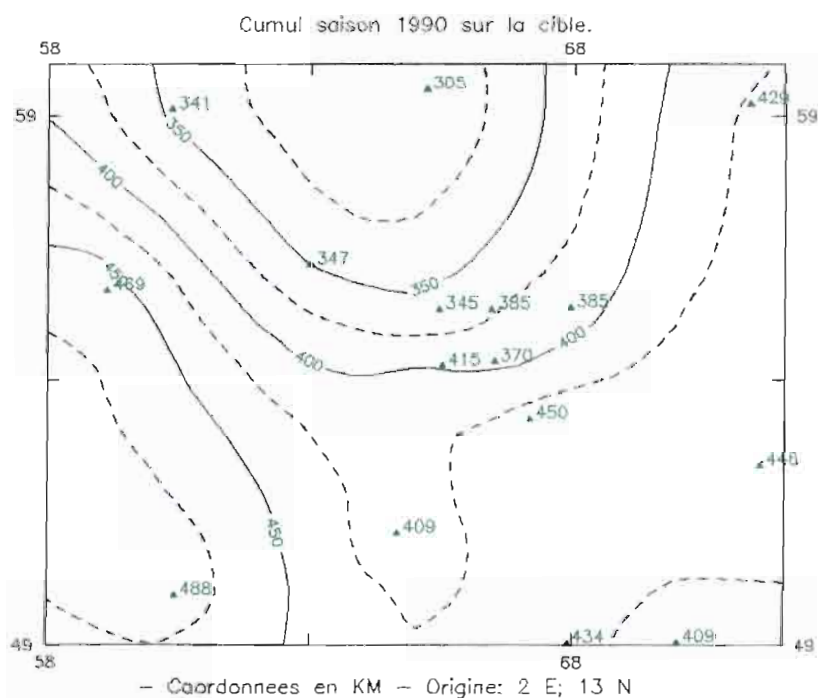
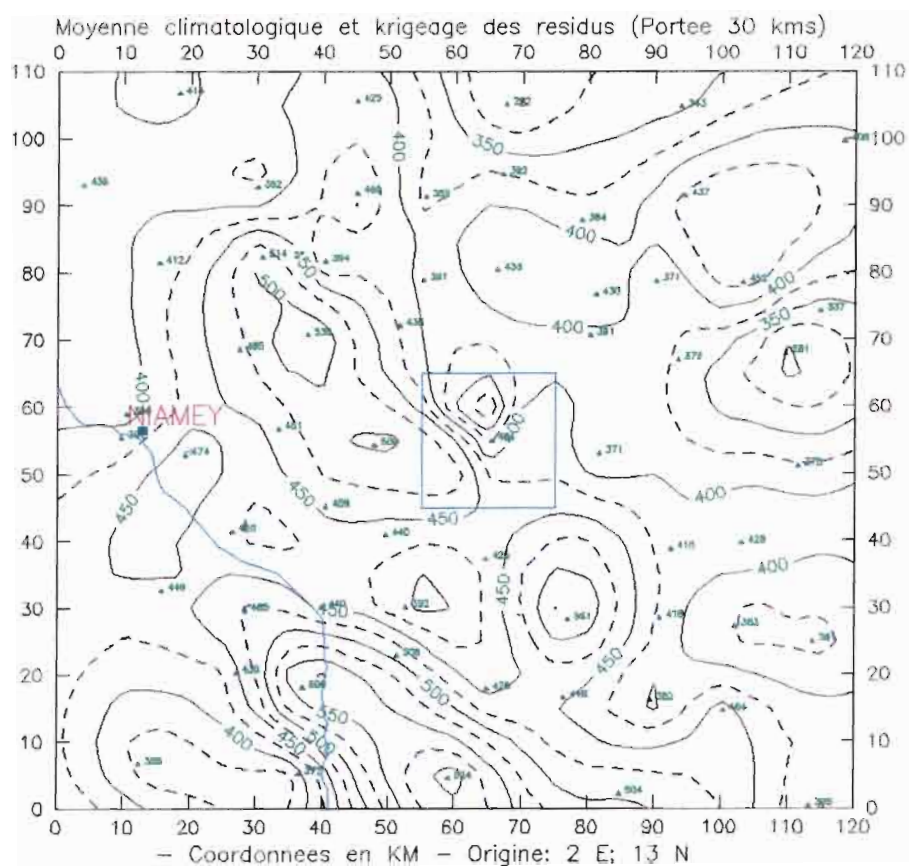
Par ailleurs, la carte des isohyètes de la saison (15 mai - 15 octobre) montre une répartition assez irrégulière des pluies sur la zone d'étude (fig. 3). Le cumul minimum observé a été de 291,5 mm à Dey Tegui, tout à fait dans le nord de la zone d'étude (13°57'), et le maximum de 659 mm à Tanaberi, tout à fait dans le sud (13°02'). Les moyennes interannuelles correspondant à ces deux latitudes sont, d'après la carte de la figure 1, de respectivement 500 et 600 mm environ. Si la pluie la plus faible a donc bien été observée sur le nord, et la plus forte sur le sud, ce qui est en accord avec la climatologie, les isohyètes ont, elles, une forme très différente des isohyètes interannuelles qui sont sensiblement orientées selon les latitudes. On note ainsi sur la figure 3 qu'il existe de grandes surfaces sous l'isohyète 400 mm au sud de la zone d'étude et d'également grandes surfaces au dessus de l'isohyète 450 mm au nord. De plus, le zoom effectué sur la cible du réseau (décrit en section 3) montre des gradients de plus de 100 mm/ 100 km en quelques kilomètres (à comparer avec le gradient Sud-Nord de 100 mm/ 100 km des isohyètes interannuelles).

☛ **Sur le plan expérimental**, cette campagne a été la première reposant sur un dispositif complet installé dès le début de la saison. Elle a confirmé la fiabilité d'ensemble du réseau sol et montré la fragilité du système radar. Le taux de panne des pluviographes, calculé sur la période allant du 1<sup>er</sup> mai au 30 septembre, est de 5,4%, correspondant à 937 jours d'observation manquants sur 17372 potentiels. D'après le tableau 1, où les pannes sont répertoriées selon quatre grandes catégories, on peut voir que les défauts d'alimentation ne représentent plus que 30 % du total contre plus de 50% en 1989. Par contraste, il n'a jamais été possible de procéder à une acquisition radar de tout un évènement, sans interruptions et sans variations des caractéristiques d'émission. La prolongation de l'expérience en 1991 et 1992 nécessitera donc d'apporter un soin particulier à la maintenance et aux conditions de fonctionnement du radar.

☛ **En aval des acquisitions, ont été développées des banques de données sol et radar** conçues selon la même architecture. La banque de données radar (BADORA) est achevée et les données 1990 y ont été rentrées. La banque de données sol (BADINAGE) est en voie d'achèvement. Ces deux banques pourront fonctionner en parallèle, ce qui facilitera la superposition des données fournies par ces capteurs aux caractéristiques de résolution et d'échantillonnage très différentes. Cette superposition a déjà été réalisée à titre expérimental et un exemple est montré sur la figure 4.

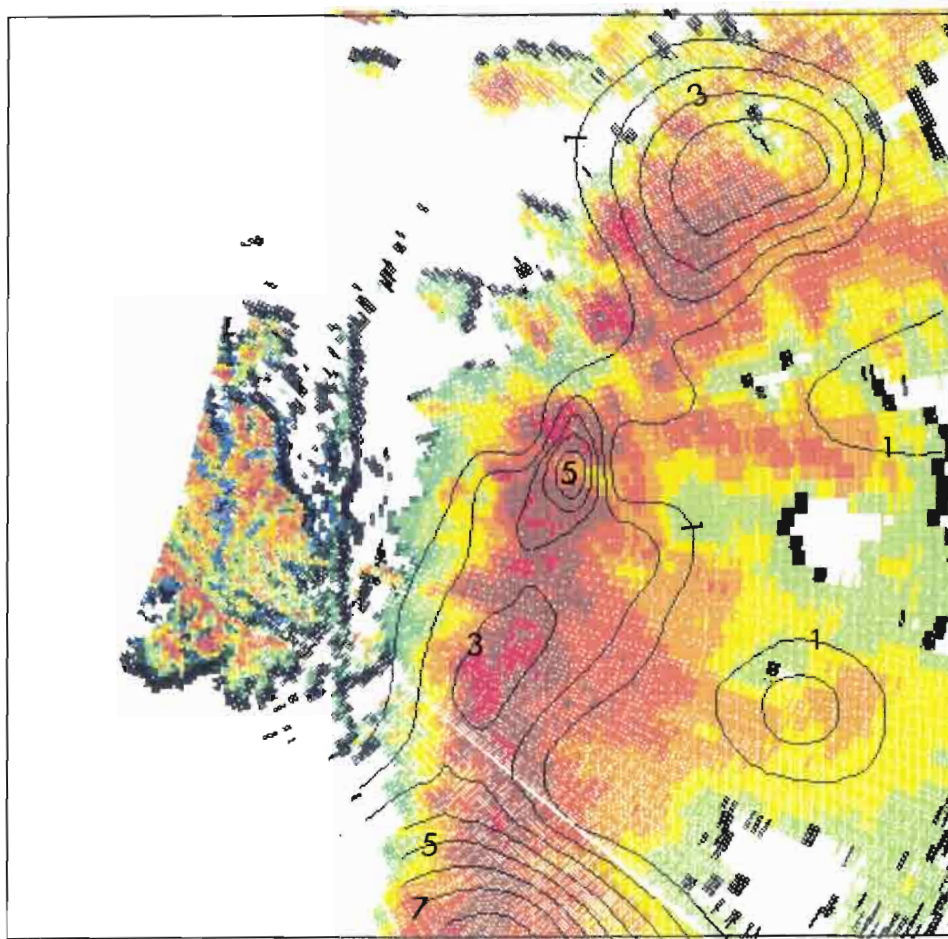


## EPSAT-NIGER : Cumuls augets (mm) saison 1990



**Figure 3. Isohyètes du cumul de la saison 1990 (15 mai-30 novembre).**

Ces isohyètes ont été obtenues par krigeage des résidus, après soustraction de la dérive climatologique. En bas, zoom sur la cible. La carte est obtenue à partir des totaux enregistrés sur 74 pluviographes.



**Figure 4.** Superposition à une image radar des isohyètes en 5 minutes, obtenues à partir du réseau de pluviographes.

Vert : < 30 dbz

jaune : 30 à 35 dbz .

orange clair : 35 à 40 dbz

orange foncé : 40 à 45 dbz

marron : 45 à 50 dbz

rouge : 50 à 55 dbz

gris : 55 à 60 dbz .

**Tableau 1 : Répartition des jours de pannes selon leur cause**

Alimentation	Jours	Mauvais fonct. appareils	Jours	Vandalisme	Jours	Divers	Jours
Batterie	154	Oedipe	342		174		2
Panneaux solaires	124	Cartouches	84				
Régulateur	4	Pluvio	53				
<b>TOTAL</b>	<b>282</b>		<b>479</b>		<b>174</b>		<b>2</b>
Pourcentage	30%		51%		18%		

**Tableau 2 : Liste des 95 stations du réseau.** Les coordonnées géographiques (degrés, minutes et centièmes de minutes) ont été obtenues en 1989 par relevés NAVSTAR. A l'automne 1990, une actualisation de certaines coordonnées a été opérée en utilisant un appareil GPS (stations marquées d'une étoile). Les coordonnées X,Y sont en kilomètres dans un repère d'origine (2°E, 13°N).  $X = (\text{Lat.} - 13) \times 111,2$ ;  $Y = (\text{Long.} - 2) \times (108,3 - 0,5 \times Y / 111,2) / 60$ .

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
Balal Sagui	1321200800	13 27 60	02 35 93	257	64.72	51.15	8 *
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 *
Banizoumbou sol	1321291100	13 31 97	02 39 62	202	71.34	59.25	911 *
Banka Dey	1321201000	13 32 12	02 36 21	237	65.20	59.53	10 *
Barkiawal	1321202800	13 30 68	02 18 51	215	33.33	56.86	28
Bazanga Bangou	1321200500	13 30 33	02 34 99		63.01	56.21	5 *
Beri koira	1321202100	13 38 99	02 28 61	266	51.49	72.26	21
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
Bougoum	1321208900	13 26 00	01 58 36		-2.95	48.19	89
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
Fandobong	1321201400	13 26 47	02 37 72	254	67.95	49.06	14 *
Fandou Beri	1321200900	13 31 91	02 33 52	232	60.36	59.14	9 *
Fetokadie	1321200700	13 28 76	02 37 32	250	67.21	53.30	7 *
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 *
GARDAMA KOUARA	1321205000	13 50 10	02 16 67	212	29.97	92.85	50
Gassa NW	1321200100	13 29 87	02 36 36	248	65.48	55.36	1 *
Gassanamari NE	1321200200	13 29 87	02 36 91	248	66.47	55.36	2 *
Gassa SE	1321200300	13 29 34	02 36 94	248	66.53	54.38	3 *
Gassa SW	1321200400	13 29 30	02 36 39	248	65.54	54.30	4 *
Gassan Kournie	1321201600	13 30 06	02 32 84	245	59.14	55.71	16 *
Gasseya	1321201200	13 28 29	02 39 75	250	71.59	52.43	12 *
GORBIKOY 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
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 03	02 08 47	255	15.24	81.60	42	
Holo	1321207100	13 42 42	02 57 21	202	102.93	78.62	71	
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 1,50 M	1321205400	13 22 45	02 14 66	198	26.42	41.61	54	
Kollo sol	1321295400	13 22 45	02 14 66	198	26.42	41.61	954	
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	*
Kossey	1321209100	13 19 00	01 45 20		-26.67	35.21	91	
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	
MAROBერი 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	
Ngourwa	1321208700	13 20 24	01 56 24		-6.78	37.51	87	
Niabere Djambe	1321205900	13 20 99	02 51 36	200	92.56	38.90	59	
Niamey Aeroport	1321209400	13 28 59	02 10 68		19.23	52.99	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	
Sama Dey 1	1321209200	13 33 31	02 40 99		73.80	61.73	92	*
Sama Dey 2	1321209300	13 32 44	02 42 64		76.77	60.12	93	*
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	
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	
TierendjiI	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 57 01	02 24 96	235	44.86	105.66	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	
Danguey gorou *	1321201400	13 47 96	02 00 73	240	1.31	88.89	14	
Niamey Poudriere	1321203800	13 30 29	02 08 03	220	14.46	56.14	38	

-----  
 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

Estimation des incertitudes pour le GPS : 18 metres en X et Y

## 3

### LE RESEAU DE PLUVIOGRAPHES

#### 3.1 Présentation des appareils utilisés

Les pluviographes sont à augets basculeurs, munis de cônes de 400 cm<sup>2</sup>, installés à 1.5m au dessus du sol. L'instant de chaque basculement, qui correspond à 0,5 mm de pluie, est enregistré à la seconde près sur une mémoire magnétique de type EPROM ou EEPROM. On obtient ainsi une reconstitution très proche du hyétogramme vrai. Ces appareils sont alimentés par des batteries rechargées par panneau solaire. Chaque cartouche a une autonomie de 16000 basculements (8 m. d'eau), c'est à dire largement suffisante pour rester en place toute la saison des pluies. La hauteur d'installation des appareils est imposée par des considérations de protection des appareils. Cette protection est constituée d'un grillage de 1.2m de haut environ. Une comparaison pluie au sol/pluie à 1.5m est effectuée sur deux sites.

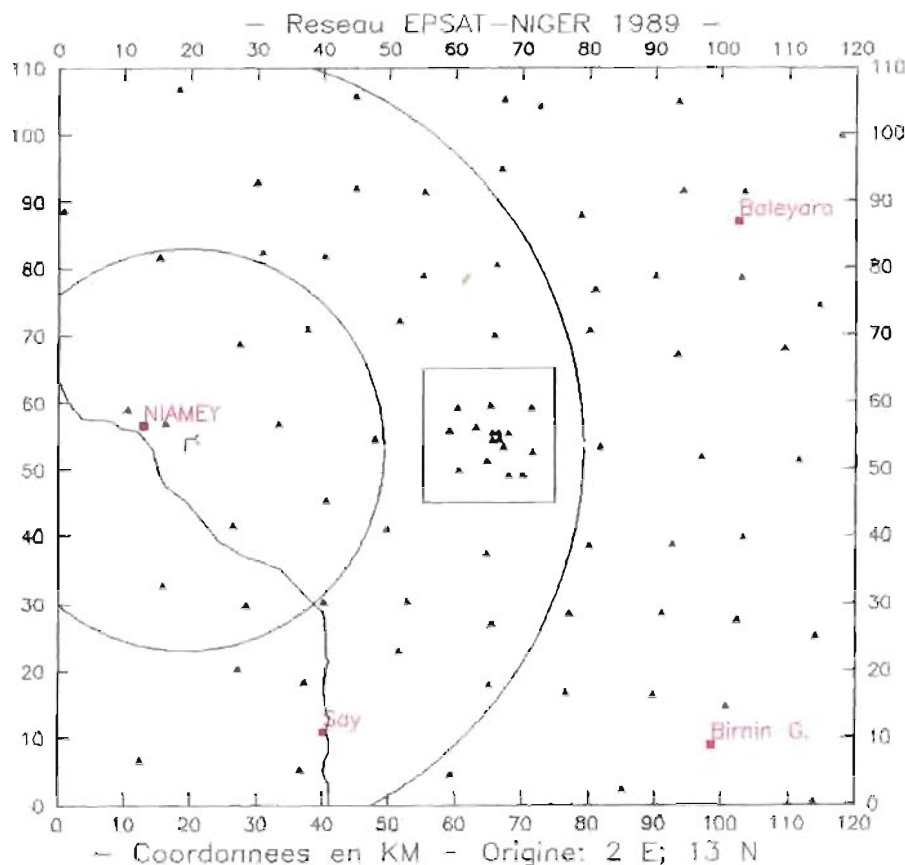
La recharge de la batterie est assurée par panneau solaire, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un régulateur. Les deux solutions ont été testées. Elles fonctionnent toutes les deux, la première permettant d'éliminer une cause possible de défaillance, de nombreux régulateurs ayant été mis hors service lors de la précampagne 1989. Les batteries utilisées ont tout d'abord été du type Cadmium-Nickel. Elles se sont révélées inadaptées au climat sahélien, et ont été progressivement remplacées par des batteries au plomb. Le voltage nominal des batteries utilisées est de 12 v, l'intégrité des enregistrements n'étant maintenu que pour une tension supérieure à 10,5 v.

#### 3.2 Zone d'étude - densité du réseau.

L'objectif initial d'une couverture régulière du degré carré ayant été atteint en 1989 (fig. 5), il est alors apparu qu'un équipement complémentaire vers l'Ouest du radar était souhaitable. En effet le réseau 1989 ne couvrait que moins de 25% de la superficie sur laquelle le radar peut permettre une quantification des précipitations. De plus l'extension du réseau de validation vers l'Ouest permet d'étudier les phénomènes d'atténuation à travers la région stratiforme des lignes de grains, alors que le réseau initial ne permettait que d'étudier l'atténuation à travers la région convective. Pour ces diverses raisons, la zone d'étude d'EPSAT-NIGER a été étendue à un rectangle de 16000 km<sup>2</sup> environ, limité en longitude par les méridiens 1°40 E et 3° E, et en latitude par les parallèles 13 et 14°N. La figure 6 montre que la densité du réseau sur cette **zone d'extension (11 appareils répartis sur 6000 km<sup>2</sup>)** est bien inférieure à celle sur le reste de la zone d'étude. Pour quantifier la précision avec laquelle la pluie moyenne est estimée en fonction de la densité du réseau de mesure et des surfaces d'estimation, on prendra donc comme **zone de référence**, le rectangle (**2°10'-3° E; 13°-14° N**), qui représente **une superficie de 10 000 km<sup>2</sup> (90 x 111 km en latitude)**.

Ainsi conçu, le réseau de pluviographes 1990 était constitué de 95 appareils répartis sur 93 sites (tableau 2). Sur deux sites (KOLLO, n° 54) et BANIZOUMBOU (n° 11), le pluviographe standard à 1.5m est doublé d'un pluviographe au sol. Ce dispositif est destiné à étudier l'influence du vent et des perturbations aérodynamiques du capteur sur la pluie mesurée. Par rapport à 1989, outre les 10 nouveaux sites de la zone d'extension, trois sites supplémentaires ont été instrumentés sur le degré carré : deux dans la région centrale sur le bassin versant de Sama Dey, et un à Niamey en rive

droite du Niger (Niamey-IRJ). Enfin la station de Danguéy Gorou (située au NE de la zone d'extension) a été déplacée à Gorou Goussa, à 6 kms de là, et celle de Niamey Poudrière à Niamey Aéroport à compter du 8 Août.



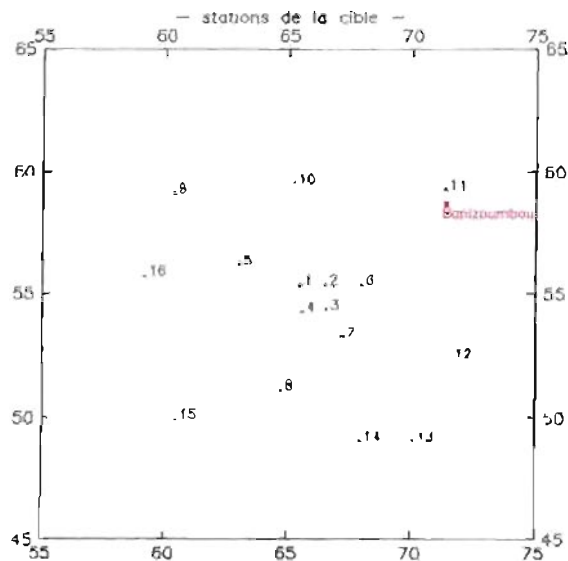
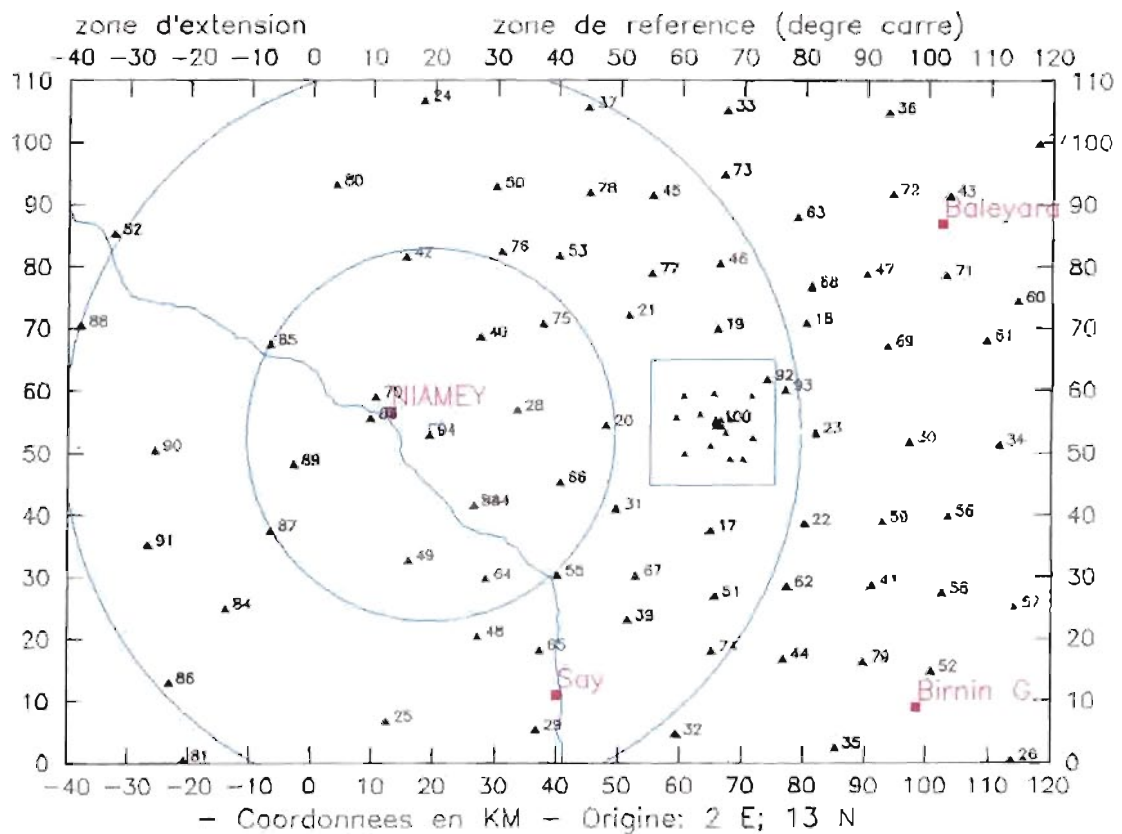
**Figure 5. Réseau 1989. Cercles radar à 30 et 60 km.**

La structure du réseau de base est inchangée : c'est une grille régulière de 64 sites dont la distance inter-nœuds est de 12,5 kms en moyenne, soit  $156 \text{ km}^2$  par maille. Le réseau de base est renforcé par une cible sur laquelle sont implantés 16 appareils avec une densité croissante vers le centre où 4 appareils forment un carré de 1 km de côté (fig. 6). Cette cible couvre  $150 \text{ km}^2$  environ.

La densité du réseau de base sur la zone de référence est de un appareil pour  $156 \text{ km}^2$ . Sur la cible, elle est de  $9 \text{ km}^2$  par poste. Ces densités sont à rapprocher de la densité du réseau de pluviomètre du Niger "agronomiquement utile" (au Sud de  $16^\circ$  Nord), qui est de 1 appareil pour  $6000 \text{ km}^2$  environ.

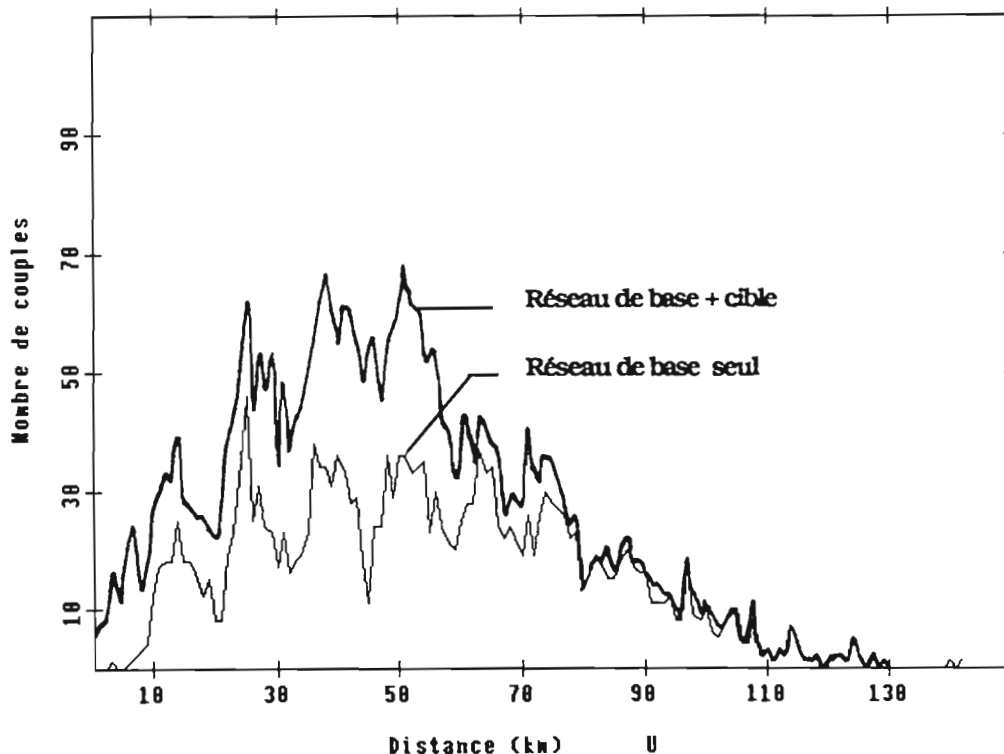
Comme l'illustre la figure 7, la géométrie de la cible permet d'augmenter les effectifs des classes de faible interdistance entre stations et d'en obtenir ainsi une distribution plus uniforme. Cette propriété est intéressante pour l'identification des fonctions caractérisant la structure statistique de la répartition des pluies dans l'espace, car l'incertitude d'estimation devient comparable pour toutes les classes de distance considérées, ce qui n'est pas le cas avec des réseaux à maille constante.

## EPSAT-NIGER: RESEAU 1990 SUR LA ZONE D'ETUDE.



**Figure 6 : Réseau 1990.** Cercles radar à 30 et 60 km. Les numéros sont ceux portés dans le tableau 2. En bas, détail de la cible.

### Repartition des interdistances pour le reseau de base



**Figure 7. Nombre de couples de stations pour des classes d'interdistances de 1 km. Réseau complet de 93 stations et réseau de base seul (sans la cible).**

### 3.3 Calendrier d'installation

Chaque site est constitué d'un grillage entourant un rectangle de 2 x 4 m, sur lequel sont implantés à demeure, d'une part le pied supportant le pluviographe proprement dit, d'autre part la structure sur laquelle est montée l'armoire contenant le système d'acquisition. En fin de campagne le capteur pluviographique et l'armoire sont démontés pour entretien et réétalonnage. La campagne 1990 a donc commencé par la réinstallation de 79 des 80 sites déjà équipés en 1989 et par le déplacement de la station de Danguéy Gorou sur Gorou Goussa. Le travail étant terminé au 15 mai, c'est à dire à temps pour le début de la saison, puisque la première pluie significative a été enregistrée sur le degré carré le 25 mai. L'installation des 10 postes de la zone d'extension et des trois postes supplémentaires de la zone de référence s'est étalée sur le mois de juin, à l'exception de celle de Sofia Bangou effectuée le 31 juillet. En cours de campagne la station de Niamey Poudrière a été déplacée à l'aéroport afin d'obtenir une mesure précise des intensités à côté du radar. Cette mesure est notamment importante pour évaluer l'atténuation provoquée par la pluie sur le site même du radar.

Dans le tableau 2, on remarque qu'une détermination précise de l'emplacement de certaines stations a été obtenue à l'aide d'un système de positionnement GPS (Global Positioning system). Le positionnement est exact à la centième de minute d'arc près, soit 18 m et ne prend que quelques minutes. En 1989, le positionnement avait été effectué à l'aide d'un système NAVSTAR, beaucoup moins précis (0,3 km en longitude et 0,1 km en latitude d'après nos propres études) et nécessitant plusieurs heures par site. Le système GPS ayant été disponible en fin de campagne seulement, n'a été utilisé que pour positionner les stations nouvelles et repositionner celles de la cible. Pour les autres stations, la marge d'incertitude du NAVSTAR est acceptable. Ces stations seront repositionnées lors de leur réinstallation en 1991.



### 3.4 Surveillance du réseau

Sauf exception chaque station est dotée d'un gardien. Ce système de gardiennage, relativement coûteux (32000 F au total), est efficace pour prévenir le petit vandalisme ou les déprédations occasionnées par du bétail. Par contre, même si les stations sont automatiques, elles nécessitent un minimum de contrôle par des techniciens compétents, et ce pour deux raisons principales :

- + surveiller que le cône du pluviographe ne soit pas obstrué par des poussières ou des insectes.
- + vérifier le bon fonctionnement de l'ensemble batterie/panneau solaire.

Chaque visite à une station est également l'occasion de contrôler :

- 1) que le basculement des augets se fait librement et que leur étalonnage est toujours correct;
- 2) que le nombre d'octets enregistrés sur la cartouche est conforme au nombre de basculements répertoriés par la mémoire interne du système d'acquisition. La date d'un basculement étant codé sur 4 octets, et le formatage initial occupant 2 octets, on doit vérifier la relation :  

$$\text{Nbre Octets} = 4 \times \text{Nbre basculements} + 2;$$
- 3) qu'il y a accord entre ce nombre de basculements et la quantité d'eau recueillie dans une bonbonne à la sortie de la vidange du pluviographe;
- 4) que le système d'enregistrement n'est affecté d'aucune dérive de temps.

Le rythme normal de visite est d'un mois pour chaque station. 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 20 mars, date de début des installations au 30 septembre, l'ensemble des opérations installations et visites a représenté 200 jours de tournées, à raison de deux personnes par tournée. A ce chiffre s'ajoutent 40 jours pour les dernières visites et le démontage, soit un total de 240 jours, et 45 000 km parcourus. Les chiffres détaillés figurent en annexe 1.

### 3.5 Fonctionnement

Les visites régulières permettent de diminuer le nombre de panne; elles ne les éliminent pas totalement. Il existe en particulier une période de "réadaptation" du matériel au terrain, au cours de laquelle est détecté le plus grand nombre de pannes d'alimentation. Des batteries apparemment bonnes lorsqu'elles sont testées deux jours en laboratoire s'avèrent ne pas tenir la charge une fois installée sur le terrain. Au bout d'un mois, on peut considérer cette période de remise en route comme terminée. On a donc calculé un taux de fonctionnement pour la période allant du 1<sup>er</sup> mai au 30 septembre, la première pluie significative ayant été enregistrée le 18 mai, et la dernière le 22 septembre. Rappelons que, sur cette base, le taux de perte a été chiffré à 5,40% (17372 jours d'observation potentiels et 937 jours manquants).

Parmi les causes de pannes courantes, autres que celles d'alimentation dont la diminution significative a été soulignée en section 2, on remarquera celles dues à des problèmes mécaniques, au vandalisme ou à la cartouche. Compte tenu du soin apporté à l'entretien et à la vérification des appareils lors de leur démontage en saison sèche, et des tests effectués sur toutes les cartouches, il semble bien que le taux de panne de 5% représente un minimum pratiquement incompressible. Ce taux résulte d'une part de la fiabilité intrinsèque du matériel, d'autre part de son implantation dans un environnement assez éprouvant pour lui.

Des thermomètres à maximum ont été placés dans 3 armoires pendant toute la campagne. On a relevé les températures maximales suivantes. BANIZOUMBOU : 49°5 le 24-05 ; KOLLO : 51°6 le 11-05 ; KAMPA ZARMA : 51° le 17-05. Ces températures sont à la limite du tolérable pour la plupart des batteries courantes. En 1991, sera testée une option consistant à placer la batterie dans une boîte enterrée dans le sol. Les coûts de fonctionnement du réseau sol pour la campagne sont donnés en annexe 1.

### 3.6 Précision des mesures

#### a) Hauteurs de pluie

La mesure de la pluie par pluviomètre ou pluviographe est certes la seule mesure directe dont nous disposions en la matière, elle n'en est pas moins affectée d'erreurs. Ces erreurs, dues à la géométrie du capteur et aux perturbations qu'il crée dans l'écoulement de l'air en son voisinage, ont été étudiées pour différents capteurs et sous différents climats. L'idéal serait de mesurer la pluie qui arrive au sol, et c'est dans ce but qu'a été conçu le pluviomètre de type "snow down". La mise en oeuvre de ce capteur peut néanmoins être délicate, du fait notamment qu'il faut à la fois dégager une aire suffisamment vaste autour de l'appareil et prévenir l'obstruction du cône de réception par les poussières qui sont véhiculées au niveau du sol en quantités bien plus abondantes qu'à 1 mètre. En milieu sahélien, caractérisé par l'importance des vents de sable et des brumes sèches, il est inconcevable d'implanter et de gérer un réseau de pluviographes au sol. Dans le cas de EPSAT-NIGER, il a donc été choisi de placer le sommet du cône de réception à 1m50, soit 30 cm plus haut que le grillage de protection. On a déjà mentionné que, pour étudier les différences entre pluie au sol et pluie à 1m50, deux sites (Banizoumbou et Kollo) avaient été équipés d'un pluviographe au sol placé à côté du pluviographe standard. Sur ces deux sites, le taux de fonctionnement de ces appareils au sol a été de moins de 50%, malgré les dispositifs destinés à piéger le sable et, à Banizoumbou, la présence d'un anneau de garde de gazon. Les premières comparaisons effectuées indiquent un rapport moyen pluie au sol/pluie à 1.5m de 0,90. Ce chiffre moyen n'est qu'une indication de peu de valeur hydrologique, car les écarts, liés à la vitesse du vent pendant la pluie, peuvent être parfois beaucoup plus grands. La présentation détaillée de ces résultats fera l'objet d'une note séparée.

Une deuxième source d'incertitude dans la mesure de la pluie par pluviographe tient au dispositif d'enregistrement par basculement d'augets. Le volume de remplissage de ces augets avant basculement, doit être taré avec soin. Cette opération est effectuée en laboratoire à l'aide d'une pipette (1 basculement pour 20 cm<sup>3</sup>) puis le tarage est contrôlé au moment de l'installation sur le terrain, et, en cas de basculement trop tardif ou prématuré, le réglage est corrigé. Malheureusement ce réglage n'est jamais très durable, du fait des poussières, de la dilatation du métal, d'autres facteurs peut-être, tous non maîtrisables. A chaque visite d'appareils, le tarage est donc vérifié et, le cas échéant, corrigé. Il faut noter que cette opération, minutieuse, double le temps de visite. L'équipe de visite peut s'appuyer, pour détecter un dérèglement, sur la comparaison entre "valeur au seau" et "valeurs augets", les valeurs augets étant celles obtenues par cumul du nombre des basculements à raison de 0,5 mm par basculement, et la valeur au seau étant le volume de pluie recueillie dans la bonbonne placée à la sortie de la vidange des augets. Pour que cette valeur seau serve de référence, il faut s'assurer qu'il n'y a pas de pertes entre le cône de réception du pluviographe et la bonbonne. Deux causes de perte systématiques sont envisageables : 1) l'évaporation entre deux relevés, puisque pour certains postes l'espace entre deux visites peut atteindre un mois; 2) la fuite du tuyau reliant la vidange à la bonbonne, les tuyaux en plastique se fissurant au soleil. La possibilité de pertes significatives par évaporation a été (sauf accident tel que bouchon enlevé) écartée. D'une part, il n'existe pas de corrélation significative entre l'espace de temps séparant deux visites et les écarts seau-augets. D'autre part des tests effectués pour diverses configurations de température et d'insolation, sous abri ou en plein champ, ont montré des évaporations de moins de 2% en 3 mois (tableau 3), et ce même en l'absence d'huile dans la bonbonne. Pour ce qui est du tuyau de vidange, on diminue le nombre des fuites en les protégeant du soleil par une gaine.

**Tableau 3 : Evaporations (mm) mesurées dans les dames-jeannes entre le 16 janvier et le 13 mai 1991.** Quantité initiale : 30 mm; pas de film d'huile.

Echantillon N°	1	2	3	4
Position	sol nu	Toit	Toit	Enterrée
Evaporation	1,5	0,6	0,5	0,3
Moyenne 10 jours	0,13	0,05	0,05	0,03

Lorsque la valeur seuil est sûre, une différence significative de la valeur augets proviendra soit d'un détarage des augets (poussières), soit d'un basculement trop précoce dû à l'énergie cinétique transmise au mécanisme par forte pluie, soit d'une perte d'eau en cas de basculements rapprochés. Des études plus fines sont à mener pour relier cette perte à l'intensité de la pluie. Les erreurs 1 et 2 vont dans le sens d'une surestimation de la pluie par les augets, l'erreur 3 jouant, elle, dans l'autre sens. Les écarts, cumulés sur la saison, entre valeurs au seuil et valeurs augets, lorsque les deux valeurs sont disponibles, ont été reportés au tableau 4. On voit que l'écart moyen est positif en faveur des augets, ce qui tend à prouver que les basculements prématurés, quelles qu'en soient les causes exactes, sont prépondérants sur les déperditions au niveau des augets. La distribution des écarts relatifs (fig. 8) est sensiblement normale et leur valeur moyenne est de 7% environ.

**Tableau 4 : Comparaison des valeurs totales de la saison (mm), seuil et augets (cumul).**  
Delta= (cumul-seuil)/seuil, en pour cent.

Nom de la station	Epsat	Hauteur seuil	Cumul	delta %
'AGHAROUS	47	323.7	370.5	15
'ALKAMA	43			--
'Balal Sagui	8	366.2	408.5	12
'Bangou Bobo	53	376.8		--
'Bangou Tawey	75	378.3	536.0	33
'Banizoumbou	11	401.6	429.0	7
'Banizoumbou sol	911	-----	-----	--
'Banka Dey	10	297.5	301.5	1
'Barkiawal	28	408.4	451.0	10
'Bazanga Bangou	5	-----	347.0	--
'Beri koiria	21	376.0	429.5	14
'Borgoberi	60	317.2	337.0	6
'Borne 253	74	464.6 (pb)	426.0	-8
'Damana	27	351.3	408.0	16
'Darey	18	375.3	390.5	4
'Debere Gati	25	321.8	358.0	11
'DEY TEGUI	33	270.8	291.5	8
'Diokoti	64	452.2	485.0	7
'DJAKINDJI	48	410.0	430.0	5
'Djoure	63	370.6	383.5	4
'Fandobong	14	411.9	434.0	5
'Fandou Beri	9	353.7	340.5	-4
'Fetokadie	7	414.4	450.0	9
'Foy Fandou	24	405.5	414.0	2
'Gagare	20	464.7 (pb)	509.5 (pb)	10
'Gamonzon	34	367.5	374.5	2
'Ganki Bassarou	65	557.0	606.0	9
'GARDAMA KOUARA	50	330.8	362.0	9
'Gassa NW	1	354.2	345.0	-3
'Gassanamari NE	2	378.7	385.0	2
'Gassa SE	3	381.4	370.0	-3
'Gassa SW	4	388.7	415.0	7
'Gassan Kournie	16	problèmes	469.0	--
'Gasseйда	12	396.2	446.0	13
'GORBIKOY KAINA	39	problèmes	505.5	--
'Gourmandey	58	327.6	363.0	11
'Guessel Bodi	66	435.3	lacune	--
'GUILAHEL	49	396.4	449.0	13
'HARIKANASSOU	41	406.6	418.0	3
'HASSOU BANGOU	42	debranché	412.0	--
'Holo	71	384.5	451.5	17
'Kaligorou	61	270.6	280.5	4
'Kampa zarma	13	425.4	409.0	-3
'Karabeji	67	415.5	392.0	-6

'Kare	'	29	397.7	372.0	-6
'KIRAN MILI	'	45	334.5	359.0	7
'Kodo	'	62	488.7	550.5	13
'Ko Fandou	'	36	360.4 (pb)	342.5	-5
'Kokorbe Fandou	'	73	353.7	problemes	--
'Kolbou Zarma	'	56	425.0	427.5	0
'Kollo 1,50 M	'	54	386.8	419.5	9
'Kollo sol	'	954	-----	problemes	--
'KOLO DIOGONO	'	46	debranche	432.5	--
'Komakoukou	'	6	358.2	385.0	8
'Koure	'	17	380.4	424.5	12
'Koure Kobade	'	26	374.1	394.5	5
'Koure Sud	'	51	problèmes	lacunes	--
'Mare Kire	'	77	327.0	390.0	19
'MAROBERI ZENO	'	44	424.8	problemes	--
'Massi Koubou	'	78	447.6	problemes	--
'Niabere Djambe	'	59	346.7	410.0	18
'Niamey Aeroport	'	94	problèmes	474.0	--
'Niamey ORSTOM	'	70	399.3	386.0	3
'Nine Founo	'	68	365.9	429.5	17
'Nioumey	'	79	326.5	381.5	17
'Sandideye	'	57	353.2	360.5	2
'Sekoukou	'	55	416.1	problemes	--
'Tafakoira	'	19	problemes	problemes	--
'Tanaberi	'	32	659.1	623.5	-6
'Tierendjii	'	52	problèmes	463.5	--
'Tigo zeno	'	23	317.1	370.5	17
'Timborane Soli	'	72	421.1	436.5	4
'Tollo	'	22	problèmes	problemes	--
'Tondi Gamey	'	76	496.0	lacune	--
'Tondi Kire	'	69	315.5	371.5	18
'Tongom	'	37	399.6	lacune	--
'WARI	'	40	415.8	464.5	12
'Winde gorou	'	31	415.8	lacunes	--
'yelouma est	'	15	446.0	488.0	9
'Yiladde	'	35	440.9	504.0	16
'Zouzou Beri	'	30	problèmes		

---

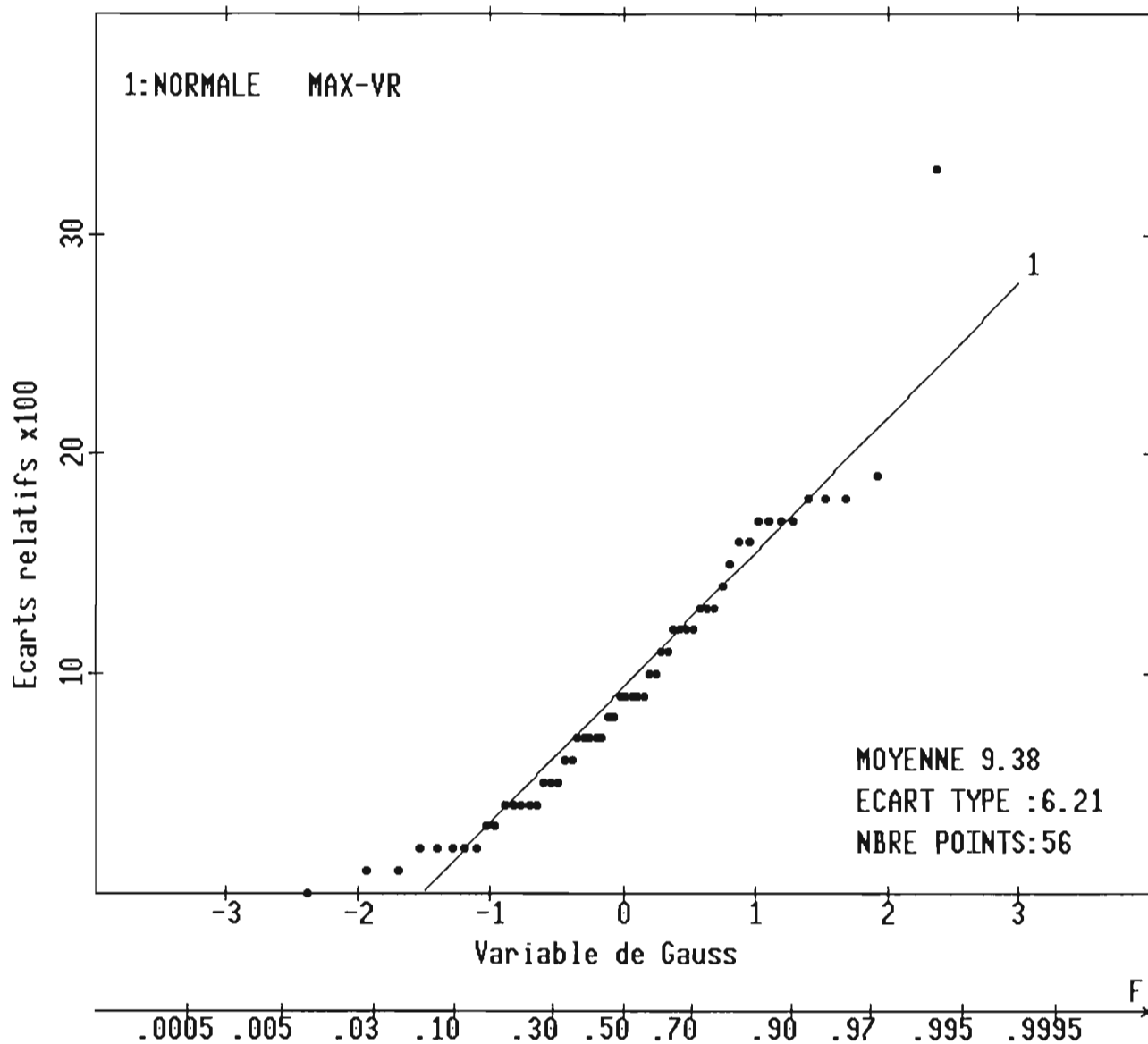
Stations installées tardivement

'Bololadie	6 juin	84	386.8	392.0	1
'Boubon Golf	7 juin	85	395.0 (pb)	464.0	18
'Bougoum	14 juin	89	312.5	334.5	7
'Gorou Goussa	30 mai	80	392.7	438.0	12
'Kaba	13 juin	88	348.7	315.5	-10
'Kare Bangou	20 juin	90	393.7	416.0	6
'Karma	31 mai	81	495.4 (pb)	507.5	2
'Kossey	20 juin	91	423.7	410.5	-3
'Koyria	1 juin	82	257.4	lacune	--
'Ngourwa	7 juin	87	problemes	391.0	--
'Niamey IRI	5 juin	83	problemes	391.0	--
'Sama Dey 1	27 juin	92	299.0	306.0	2
'Sama Dey 2	31 juill	93	144.9	160.5	11
'Torodi	6 juin	86	536.6	558.5	4

---

'Niamey Poudriere	'	38	transfert a l'aeroport		
'Danguey gorou *	'	14	arret en 1989		

### Repartition des ecart relatifs seuu/augets.



**Figure 8. Ajustement d'une loi normale (méthode du maximum de vraisemblance) aux écarts relatifs entre les cumuls saisonniers seuu et augets.**

Ecart = (valeur auget - valeur seuu) / valeur seuu.

#### b) Synchronisme

Les horloges internes des appareils Elsyde n'étant pas calées en temps absolu, et étant dépourvues d'une alimentation autonome, le maintien d'un bon synchronisme entre tous les appareils nécessitent trois conditions :

- 1) que l'initialisation de l'horloge (qui s'effectue au formatage de la cartouche) soit référencée par une heure identique pour tous les postes;

2) que le système d'alimentation ne connaisse pas de défaillances;

3) que l'horloge interne ne soit soumise à aucune dérive.

La première de ces conditions est satisfaite grâce à une pendule de référence installée au bureau, et sur laquelle des montres de précision sont calées avant chaque départ en tournée. Cette méthode assure un synchronisme initial à 10 secondes près.

La deuxième condition est liée à la supervision régulière des ensembles panneau solaire-batterie, dont on a vu que leur efficacité a été bien améliorée en 1990.

Le troisième facteur est sous contrôle du constructeur qui garantit des dérives théoriques inférieures à 10 secondes par mois. Un examen systématique des cartouches de la saison 1990 montre que cette condition est loin d'être satisfaite, puisqu'on a pu observer des valeurs de dérive allant jusqu'à 74 minutes sur cent jours (statin de Darey), et que 90% des cartouches sont affectées d'une dérive de plus de trois minutes sur cent jours (tableau 5). A la suite de ce constat, une étude a été entreprise pour expliquer les raisons de ces dérives et les relier à d'éventuelles problèmes de batterie ou de température. Les résultats de ces tests sont donnés en annexe 1 et ne confirment pas l'importance des dérives enregistrées sur le terrain. En outre ces tests mettent en évidence une dérive constante dans le temps, ce qui permet une correction linéaire. La raison exacte des dérives importantes constatées en 1990, n'a pu encore être déterminée, et des contrôles très rigoureux seront donc à effectuer en 1991.

**Tableau 5: Dérives de temps calculées au dépouillement des cartouches.**

Nom de la station	Epsat	Cartouche								
		1			2			3		
		mn	j	T	mn	j	T	mn	j	T
AGHAROUS	47	57	184	31						
ALKAMA	43	17	149	11						
Balal Sagui	8	13	186	7						
Bangou Bobo	53	LACUNE			LACUNE			11	104	11
Bangou Tawey	75	45	172	26						
Banizoumbou	11	30	99	30	18	62	29			
Banizoumbou sol	911	--	--	--						
Banka Dey	10	3	51	6	7	135	5			
Barkiawal	28	51	85	60	5	95	5			
Bazanga Bangou	5	13	151	9						
Beri koira	21	45	119	38	0	96	0			
Bololadie	84	47	160	29						
Borgoberi	60	LACUNE								
Borne 253	74	0			11	53	21			
Boubon Golf	85	34	132	26						
Bougoum	89	14	151	9						
Damana	27	-1	91	-1	0					
Darey	18	51	69	74	9	120	8			
Debere Gati	25	0								
DEY TEGUI	33	6	99	6	5	62	8	0	22	
Diokoti	64	58	220	26						
DJAKINDJI	48	58	216	27						
Djoure	63	48	184	26						
Fandobong	14	11	177	6						
Fandou Beri	9	LACUNE			4	65	6	5	55	9
Fetokadie	7	11	186	6						
Foy Fandou	24	0			0					
Gagare	20	LACUNE			0			0		
Gamonzon	34	-2	141	-2	0					
Ganki Bassarou	65	50	220	23						
GARDAMA KOUARA	50	20	174	11						
Gassa NW	1	3	78	4	2	61	3			
Gassanamari NE	2	-10	137	-7						

Gassa SE	3	LACUNE		0	35		-1	61	-2
Gassa SW	4	8 137	6						
Gassan Kournie	16	54 187	29						
Gasseйда	12	51 177	29						
GORBIKOY KAINA	39	55 188	29						
Gorou Goussa	80	6 55	11	9	97	9			
Gourmandey	58	73 214	34						
Guessel Bodi	66	LACUNE		20	85	24			
GUILAHEL	49	61 206	30						
HARIKANASSOU	41	18 208	9						
HASSOU BANGOU	42	LACUNE							
Holo	71	62 193	32						
Kaba	88	17 147	12						
Kaligorou	61	-5 193	-3						
Kampa zarma	13	7 114	6	2	62	3			
Karabeji	67	2 53	4	14	62	23			
Kare	29	0							
Kare Bangou	90	15 154	10						
Karma	81	37 138	27						
KIRAN MILI	45	49 182	27						
Kodo	62	88 220	40						
Ko Fandou	36	7 87	8	5	98	5			
Kokorbe Fandou	73	LACUNE		9	29	31			
Kolbou Zarma	56	24 104	24	25	110	23			
Kollo 1,50 M	54	-3 94	3	-2	62	3			
Kollo sol	954	LACUNE		-1	69	-2			
KOLO DIOGONO	46	31 131	24	8	29	28	LACUNE		
Komakoukou	6	5 84	6	-7	62	11			
Kossey	91	16 154	10						
Koure	17	5 92	5	7	92	7			
Koure Kobade	26	21 122	17	-2	38	5			
Koure Sud	51	LACUNE		4	42	10	5	48	10
Koyria	82	LACUNE		5	58	10			
Mare Kire	77	53 188	28						
MAROBERI ZENO	44	LACUNE		2	28	7	5	40	12
Massi Koubou	78	-8 181	4						
Ngourwa	87	47 160	29						
Niabere Djambe	59	64 195	33						
Niamey Aeroport	94	0		0					
Niamey IRI	83	2 57	4	LACUNE					
Niamey ORSTOM	70	7 82	9	LACUNE			18	62	29
Nine Founo	68	25 100	25	23	92	25			
Nioumey	79	60 196	31						
Sama Dey 1	92	10 92	11						
Sama Dey 2	93	7 67	10						
Sandideye	57	30 104	30	31	110	28			
Sekoukou	55	40 153	26						
Tafakoira	19	LACUNE		6	120	5			
Tanaberi	32	-1 115	-1	-2	62	-3			
TierendjiI	52	19 173	11						
Tigo zeno	23	8 165	5						
Timborane Soli	72	58 160	36						
Tollo	22	14 210	7						
Tondi Gamey	76	LACUNE		8	56	14			
Tondi Kire	69	-3 193	-2						
Tongom	37	LACUNE		0					
Torodi	86	50 160	31						
WARI	40	20 182	11						
Winde gorou	31	LACUNE		LACUNE			LACUNE		
yelouma est	15	15 186	8						
Yiladde	35	-3 183	-2	0					
Zouzou Beri	30	LACUNE		0					

avec : - mn = nombre de minutes de derive (mn = date relative - date absolue)  
- j = duree de vie de la cartouche en jours  
- T = mn / j \* 100

**Tableau 6: Récapitulatif des événements pluvieux majeurs identifiés à partir du réseau de pluviographes.**

Recapitulatif des evenements pluvieux majeurs  
lors de la campagne 1990

	Dates des evenements pluvieux		N	M	i	n	Cumul 1/10 mm			
	Debut	fin					5	30	60	T
1	28/05 a 22h40'	29/05 a 05h50'	68	23.6	27	3	146	569	747	775
2	07/06 a 23h50'	08/06 a 03h45'	56	7.9	64	29	115	586	726	745
3	12/06 a 23h30'	13/06 a 04h55'	63	5.1	27	81	85	254	288	300
4	17/06 a 17h25'	17/06 a 21h40'	46	7.8	58	86	119	509	588	590
5	22/06 a 01h20'	22/06 a 06h05'	58	3.9	27	91	80	226	315	320
6	24/06 a 21h05'	25/06 a 03h05'	78	27.2	18	80	214	660	705	790
7	27/06 a 16h45'	28/06 a 05h55'	40	5.2	76	54	121	347	451	595
8	29/06 a 19h25'	30/06 a 00h05'	41	3.7	68	90	85	318	325	325
9	03/07 a 08h30'	03/07 a 13h40'	72	7.5	27	48	67	282	480	570
10	05/07 a 16h55'	05/07 a 21h10'	31	5.2	24	86	132	449	670	685
11	08/07 a 01h25'	08/07 a 04h55'	41	5.4	34	84	300	615	625	645
12	09/07 a 03h55'	09/07 a 07h15'	34	1.5	34	57	56	240	295	300
13	12/07 a 05h30'	12/07 a 14h55'	79	17.6	27	85	132	425	530	600
14	15/07 a 08h20'	15/07 a 11h20'	37	2.8	25	51	147	526	570	570
15	15/07 a 12h35'	15/07 a 15h50'	70	4.9	26	2	76	200	210	230
16	18/07 a 08h20'	18/07 a 15h15'	69	8.6	27	86	137	470	470	470
17	21/07 a 11h45'	21/07 a 15h55'	51	7.8	26	86	111	440	465	465
18	21/07 a 20h30'	22/07 a 02h45'	43	2.9	63	35	69	188	190	215
19	22/07 a 03h45'	22/07 a 11h30'	63	4.4	32	46	44	150	185	400
20	23/07 a 05h20'	23/07 a 11h00'	75	19.4	26	86	108	383	430	430
21	27/07 a 08h15'	27/07 a 13h50'	75	23.9	26	90	114	460	541	600
22	31/07 a 02h40'	31/07 a 08h10'	69	13.3	26	26	120	406	545	550
23	02/08 a 22h45'	03/08 a 02h30'	43	4.7	36	88	107	297	340	350
24	04/08 a 00h35'	04/08 a 08h00'	83	27.1	27	20	139	489	525	580
25	08/08 a 18h15'	09/08 a 01h40'	86	20.8	26	86	120	374	420	515
26	14/08 a 13h45'	14/08 a 16h35'	28	0.9	26	32	29	70	70	85
27	17/08 a 17h45'	18/08 a 01h25'	71	16.8	36	90	150	451	551	820
28	24/08 a 22h10'	25/08 a 04h40'	74	11.1	58	86	201	392	410	480
29	28/08 a 21h30'	29/08 a 02h25'	54	3.8	36	84	75	215	215	250
30	29/08 a 11h10'	29/08 a 16h00'	74	3.8	27	91	78	274	285	285
31	01/09 a 22h00'	02/09 a 07h05'	86	17.1	27	32	159	592	662	1025
32	05/09 a 00h15'	05/09 a 05h25'	83	7.4	56	90	142	470	480	495
33	07/09 a 11h10'	07/09 a 16h40'	71	12.9	27	82	100	472	643	720
34	11/09 a 00h55'	11/09 a 05h35'	32	2.4	26	58	90	361	432	500
35	13/09 a 21h50'	14/09 a 02h35'	86	15.3	34	71	131	423	455	480
36	17/09 a 17h35'	18/09 a 00h40'	69	19.4	18	84	140	520	735	830

avec :

- N = nombre de stations ayant enregistre des basculements durant la pluie,
- M = moyenne pour l'evenement sur l'ensemble des stations ayant fonctionne,
- i = numero "Epsat" de la premiere station touchee,
- n = numero "Epsat" de la derniere,
- Cumul maximal sur 5, 30, 60 minutes et cumul pour la pluie (T).



## 4

### COLLECTE DES DONNEES RADAR

#### 4.1 Le Radar

Le radar utilisé appartient à la DMN et sa maintenance est confiée à l'ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne). Outre sa numérisation, déjà signalée au début de ce rapport, le Laboratoire d'Aérodologie a assuré une première remise au niveau de l'électronique du système en 1989. Le dépouillement des données acquises en 1989 a montré une perte de sensibilité de 30 dbZ par rapport aux performances nominales. Il a donc été décidé de remplacer certains composants tels que le dispositif d'émission-réception (T.R) et les cristaux qui assurent la conversion du signal reçu en puissance en un courant. Différents réglages du CAF et du magnétron ont également été réalisés. Enfin le radôme a été entièrement démonté et repeint avec une peinture perméable aux ondes hyperfréquences. Le détail de ces opérations est donné en annexe 2.

#### 4.2 Protocole d'alerte et de suivi

Le radar de la DMN est géré par l'ASECNA qui l'utilise à des fins de protection aérienne. Le trafic restreint de l'aéroport de Niamey ne rend pas nécessaire une utilisation permanente du radar. En saison des pluies, la surveillance de routine consiste à effectuer une exploration radar toutes les trois heures. En cas de détection d'un système précipitant pouvant intéresser la zone de trafic de l'aéroport, les protectionnistes assurent une veille permanente. Jusqu'à la numérisation du radar dans le cadre d'EPSAT-NIGER, les protectionnistes décalquaient les principales zones d'échos observées à l'écran pour pouvoir étudier leur déplacement et surveiller leur évolution verticale. Les calques ont été archivés et peuvent constituer une source d'information intéressante, bien qu'imprécise, sur le plan climatologique.

La numérisation du radar n'a pas modifié l'organisation du système de surveillance de l'ASECNA, mais l'a en principe facilitée puisqu'une console déportée de visualisation couleur se trouve désormais installée dans la salle même de prévision, à l'étage. Cependant, le pupitre de commande du radar demeure au rez-de-chaussée.

L'acquisition des données pour EPSAT-Niger obéit à des besoins, donc à des règles différentes de celles de l'opérationnel. C'est pourquoi il avait été décidé qu'en cas de système précipitant intéressant (ou susceptible d'intéresser) la zone d'étude, les protectionnistes de l'aéroport alerteraient les équipes d'EPSAT-NIGER. Ces dernières assuraient alors la mesure et l'acquisition selon un protocole qui est donné en annexe. A partir de ce moment, le service de protection disposait des images sur sa console déportée, et pouvait à tout moment descendre au pupitre de contrôle pour effectuer des mesures spécifiques à leur tâche. Le plus généralement il s'agit de RHI (Range Height Indicator) destinés à évaluer la hauteur et la structure verticale des nuages. L'alerte des équipes de veille ORSTOM se faisait par téléphone. Un contact systématique était établi en fin de journée (l'activité convective se manifeste surtout en fin d'après-midi et la nuit), soit par téléphone soit par visite à l'aéroport.

La visite à l'aéroport permettait d'effectuer quelques tours d'antenne et d'étudier la photo Météosat de 18h00 TU. Un état de préalerte était ainsi éventuellement décidé, imposant au responsable de l'équipe de veille de rester à proximité d'un téléphone ou d'appeler régulièrement l'aéroport.

Ce protocole d'alerte et de suivi a globalement donné satisfaction, bien qu'il se soit heurté à deux difficultés principales:

- 1) difficulté des liaisons téléphoniques à travers le standard de l'aéroport ; en particulier la nuit où il est fréquent que le standard ne réponde pas;
- 2) mauvais fonctionnement du réseau assurant le déport des images sur la console de la salle de prévision. Il semble qu'il y ait des conflits entre les acquisitions disques et l'envoi des images sur le réseau. Ces deux opérations ne sont généralement pas simultanées, mais peuvent le devenir puisqu'elles sont gérées indépendamment l'une de l'autre et selon des critères différents.

Pour la saison 1991, les améliorations suivantes sont prévues:

- établissement d'une ligne téléphonique propre à la salle de prévision, évitant le transfert des appels à travers le standard de l'aéroport. Cette ligne a été installée à la fin de l'année 1990.
- établissement de communications radio allégeant l'astreinte des équipes de veille. Ceci nécessite des autorisations longues à obtenir et il n'est pas certain qu'elles le seront d'ici le démarrage de la campagne 1991.
- correction des défauts liés à l'utilisation du réseau.

La veille radar proprement dite était assurée par deux personnes de l'expérience, et se prolongeait soit jusqu'à l'évacuation vers l'ouest en cas de système précipitant organisé, soit jusqu'à la disparition de la convection en cas d'amas convectifs isolés. Le protocole de suivi est donné en annexe 3.

#### **4.3 Déroulement de la campagne**

La première veille a eu lieu le 18 mai 1990 à l'occasion d'un orage localisé sur Niamey. Les différents travaux ultérieurs (voir annexe 2) effectués sur le système d'émission-réception et sur le radôme n'ont permis aucune véritable acquisition avant le 8 juin. A compter de cette date, 23 événements pluvieux ont été suivis et archivés (tableau 7), ce qui représente plus de la moitié des 36 épisodes identifiés à partir du réseau de pluviographes, dont la liste figure au tableau 6

Sur ces 23 événements, un seul (celui du 15 juin) n'appartient pas à cette liste, et deux n'ont pas été archivés dans la banque BADORA (tableau 8) du fait de difficultés de relecture des fichiers SANAGA correspondants. Le traitement systématique des données acquises n'ayant pas encore été réalisé, il est impossible de fournir autre chose qu'un récapitulatif BADORA de ces données. On sait néanmoins que, compte-tenu des problèmes majeurs rencontrés avec l'alimentation électrique du radar, la qualité des données est très inégale, les performances électroniques du système étant souvent dégradées. Les coupures brutales de courant, la tension mal régulée, ont été responsables de la dégradation fréquente des cristaux, voire de l'interruption complète des acquisitions. Ceci signifie:

- 1) que l'utilisation à des fins quantitatives des données acquises devra se faire avec beaucoup de précaution et qu'on ne pourra connaître le pourcentage de déchets inclus dans ces données, qu'après une comparaison très sérieuse avec les données sol;
- 2) que l'alimentation électrique du radar doit être totalement revue en prévision de la campagne 1991;
- 3) que les performances du radar doivent être revérifiées et qu'il faudra opérer les changements de pièces qui s'avèreraient nécessaires à la suite de ces vérifications;

La saison radar 1990 s'est achevée le 17 septembre par le bris d'éléments de pignonerie entraînant l'immobilisation des parties mécaniques du système. Le remplacement des pignons a été confié à l'équipe du Laboratoire d'Aérodologie de Lannemezan.

**Tableau 7: Récapitulatif des acquisitions radar.**

Date	Durée	Nbre de fichiers ok	Nbre de fichiers à 0,8	Commentaires
08/06/90	2h15mn	33	28	Heure du hp dérégler environ 40mn
15/06/90	2h37mn	30	30	Prise de ligne à 100 km
17/06/90	4h30mn	69	55	Prise de ligne à 30 km. Perte de 26 fichiers suite à problème réseau
22/06/90	5h40mn	82	68	Prise de ligne à 60km
24/06/90	7h29mn	80	88	Arrivée après passage de la ligne de très forte intensité .Changement cristaux après coupure secteur
27/06/90	5h20mn	64	56	Prise de ligne a 40 km .Nuages plus denses en altitude ( voir site 8,2°)
29/06/90	2h30mn	31	31	Prise de ligne à 10km
03/07/90	4h16mn	94	80	Nuages à 80 km
05/07/90	2h26mn	24	24	Convection locale .Test de l'enregistrement automatique durant toute la veille
12/07/90	6h30mn	80	63	Ligne à 80 km .Panne du groupe électrogène suivie de multiples coupures du réseau
18/07/90	2h36mn	42	32	Convection locale
23/07/90	3h27mn	34	23	Prise de ligne à 50km
25/07/90	5h14mn	40	25	Ligne à 100km .Problème avec le groupe
27/07/90	8h02mn	84	61	Ligne à 110km .Problème avec le groupe , site non stable
30/07/90	10h15mn	69	55	Prise de ligne à 350km .Multiples coupures à l'arrivée de la ligne sur l'aéro . 3 paires de cristaux perdues
08/08/90	3h31mn	29	19	Groupe de CB en ligne à 100km
23/08/90	1h03mn	11	11	Etude de convections locales
24/08/90	15h03mn	80	75	Ligne à 150 km au Nord-Est . Perte de fichiers due à problème de sauvegarde
01/09/90	6h20mn	36		Ligne à 60 km au Nord-Est
5/09/90	2h33mn	15	9	Ligne à 30km .La previ n'a pu prévenir plutôt suite à problème pour joindre le standard. Multiples coupures secteur .Arrêt de la veille afin de protéger le radar.
11/09/90	6h4mn			Arrivée tardive .Ligne de faible intensité.
13/09/90	9h50mn	74	44	Ligne à 150km ,hauteur 15000 m,intensité 45 Dbz
17/09/90	4h27mn	32	18	Etude de convection locale . Transformation des cellules en ligne de grain
TOTAL :	124h48	1133	895	

Arrêt de la saison suite à détérioration de la partie mécanique du radar.

**Tableau 8: Récapitulatif des épisodes radar intégrés dans BADORA.**

```

+-----+
!           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 !
+-----+
! 11/10/1990 18:42:03                               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)
08/06/1990	00:07:40	08/06/1990	02:45:45	A	Pb	32	2316
15/06/1990	22:03:12	16/06/1990	00:20:46	A	Pb	31	1368
17/06/1990	19:28:03	17/06/1990	22:45:19	A	Pb	44	2291
22/06/1990	00:50:33	22/06/1990	06:30:21	A	Pb	78	4005
24/06/1990	22:01:10	25/06/1990	05:30:12	A	Pb	87	6348
27/06/1990	17:35:47	27/06/1990	22:54:04	A	Pb	65	2042
29/06/1990	21:14:13	29/06/1990	23:45:04	A	Pb	31	1447
03/07/1990	07:50:30	03/07/1990	15:05:04	A	Pb	94	3855
05/07/1990	16:46:27	05/07/1990	19:11:26	A	Pb	23	1404
12/07/1990	03:34:32	12/07/1990	09:57:17	A	Pb	77	1727
18/07/1990	12:10:19	18/07/1990	14:46:34	A	Pb	42	1211
23/07/1990	08:03:15	23/07/1990	11:30:15	A	Pb	31	757
25/07/1990	05:16:42	25/07/1990	10:30:15	A	Pb	29	608
27/07/1990	07:29:56	27/07/1990	15:31:58	A	Pb	67	2414
30/07/1990	21:59:50	31/07/1990	08:00:48	A	Pb	63	1694
23/08/1990	15:46:56	23/08/1990	16:49:44	A	Pb	11	116
24/08/1990	18:45:24	25/08/1990	09:34:22	A	Pb	76	2279
01/09/1990	21:33:16	02/09/1990	04:39:40	A	Pb	41	1215
05/09/1990	00:37:22	05/09/1990	02:10:25	A	Pb	13	207
11/09/1990	01:56:52	11/09/1990	05:23:06	A	Pb	21	686
13/09/1990	16:16:45	14/09/1990	05:55:05	D	Pb	70	2009

21 enregistrements lus

```

+-----+
!           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 !
+-----+
! 11/10/1990 18:42:04                               F I N   D E   L ' I M P R E S S I O N !
!           F I N   D E   L ' I M P R E S S I O N !
+-----+

```

## 5

### QUELQUES RESULTATS

#### 5.1 Exploitation des données radar.

Il a déjà été souligné que les données radar ne pourraient faire l'objet d'une exploitation à des fins de quantification de la pluie qu'après une critique soignée et systématique. Ce travail de critique est long à effectuer, et nécessite de pouvoir facilement accéder à ces données pour les comparer entre elles. On a donc été amené à adopter la démarche suivante:

1. constitution d'un outil de banque de données radar (BADORA, T.Valéro, 1990), qui permet de filtrer les données brutes acquises et de les structurer sous forme d'épisode. En effet dans SANAGA, à chaque acquisition correspond un fichier, ce qui signifie que d'une part il n'y a pas de regroupement des fichiers acquis au cours d'un même épisode, et que d'autre part il peut y avoir dans ces fichiers plus de données que ce qu'on désire (par exemple à chaque fois que l'acquisition a été réalisée sur plus d'un tour d'antenne).
2. développement de procédures d'extraction et de visualisation (VANIMA). Ces procédures permettent notamment de limiter l'extraction à l'aire de couverture par le réseau sol, de superposer des isohyètes calculées à partir des données pluviographiques, et enfin de réaliser une animation d'une séquence d'images.
3. comparaison des cumuls de réflectivité par épisode, et pour les pixels correspondant à un pluviographe, avec les cumuls enregistrés à ce pluviographe.

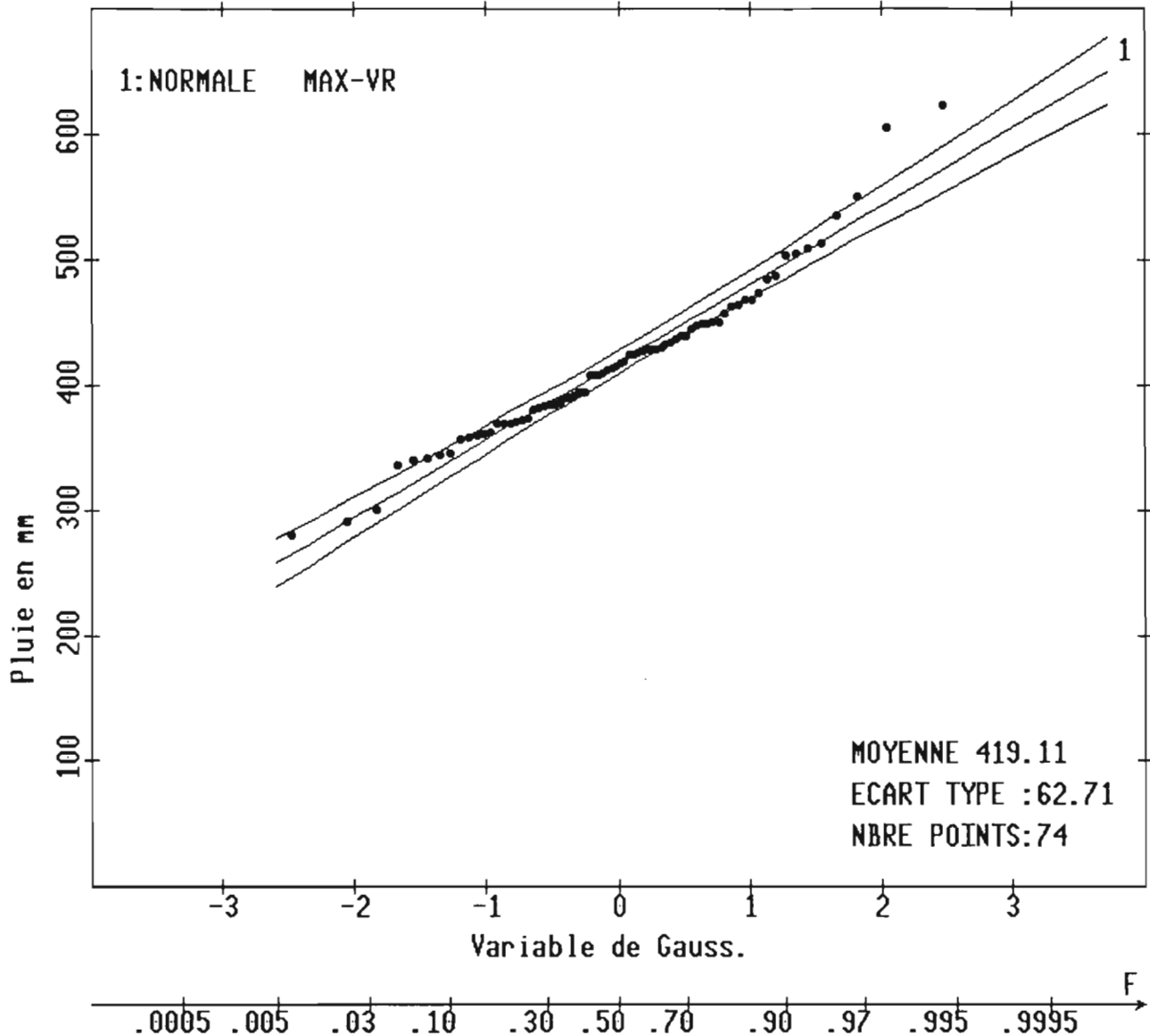
A l'heure actuelle seuls les actions 1 et 2 sont terminées, ce qui autorisera une mise en forme plus rapide des données 1991. L'étape 3 sera réalisée conjointement sur les données radar 1990 et 1991. Le traitement des données 1990 a donc jusqu'à présent surtout porté sur les données sol. Il ne s'agit certes que de traitements préliminaires, mais ils fournissent un premier aperçu des résultats à attendre d'une exploitation en profondeur des informations pluviographiques de EPSAT-NIGER.

#### 5.2 La répartition des cumuls saisonniers

La saison 1990 a été nettement déficitaire si on en juge par comparaison entre la carte des isohyètes interannuelles 1950-1989 (fig. 1) et celle des cumuls de la saison sur le degré carré. En section 2, on a évalué ce déficit à environ 20 à 25%, en se basant sur les 30 stations du réseau EPSAT-NIGER ayant fonctionné sans pannes en 1989 et 1990. Une telle estimation est nécessairement très approximative. Les chiffres qui ont permis de la calculer, ont été obtenus de deux façons très différentes :

- la moyenne interannuelle 1950-1989 sur la zone d'étude, estimée à 550 mm résulte de l'intégration d'une carte d'isohyètes définies localement par 6 stations dont quatre dans la zone d'étude, elle même (Niamey, Say, Kollo, Birni N'gaouré). La robustesse de l'estimation repose sur une hypothèse de stabilité du climat, des moyennes de 40 ans permettant de lisser la forte variabilité spatiale qui caractérise les cumuls sur une seule année.

- la moyenne de la saison 1990 (15 Mai-30 Novembre), est estimée à 405 mm à partir de 30 stations, et à 419 mm à partir de 74 stations. La répartition des 74 cumuls saisonniers suit sensiblement une loi normale, de moyenne 419 et d'écart-type 62 mm (fig. 9), seuls les deux points extrêmes s'écartant nettement de la loi de Gauss ajustée. L'estimation de la moyenne est ici jugée fiable parce que la densité du réseau garantit la redondance de l'information. En contrepartie, cette série de 74 valeurs est fortement autocorrélée et on ne peut donc en déduire directement l'intervalle de confiance de sa moyenne.



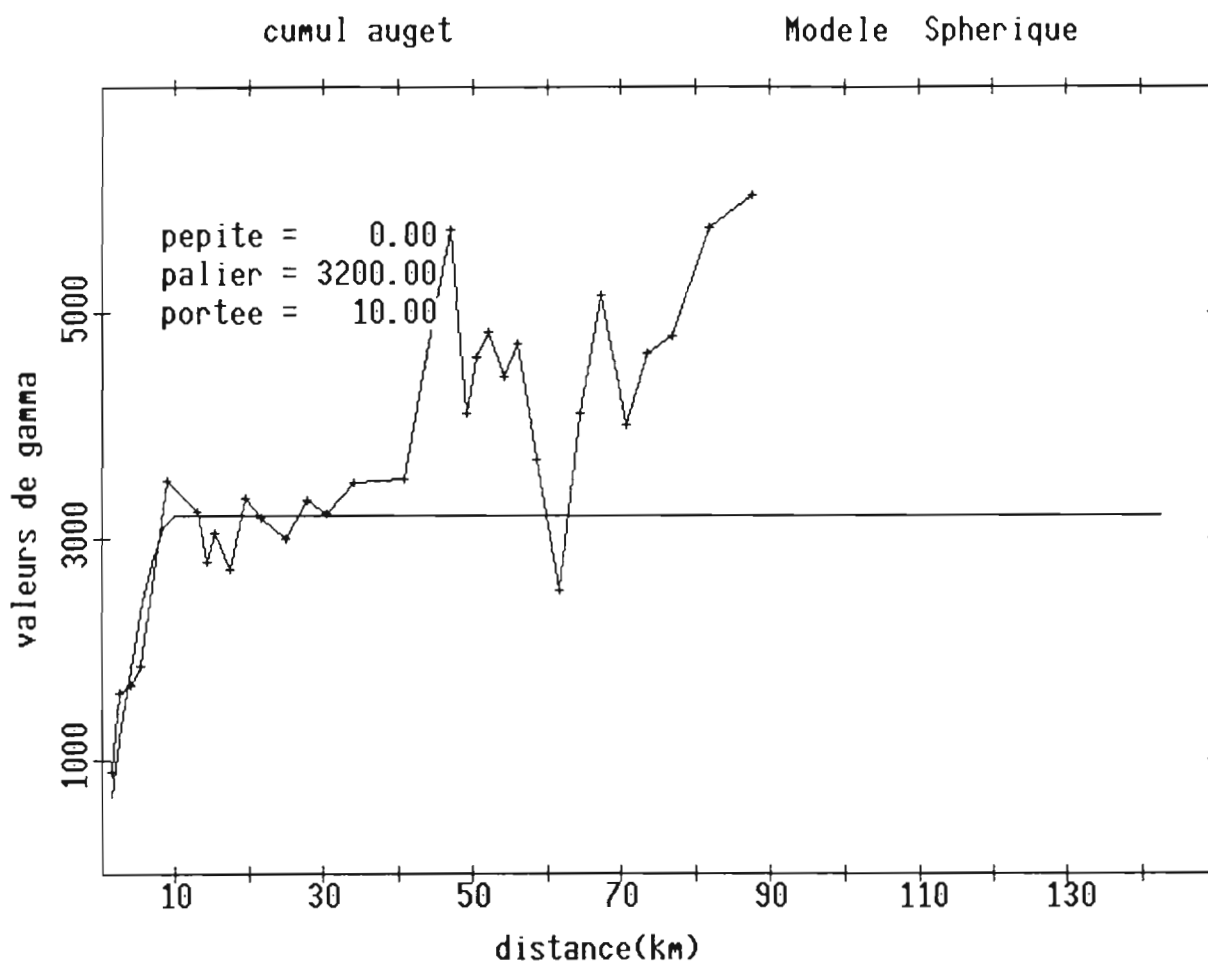
**Figure 9. Ajustement d'une loi normale aux cumuls augets de la saison 1990, avec les limites de l'intervalle de confiance des quantiles au seuil de 95%.**

L'analyse de la corrélation spatiale des cumuls saisonniers est nécessaire pour pouvoir comparer l'écart-type des séries temporelles (135 mm sur Niamey-Ville de 1905 à 1989 pour une moyenne de 563 mm, et 115 mm de 1950 à 1989 pour une moyenne de 562 mm), et donc fournir des intervalles de confiance aux estimations de pluie moyenne sur notre zone d'étude.

La carte d'isohyètes de la figure 3 montre la grande variabilité des cumuls saisonniers dans l'espace, avec notamment de très forts gradients sur la cible atteignant plus de 170 mm (soit de 30 à 40% d'écart) sur des distances de 10 km environ (la croyance, largement répandue et solidement ancrée, qu'une valeur ponctuelle de pluie annuelle

est "représentative" dans un rayon d'au moins 10 km, mérite donc être discutée). Le variogramme correspondant (fig. 10) présente deux paliers, un à 3200 mm<sup>2</sup> qui est atteint à 10 km environ, et l'autre à 4500 mm<sup>2</sup>, atteint à 45 km environ. Ceci est la traduction des deux grands types de structure de la carte d'isohyètes : **a)** de petites bosses ou creux décelés à l'échelle de la dizaine de kilomètres parce que l'interdistance moyenne du réseau de base est de 12,5 km; **b)** des dorsales elliptiques dont la longueur du grand axe avoisine 50 km.

Le premier palier correspond à un écart-type de 57 mm, le second à 67 mm, c'est à dire respectivement plus ou moins 5 mm par rapport à l'écart-type de l'ensemble de la série spatiale. Il est intéressant de noter qu'en 1989, à partir d'un réseau réduit de 30 postes, (incluant les stations de la cible) on avait identifié un seul palier à partir de 50 km. Par ailleurs le réseau pluviométrique nigérien est d'une densité insuffisante pour étudier les corrélations moyennes aux interdistances de quelques centaines de kilomètres, d'autant plus qu'à cette échelle le gradient latitudinal devient significatif.



**Figure 10. Variogramme des cumuls augets de la saison 1990.** Un modèle sphérique a été calé sur les 30 premiers kilomètres. C'est la gamme des distances utilisées en interpolation puisque les postes voisins sont espacés de moins de 15 kilomètres.

On doit donc se contenter d'admettre en première hypothèse que le palier de 4500 mm<sup>2</sup> nous fournit un estimateur de la variance de la série spatiale décorrélée. Ceci nous donne un écart-type de 67 mm, vraisemblablement sous-estimé. Cet écart-type est associé à une moyenne de 419 mm. Pour le comparer à l'écart-type (115 mm) de la série

temporelle de Niamey, dont la moyenne est de 562 mm, on va le corriger par un facteur 1,34 (562/419). On aboutit à une valeur de 90 mm, qui est une borne inférieure plus qu'un chiffre moyen. L'écart-type de la série temporelle de Niamey, et celui de la série spatiale obtenue à partir du réseau EPSAT-NIGER en 1990, sont donc du même ordre. Ceci ne signifie pas qu'ils soient équivalents, ne serait-ce que parce qu'ils sont affectés d'une fluctuation d'échantillonnage à préciser. Le fait que l'écart-type de la série longue de 1905-1989 soit de 135 mm, semble indiquer une variation plus importante sur cette période que sur la période 1950-1989, ce qui illustre que même avec 40 ans de données, il reste une incertitude sur l'estimation de l'écart-type.

Cette estimation grossière de l'écart-type spatial "équivalent" donne néanmoins une idée de la confiance qu'on peut accorder à l'estimation de la moyenne spatiale d'une année donnée à l'aide d'une seule valeur ponctuelle. En adoptant l'approximation normale, 68% des cumuls annuels sur le degré carré seraient compris dans l'intervalle [470,650] pour une année moyenne de pluviométrie 560 mm et 17% seraient inférieurs à 470 mm. **En échantillonnant au hasard sur le degré carré on a donc une chance sur six d'estimer la pluie sur la zone à moins de 470 mm (en supposant qu'il n'y ait qu'une seule station), alors qu'en réalité elle est son niveau moyen de 560 mm.** A l'inverse on peut aisément diagnostiquer une saison des pluies "normale", alors qu'elle est en réalité très déficitaire. On en a eu un exemple en 1990, avec la station synoptique de Niamey-Aéroport qui a enregistré 506 mm, une pluie proche de sa moyenne de 520 mm, alors que le déficit d'ensemble sur la zone est de 25 % d'après nos estimations. Rappelons que la pluie moyenne est de 562 mm à Niamey-Ville, ce qui traduit une certaine variabilité des pluies interannuelles .... ou un problème de qualité des mesures.

Ces chiffres sont des ordres de grandeur qui pourraient aisément varier de 20 à 30 mm en procédant à une étude plus rigoureuse s'appuyant sur plusieurs années consécutives d'expérience. Tels quels ils montrent déjà combien il est hasardeux de procéder à des diagnostics sur l'abondance de la saison des pluies localement à partir d'une ou deux valeurs ponctuelles. **On doit également souligner que cette grande fluctuation d'échantillonnage va affecter la validation des données de télédétection.**

Compte tenu que deux paliers ont été décelés sur le variogramme expérimental, la question s'est posée d'identifier un interpolateur optimal pour le tracé de la carte des isohyètes. La comparaison entre plusieurs interpolateurs de krigeage (fig. 11) montre que les cartes résultantes restent semblables dès lors qu'on suppose une structure sur une distance supérieure à la maille de base du réseau (c'est à dire qu'on accorde un poids prédominant au palier le plus élevé, ou qu'on impose une dérive linéaire). On a essayé d'améliorer le variogramme expérimental en travaillant sur les résidus à la dérive climatologique. Pour ce faire, on a commencé par vérifier que cette dérive était effectivement sous-jacente aux données de la saison 1990. En calculant la moyenne des cumuls saisonniers enregistrés à toutes les stations appartenant à une même bande est-ouest de 0,2° de large (une vingtaine de kilomètres), on constate un gradient globale de 90 mm/90 km (fig. 12). La décroissance sud-nord n'est pas parfaitement linéaire, mais elle est bien mise en évidence. Cette valeur de 1 mm/km correspond exactement à celle calculée d'après la carte des isohyètes interannuelles de la figure 1.

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

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

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

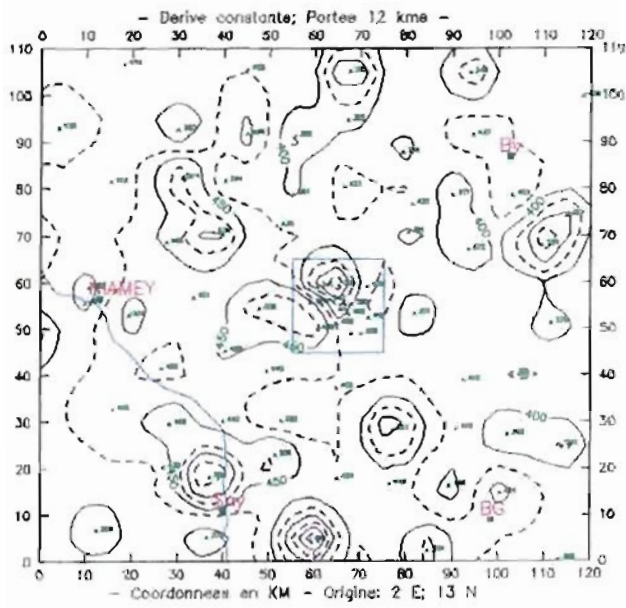
$$M(x_i, y_i) = 470 - y_i,$$

où  $x_i$  et  $y_i$  sont les coordonnées en kilomètres dans le repère d'origine (2°E, 13°N);  $z_i$  et  $M(x_i, y_i)$  sont exprimés en mm.

Le variogramme des résidus (fig. 13) conserve deux paliers. La carte correspondante est donnée en figure 14 b.



EPSAT-NIGER : Cumuls augets (mm) saison 1990



EPSAT-NIGER : Cumuls augets (mm) saison 1990

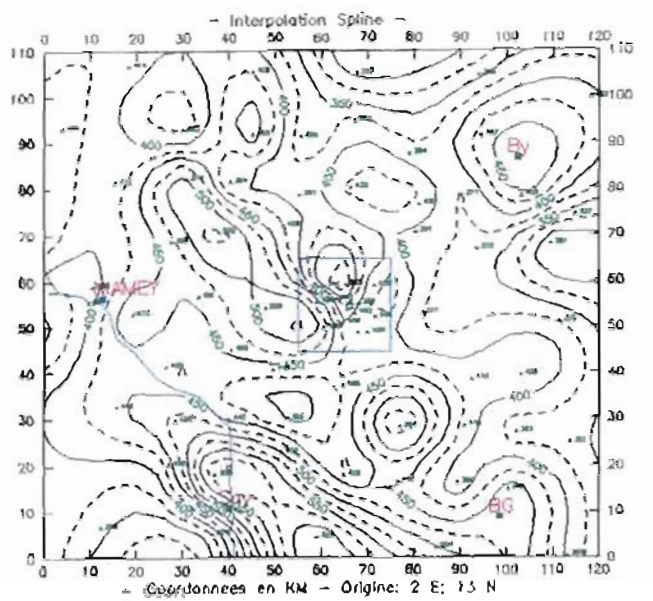
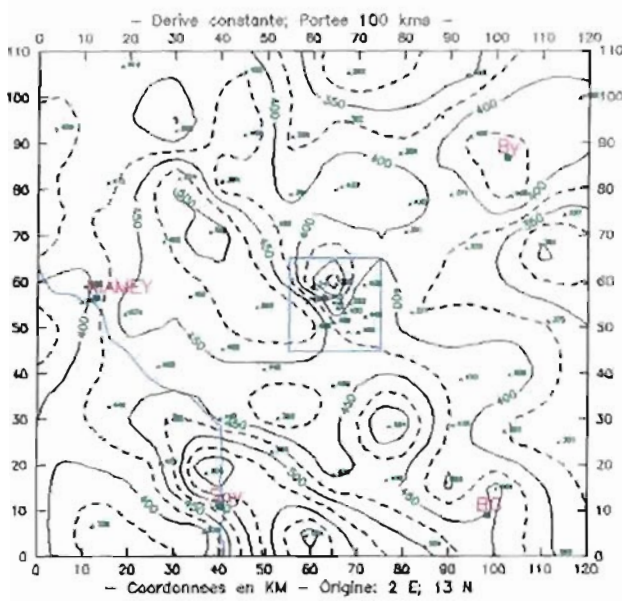
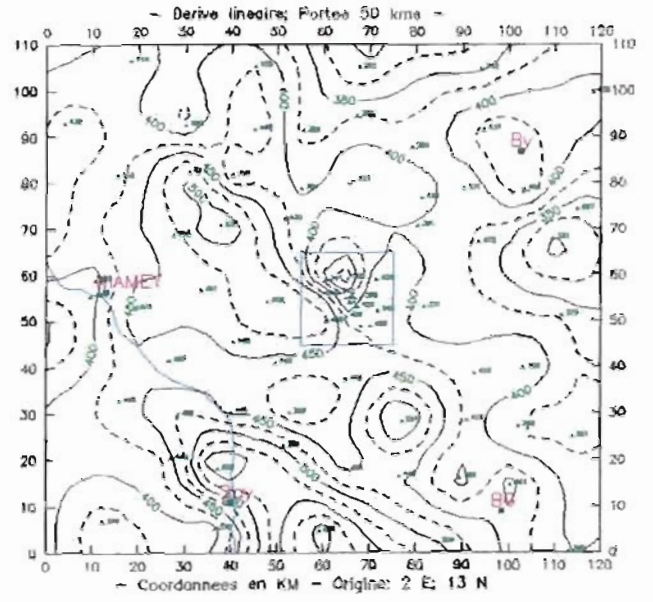
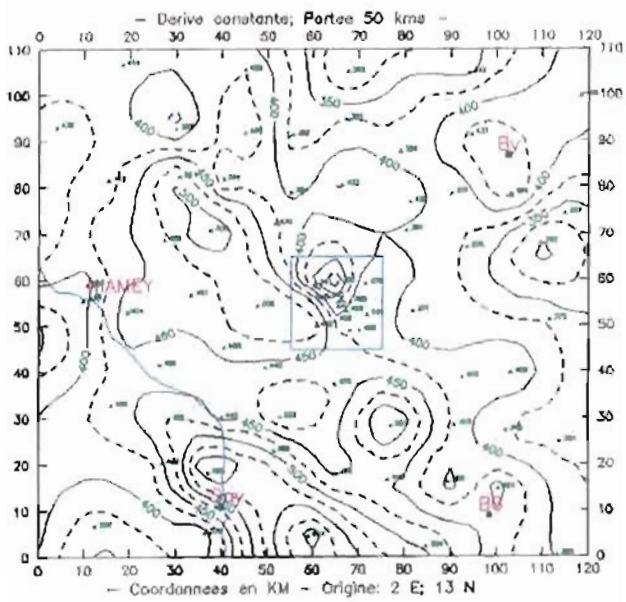
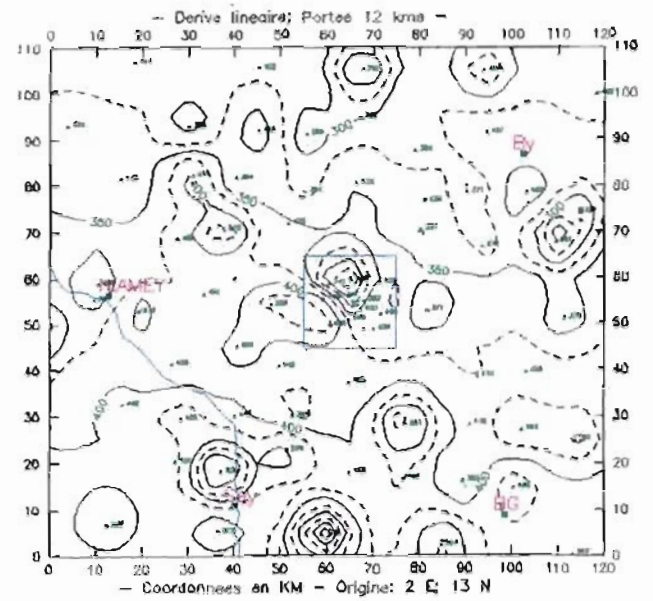
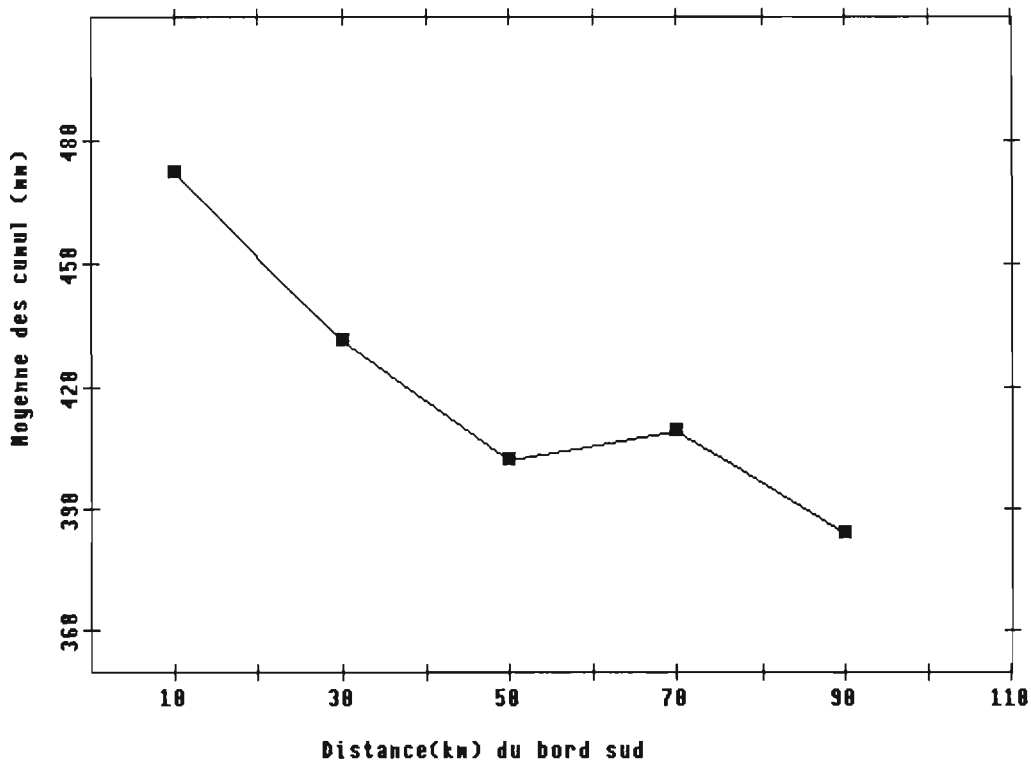
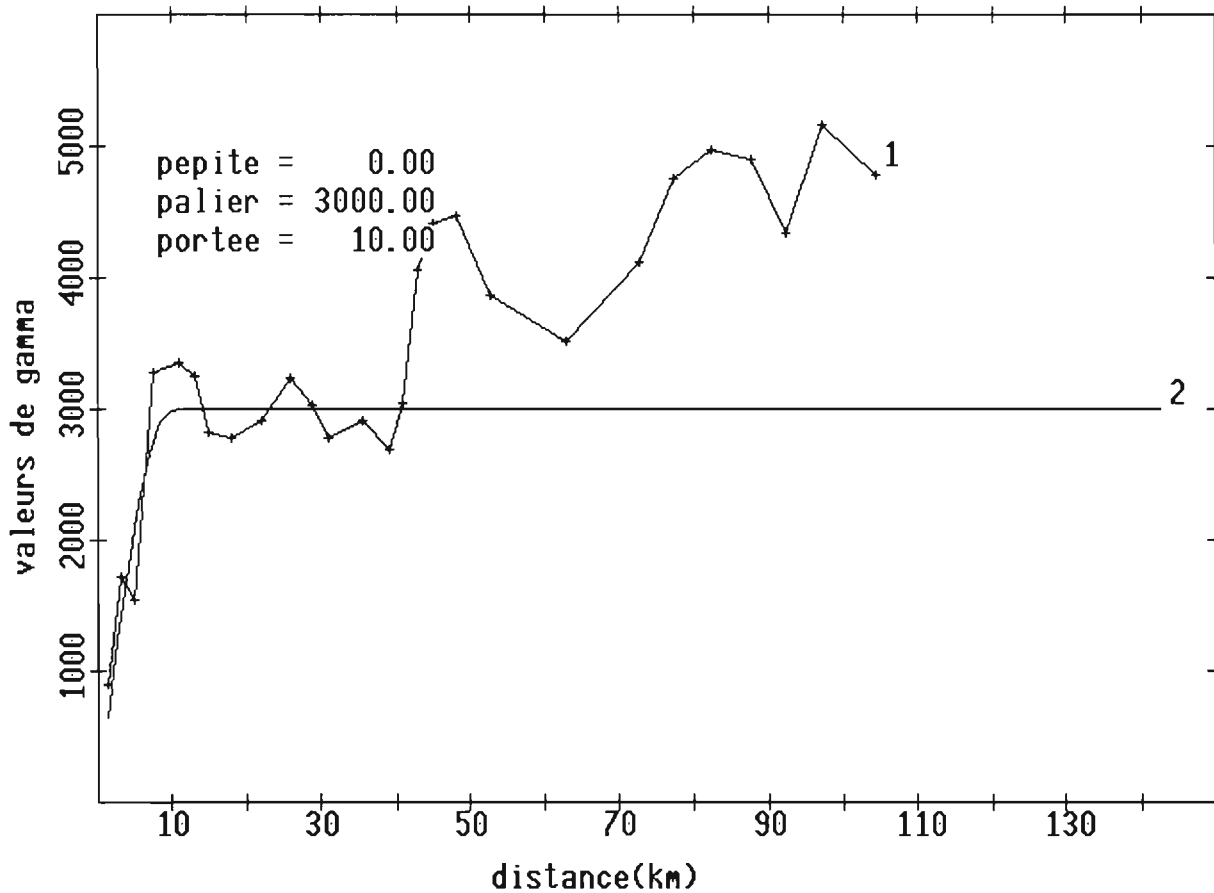


Figure 11. Isohyètes de la saison 1990 tracées à partir de 74 postes en utilisant différentes méthodes d'interpolation.



**Figure 12. Moyenne des cumuls saisonniers calculés sur des bandes larges de  $0,2^\circ$  en latitude.** Le gradient nord-sud est bien marqué, par contraste avec les cartes d'isohyètes où il apparaissait noyé par les fluctuations locales. Le gradient est de l'ordre de  $1 \text{ mm/km}$ , valeur identique au gradient climatologique.

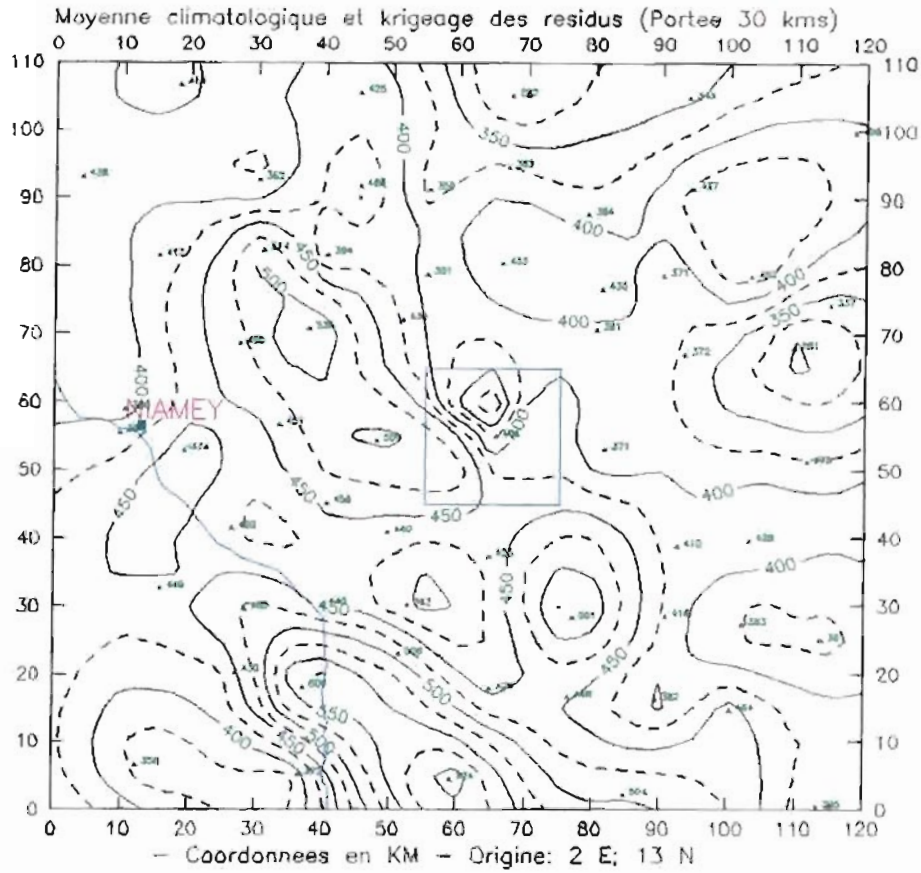


**Figure 13. Variogramme des résidus à la dérive  $M(x,y) = 470 - y$ .**

a)

## EPSAT-NIGER : Cumuls augets (mm) saison 1990

31



b)

## EPSAT-NIGER : Residus(mm) a la derive - Saison 1990

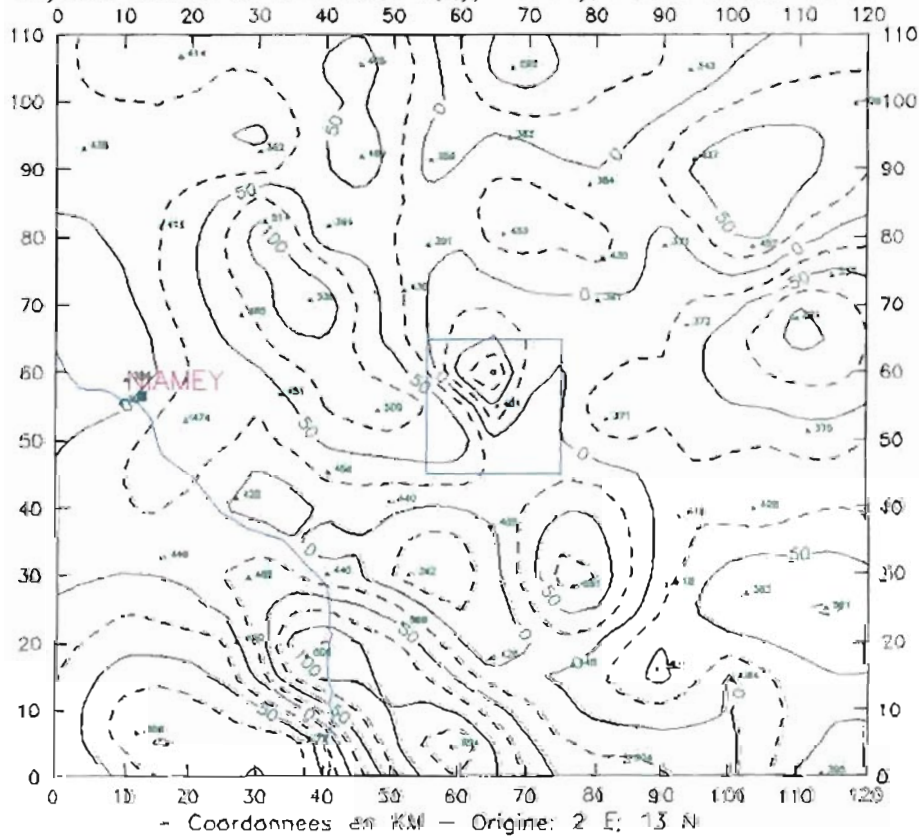
Moyenne fonction de la latitude:  $M(x,y) = 470 - y$ ; Portee residus: 30 km

Figure 14. Saison 1990

a) Isohyètes (mm) du cumul de la saison (15 mai-30 novembre).

b) Carte des résidus (mm) à la dérive climatologique.

Une autre procédure d'identification de la structure a été utilisée. Elle consiste à créer 2 échantillons et à reconstituer les valeurs du deuxième à l'aide de celles du premier, par différents estimateurs. On peut ensuite inverser les rôles des 2 échantillons. Pour mettre en oeuvre cette procédure, l'échantillon initial des 74 cumuls saisonniers a été enrichi à 84 stations. Les valeurs au seuil de dix stations ont en effet été corrigées à l'aide de la corrélation seuil/augets calculée à partir des 56 valeurs dont la répartition est donnée en figure 8. Le tableau 9 montre que le meilleur estimateur, au sens de la minimisation du carré des écarts entre valeurs observées et valeurs reconstituées, est le plan de dérive  $M(x,y) = 470-y$ . Les estimateurs basés sur une dérive nulle sont les moins performants. Ceux qui prennent en compte une dérive linéaire, mais dont les coefficients ne sont pas identifiés explicitement produisent des résultats intermédiaires. Les estimateurs basés sur le krigeage des résidus sont tous meilleurs que les autres, quelle que soit la portée du variogramme choisi, sauf pour une portée de 100 km. Pour le tracé de notre carte d'isohyètes de référence (fig. 3 et fig. 14a), on a choisi d'utiliser l'estimateur  $e_{030}$  (krigeage des résidus, variogramme sphérique de portée 30 km), dont l'écart-type d'estimation est de 8 mm (au lieu de 7,7 mm pour une portée de 12 kms), et le biais de 1 mm (au lieu de 5 mm pour une portée de 12 kms).

Le peu de différenciation entre les résultats obtenus par les différentes méthodes impose d'approfondir ce travail préliminaire, ce qui implique d'autres protocoles de validation qui seront utilisés aussi bien sur les données de 1990 que sur celles de 1991.

**Tableau 9 : Comparaison des estimateurs de valeurs ponctuelles par reconstitution des 42 cumuls saisonniers d'un échantillon test à l'aide des 42 valeurs restantes.** Moyenne de l'échantillon test : 395 mm; écart-type : 53 mm.  $Z^*_1$  : valeur estimée.

Estimateur	Moyenne des $(Z_1 - Z^*_1)^2$	Ecart-type des $Z^*_1$	Moyenne des $Z^*_1$
Krigeage des observations $Z_1$ (dérive nulle variog. sphérique)			
Portée 12 km	70,7	5,6	394,6
Portée 30 km	74,7	25,3	391,2
Portée 50 km	71,8	37,1	394,4
Portée 100 km	72,2	38,2	393,6
Krigeage des observations $Z_1$ (dérive linéaire variog. sphérique)			
Portée 12 km	66,1	21,6	396,8
Portée 30 km	72,0	30,3	393,5
Portée 50 km	69,9	37,5	395,8
Portée 100 km	72,6	38,3	394,1
Krigeage des résidus $e_i$ à la dérive 470-y (variog. sphérique)			
Portée 12 km	59,5	27,8	400,1
Portée 30 km	64,0	34,7	396,0
Portée 50 km	65,1	39,6	396,3
Portée 100 km	68,5	37,4	393,5
Plan moyen $M(x,y) = 470 - y$	58,9	27,5	396,4

### 5.3 Analyse par épisodes

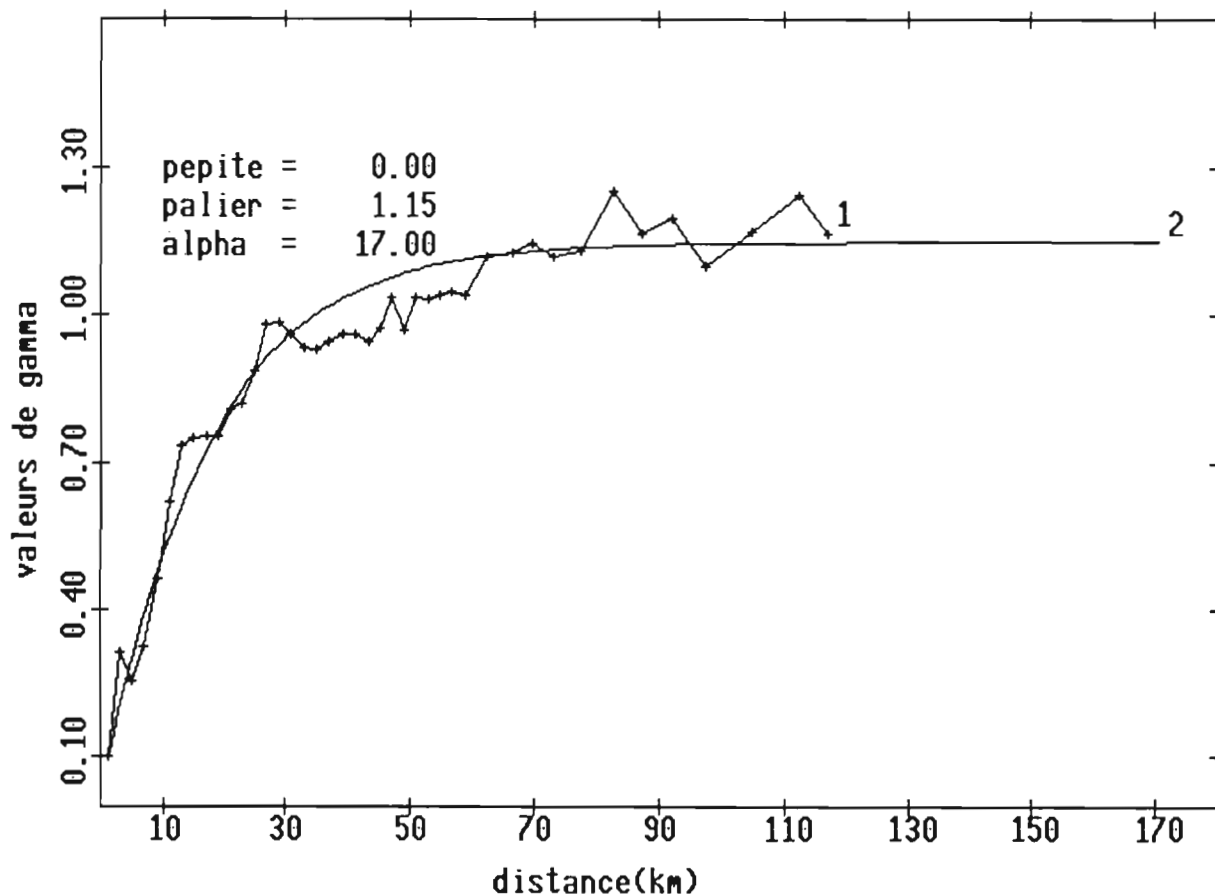
Pour identifier les 36 épisodes du tableau 6, on a utilisé à la fois un critère d'extension spatiale et un critère de continuité temporelle. Les 36 épisodes ainsi retenus totalisent 373 mm, soit 89 % du total estimé sur la zone d'étude (419 mm). Leur durée est généralement de 5-6 heures avec un maximum de 13 heures (N°7). Plus de quarante stations ont été touchées dans 31 cas. Dans 28 cas la première station touchée appartient à la bordure est de la zone d'étude, et dans 13 cas ce sont les deux stations les plus à l'est (Damana au nord, N° 27, et Koure Kobade au sud, N° 26). Parmi les 8 cas restant, 3 (N° 10, 14, 19) correspondent à des événements ayant touché uniquement soit le nord, soit le sud du degré carré. Enfin pour 5 cas (N° 2, 6, 7, 8, 36), la première

station touchée ne se situe sur aucune bordure. Après examen plus poussé des données, on constate que pour les événements 6 et 36, c'est la station de **Darey (N° 18)** qui est la première touchée. Or cette station est celle qui accuse la plus grosse dérive en temps, dérive qui a été corrigée linéairement au dépouillement. Cette correction peut ne pas être adaptée, soit que la dérive ait été exagérée sur la base d'une mauvaise initialisation, soit que la dérive de l'horloge ait fluctué de façon erratique au cours du temps. L'examen de la séquence des isohyètes au pas de 5 minutes a permis de constater que si on exclut Darey, la première station touchée est une station de la bordure est. Le synchronisme de cette station est douteux, et il faudra vérifier son comportement pour chaque épisode avant de décider de la garder ou de l'éliminer dans les études sur la dynamique des systèmes pluvieux.

Après correction, il reste finalement 3 cas où l'épisode s'est initialisé sur la partie centrale de la zone d'étude. Ces épisodes sont restés localisés, indiquant une convection isolée qui n'a jamais pu s'organiser.

Les stations enregistrant la pluie en dernier sont généralement situées dans le secteur ouest. Cependant, ces stations se répartissent sur toute ce secteur, ce qui signifie que l'arrêt de la pluie est géographiquement bien moins localisé que son début (de nombreuses fois ce ne seront pas les station les plus à l'ouest qui seront les dernières touchées, mais une station plus centrale). Ceci est conforme aux observations radar qui montrent souvent un front pluvieux très marqué et progressant linéairement ou presque, alors que la partie arrière est plus étirée et présente des zones de "trou de précipitation".

En reprenant une classification opérée en 1989, on a pu identifier 15 épisodes (1-6-9-13- 16- 20- 21- 22- 24- 25- 27-28-31-35-36) appartenant à la classe des événements de



**Figure 15. Variogramme climatologique des 15 épisodes de grande extension spatiale observés en 1990.**

grande extension spatiale (plus de 80% des stations en fonctionnement touchées), et totalisant 64% du total saisonnier, un chiffre voisin de celui calculé en 1989. La structure spatiale des épisodes de 1990, modélisée à l'aide d'un variogramme climatologique est également très semblable à celle des épisodes de 1990 (fig. 15).

#### 5.4 Maxima mesurés aux petits pas de temps

Mis à part pour l'événement du 27 juillet qui a servi de support à une étude rapide de l'adéquation entre données sol et radar (fig. 4), les données pluviographiques aux petits pas de temps n'ont pas encore été utilisées pour étudier la concomitance entre les averses enregistrées aux différents postes, ou le déplacement des averses. Par contre la compilation des cumuls maximums mesurés pour chaque épisode, sur des pas de temps allant de 5 minutes à une heure (tableau 6) a permis de calculer les maxima absolus de la campagne 1990, reportés dans le tableau 10. On a comparé ces maxima aux quantiles de la série pluviographique de Niamey-Aéroport, d'après le rapport de Bouvier (1986). En 5 et 10 minutes, les maxima enregistrés à Borne 253 le 8 juillet et à Gagare de 24 juin, correspondent à des périodes de retour de respectivement 200 et 150 ans. On peut donc observer des intensités très fortes même au cours d'une saison très sèche. Lorsque le pas de temps augmente, la période de retour diminue, elle est inférieure à 20 ans pour la pluie horaire. Cette décroissance s'explique par l'augmentation de l'autocorrélation spatiale avec le pas de temps. A l'échelle de 5 minutes on dispose pratiquement de 93 réalisations indépendantes (en réalité moins à cause des interdistances plus faibles sur la cible), et observer une pluie d'intensité au moins égale à celle de durée de retour 200 ans en un point, correspond à une probabilité de l'ordre de 0,4 (40%). Par contre, à l'échelle de l'heure, l'autocorrélation est significative bien au delà des 12,5 km de la maille de base du réseau, et le nombre d'observations indépendantes diminue beaucoup. La probabilité d'observer un cumul égal ou supérieur aux quantiles de fréquence 0,01 ou 0,005 de la série de Niamey diminue en conséquence.

**Tableau 10 : Périodes de retour des maximum enregistrés sur le réseau EPSAT-NIGER en 1990, calculées en prenant la série pluviographique de Niamey-Aéroport (1946-1983) comme référence.**

Durées (mn)	Maxima		Station	Evénement	Période de retour sur la série Niamey-Aéro
	mm	mm/h			
5	30	360	Borne 253	8 juillet	200 ans
10	39	218	Gagare	24 juin	150 ans
30	66	132	Gagare	24 juin	50 ans
60	75	75	Yillade	28 mai	< 20 ans
Totale	102,5		Ganki Bassarou	1 septembre	

## 6

### CONCLUSION

La campagne 1990 de l'expérience EPSAT-NIGER a permis de mettre en œuvre conjointement, un radar météorologique bande C, et un réseau de 93 pluviographes à mémoire statique répartis régulièrement sur une zone d'étude de 16000 km<sup>2</sup> environ. Une cible de 150 km<sup>2</sup> a été équipée de 16 appareils.

Le réseau de pluviographes, opérationnel à compter du 15 Mai a fonctionné jusqu'au 30 Novembre. Le taux de fonctionnement des appareils a été de 94,6%. Trente six événements pluvieux ont été décomptés sur cette période représentant 89% du total enregistré sur la zone d'étude. Les 11% restant se répartissent entre des pluies isolées dont l'extension spatiale était limitée. La hauteur d'eau moyenne calculée à partir de 74 stations a été de 419 mm ce qui, après correction pour se ramener à la pluie annuelle, représente un déficit de 25% environ.

Par rapport aux résultats obtenus en 1989, ceux de 1990 se caractérisent par une beaucoup plus grande variabilité spatiale des cumuls saisonniers, avec des gradients particulièrement forts enregistrés au sein de la cible (plus de 170 mm sur 10 km). Par contre, la structure des 15 épisodes de grande extension spatiale (qui représentent 64% du total saisonnier), modélisée à l'aide d'un variogramme climatologique est très semblable à celle des mêmes épisodes de 1989, qui représentaient également 2/3 environ du total de la saison. Compte tenu de ces deux éléments, il est remarquable que la structure des cumuls saisonniers soit, elle, très différente entre 1989 et 1990. Une étude détaillée de l'occurrence des événements pluvieux et de leur localisation est indispensable pour trouver comment passer de la distribution de la pluie au sein d'un épisode à la distribution des totaux sur la saison, en se basant sur une modélisation du nombre d'événements et de leur couverture spatiale.

La compilation des maximums enregistrés au cours de la campagne pour différents pas de temps de référence (5, 10, 30, 60 minutes) a montré qu'un cumul de 30 mm avait été enregistré en 5 minutes, dont la période de retour calculée d'après la série pluviographique de Niamey-Aéroport (1946-1983) est de 200 ans. Ceci illustre qu'aux petits pas de temps, il peut y avoir, en une seule saison, et sur une zone de quelques milliers de km<sup>2</sup>, de nombreuses pluies atteignant localement des intensités jugées exceptionnelles à partir de l'analyse d'une seule série. En d'autres termes, la probabilité d'enregistrer ces intensités en un point donné est faible, alors que la probabilité de les enregistrer en un point quelconque de la zone d'étude est fonction du nombre de points de mesure disponibles.

Le deuxième élément essentiel du dispositif expérimental d'EPSAT-NIGER est son radar numérisé. Malgré les difficultés nombreuses rencontrées pour le faire fonctionner au niveau de ses spécifications nominales, 22 événements ont été enregistrés dont 21 intégrés dans une banque de données (BADORA) développée à l'occasion de l'expérience. Des superpositions de données sol et radar ont été réalisées, qui ont montré une bonne adéquation d'ensemble des zones d'échos les plus intenses avec les pluies au sol les plus fortes en 5 minutes. On ne doit pas espérer de l'exploitation de ces données radar à des fins quantitatives, une précision bien supérieure à celle obtenue sur la base des seules données pluviographiques. En effet, aux grands pas de temps (de la journée à la saison), le réseau sol est suffisamment redondant pour fournir des estimations spatiales fiables. C'est aux petits pas de temps que le radar est potentiellement le plus intéressant, puisque la maille de base du

réseau sol est alors trop grande pour bien appréhender la variabilité spatiale d'une part, la dynamique des systèmes précipitants d'autre part. Les erreurs qui seront associées à l'étalonnage du radar de Niamey risquent cependant d'être importantes, du fait des problèmes rencontrés dans son exploitation. Aux petits pas de temps, ces erreurs ne seront pas lissées par l'intégration temporelle, et on peut s'attendre à des incertitudes importantes dans l'estimation des lames d'eau au sol, incertitudes qui seront étudiées grâce aux pluviographes de la cible. Par ailleurs les enseignements tirés de la campagne radar 1990, devraient s'avérer décisifs pour mener à bien une campagne 1991 plus fructueuse, de même que la pre-campagne 1989 a permis d'obtenir une excellente fiabilité du réseau sol en 1990, et d'optimiser sa gestion.



## 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. *Veille clim. satel.*, **27**, 16-18.
- Despaux, G., 1990: Chaîne d'acquisition SANAGA, Notice technique, Université Paul Sabatier (Laboratoire d'Aérodologie)- Observatoire Midi-pyrénées, 31p.
- Roux, C., 1990: Rapport de campagne EPSAT-NIGER 1989. ORSTOM - Direction de la Météorologie Nationale du Niger, 38 p.
- Sauvageot, H., et G. Despaux, 1989: Numérisation du radar de Niamey (Niger) dans le cadre du projet EPSAT. Rapport d'exécution de convention Université Paul Sabatier (Laboratoire d'Aérodologie)- Observatoire Midi-pyrénées / Ministère de la Coopération et du Développement / ORSTOM, 32 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**, sous presse.
- Valero, T., 1990 : BADORA, rapport de synthèse, ORSTOM, Montpellier, 28p.



**ANNEXE 1.**  
**GESTION DU RESEAU DE PLUVIOGRAPHES**

**1. Les premières réinstallations de pluviographes ont eu lieu à partir du 20 mars 1990**

La pré-campagne, c'est à dire la période durant laquelle tous les pluviographes ont été entièrement démontés, nettoyés et remontés, tous les œdipes contrôlés, nettoyés, tous les régulateurs testés a commencé dès le début janvier.

Une seule station du réseau 1989 n'a pas été réinstallée, celle de DANGEY-GOUROU, remplacée par GOROU GOUSSA, 6 kilomètres au nord-est du site précédent. Par ailleurs 13 autres sites nouveaux ont été sélectionnés :

- 2 de SAMA DEY (N.E de la cible)
- 1 à l'IRI (Niamey)
- 10 à l'Ouest de Niamey

On a donc au total 93 sites, avec 95 pluviographes, ceux de KOLLO et BANIZOUMBOU étant équipés d'un pluviographe à 1,50 et au sol. Tous les postes sont équipés de panneaux solaires soit du type Ecosolaire, soit du type photo-watt.

- 23 postes ont une batterie auto (12V/35 Ah)
- 71 postes ont reçu avec une batterie Cad-Ni
- 70 avec régulateurs
- 13 avec des régulateurs CEIS-ESPACE
- 57 avec des régulateurs SOLELEC
- 1 sans régulateur (SAMA DEY II)

Les dernières installations se sont faites le 20 Juin.

**NB :** à signaler le transfert de la station Niamey-Poudrière à Niamey-Aéroport le 06-08-90.

**2. Le suivi des stations s'est fait de la façon suivante :**

- 1) Tournée hebdomadaire pour 6 stations : KOLLO, KARABEDJI, KOURE, KAMPA ZARMA, KOMAKOUKOU, BANIZOUMBOU
- 2) Tournées bi-mensuelles pour 13 stations (cible)
- 3) Tournées mensuelles pour 74 stations

La fréquence choisie imposait un minimum de 26 jours de tournées par mois. Dans la pratique il y a eu du 20 mars au 16 Novembre (installation et démontage compris deux cent quarante jours de tournées se répartissent ainsi :

Mars	:	11 tournées-jour
Avril	:	28 tournées-jour
Mai	:	37 tournées-jour
Juin	:	33 tournées-jour
Juillet	:	30 tournées-jour
Août	:	36 tournées-jour
Septembre	:	27 tournées-jour
Octobre	:	25 tournées-jour
Novembre	:	13 tournées-jour

Ce qui représente pour le personnel 240 jours de techniciens (SANI (DMN)-KONG-GUALDE-GREARD), et 240 jours de "chauffeurs aides techniques" (HAMZA-BODO).

Pour la même période, il a été effectué 42458 km avec essentiellement 4 véhicules.

B 8639 RN8	Diesel	12000 km
B 6752 RN8	Diesel	18400 km
B 8490 RN8	Diesel	6700 km
B 6750 RN8	ESS	3800 km

### **3. Le démontage des stations**

Les premiers retraits des appareils ont commencé à partir du 17-10-90.

Les stations au Nord, Nord-Est ont été démontées d'abord, puis celles à l'est de la cible.

Ensuite ce sont celles de la cible qui ont été enlevées et les dernières ont été les stations de la rive droite le 16-11-90.

Sur le terrain 7 stations resteront en place pendant toute l'année. Ce sont : FANDOUBERI, SAMA DEY I, BANIZOUMBOU, KOLLO, Niamey-Aéroport, Niamey-ORSTOM, Niamey-IRI.

Avant d'être stockées dans le magasin ORSTOM ; tous les pluviomètres ont été nettoyés et réparés par J. KONG en novembre et décembre.

Les coffrets ont été contrôlés, nettoyés et les cartes de 3 Elsyde défectueux ont été retournées chez le fabricant.

**4. Fonctionnement des appareils**

<b>STATIONS</b>	<b>J.F</b>	<b>J.P</b>	<b>J.E.%</b>	<b>Causes des pannes</b>
- AGHAROUS	170	0	100	
- ALKAMA	170	22	87	Batterie
- BALAL SAGUI	197	0	100	
- BANGOU BOBO	175	61	65	Panneau solaire
- BANGOU TAWEY	176	0	100	
- BANIZOUMBOU 1,50	214	0	100	
- BANIZOUMBOU SOL	-	-	-	
- BANKA DEY	190	0	100	
- BAZANGA BANGOU	190	0	100	
- BERI KOIRA	176	0	100	
- BERKI	176	0	100	
- BOLOLADIE	196	0	100	
- BORGOBERI	174	174	0	Oedipe
- BORNE 253	195	97	50	Vandalisme : Pluvio
- BOUBON	169	0	100	
- BOUGOUM	196	0	100	
- DAMANA	170	0	100	
- DAREY	176	0	100	
- DEBERE GATI	198	0	100	
- DEY TEGUI	171	0	100	
- DIOKOTI	199	0	100	
- DJAKINDI	199	0	100	
- DJOURE	170	0	100	
- FANDOBONG	197	0	100	
- FANDOUBERI	214	6	97	Batterie
- FETOKADIE	197	0	100	
- FOY FANDOU	181	0	100	
- GAGARE	176	22	88	Batterie
- GAMONZON	182	0	100	
- GANKIBASSAROU	198	0	100	
- GARDAMA KOUARA	177	0	100	
- GASSANAMARI N.O	190	0	100	
- GASSANAMARI N E	190	10	95	Batterie
- GASSANAMARI S.E	190	24	87	Batterie

- GASSANAMARI S O	190	29	85	Batterie
- GASSAN KOURNIE	190	0	100	
- GASSEYDA	197	0	100	
- GOBIRKOYE KAINA	183	0	100	Vandalisme
- GOROU GOUSSA	181	0	100	
- GOURMANDEY	189	0	100	
- GUESSEL BODI	183	22	88	Cartouche défectueuse
- GUILAHEL	199	0	100	
- HARIKANASSOU	195	0	100	
- HASSOU BANGOU	181	29	84	Vandalisme
- HOLO	174	0	100	
- IRI	177	17	90	Batterie
- KABA	189	0	100	
- KALI GOROU	174	0	100	
- KAMPA ZARMA	192	0	100	
- KARABEDJI	192	17	91	Panneau Solaire
- KARE	198	14	93	Pluvio-vandalisme
- KARE BANGOU	196	0	100	
- KARMA	169	0	100	
- KIRAN MILI	175	0	100	
- KO FANDOU	170	0	100	
- KODO	195	0	100	
- KOKORBE FANDOU	171	46	73	Panneau solaire
- KOLBOU ZARMA	189	0	100	
- KOLLO 1,50	214	0	100	
- KOLLO DIOGONO	171	0	100	
- KOLLO SOL	* 132	* 0	100	
- KOMAKOUKOU	191	0	100	
- KOSSEY	196	0	100	
- KOURE	192	0	100	
- KOURE KOBADÉ	188	23	88	Pluvio
- KOURE SUD	183	18	91	Vandalisme (Pluvio)
- KOYRIA	169	60	64	Oedipe
- MAREKIRE	176	0	100	
- MAROUBERI ZENO	188	29	85	Cartouche défectueuse
- MASSI KOULOU	175	0	100	
- NGOURWA	196	0	100	
- NIAMEY AEROPORT	114	0	100	

- NIAMEY ORSTOM	214	4	98	Régulateur
- NIAMEY POU德里ERE	97	0	100	
- NIANBERE DJAMBE	195	0	100	
- NINE FOUNO	170	0	100	
- NIOUMEY	195	0	100	
- SAMADEY 1	158	0	100	
- SAMADEY 2	171	0	100	
- SANDIDEYE	189	0	100	
- SEKOUKOU	182	30	84	Pluvio
- TAFAKOIRA	176	45	74	Oedipe
- TANABERI	182	0	100	
- TIERENDJI	189	16	92	Vandalisme-régulateur
- TIGO ZENO	182	0	100	
- TIMBORANE SOLI	170	0	100	
- TOLLO	182	0	100	
- TOMGOM	177	33	81	Cartouche défectueuse
- TONDI GAMEY	175	29	83	Oedipe
- TONDI KIRE	174	0	100	
- TORODI	196	0	100	
- WARI	175	2	99	Vent-Pluvio
- WINDE GOROU	183	34	81	Oedipe
- YELOUMA	197	0	100	
- YILLADE	188	0	100	
- ZOUZOU BERI	182	24	87	Batterie (auto)

Nombre de jours total de fonctionnement 17372 (J.F)

Nombre de jours de pannes 937 (J.P)

Pourcentage de jours d'enregistrements disponibles : 94,6%

**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) bilan calculé sur la période 01-05-90 à la date de retrait, pour les appareils laissés en place jusqu'au 30-11-90.

### **5) Mesures de dérives de temps**

Après le retrait de l'ensemble des appareils, des contrôles de dérive de temps ont été effectués sur quelques appareils.

Une première série de mesures avec 5 œdipes a duré du 13-11-90 au 04-02-91.

Pendant cette période pour 3 appareils, on a modifié la tension de la batterie passant de 11,4 à 12,4 V ou l'inverse. Un basculement a été fait chaque matin en début de journée simultanément à chaque appareil sauf les week-end et jours fériés.

On constate que pour chaque appareil la dérive est constante. La variation de tension de la batterie n'a pas d'influence.

☛ Dérives mesurées mini 3" pour BANKA DEY.

☛ Dérives mesurées maxi 19" pour KOLLO.

Une deuxième série de mesures du 05-02-91 au 01-03-91 avec 4 autres œdipes permet de vérifier que la dérive est constante également pour ces appareils, mais ne correspond pas, pour certains, aux dérives mesurées lors du dépouillement des cartouches.



## Chapitre 690. Fonctionnement EPSAT-Campagne 91

### (Matériel-carburant-déplacement)

- Batteries	:	1 000 000 FCFA
- Petit matériel réinstallation	:	500 000 FCFA
- Installation nouvelles stations (10)	:	500 000 FCFA
- Commande matériel pièces pluvio-montres- résistances	:	500 000 FCFA
	:	300 000 FCFA
- Terminal (2)	+	300 000 FCFA
- Carburant	:	
essence-gasoil-huile	:	2 000 000 FCFA
- Déplacement personnel local (Sani-Hamza-Bodo...) (240 jours de tournées en 90) (augmentation salaire)	:	2 500 000 FCFA
- Déplacement personnel expatrié	:	1 200 000 FCFA
- Douane transitaire	:	300 000 FCFA
- Réparation	:	
Cartes ELSYDE-Terminal LCM		200 000 FCFA
+ Transport		8 500 000 FCFA
- Imprévu	:	
Téléphone-fax Photocopie-papeterie Disquettes		
<b>TOTAL</b>	:	<b>9 000 000 FCFA</b>



**ANNEXE 2.**  
**ENTRETIEN ET REPARATIONS DU RADAR**

**03/04/1990**

Mission de Mr DESPAUX

- Modification de la chaîne d'acquisition SANAGA (possibilité d'accéder à des portes de 750 m soit un rayon de visualisation de 350 km, implantation d'une nouvelle version du logiciel SANAGA).

- Essai d'étalonnage de la chaîne de réception du radar en vue de faire des mesures quantitatives. Ce réglage n'a pu être réalisé étant donné que le générateur hyperfréquence disponible à l'aéroport n'était pas étalonné lui-même. Donc le réglage a eu lieu de manière tout à fait superficielle.

**05/05/1990**

Contrôle du CAF (Contrôle Automatique de Fréquence), vérification de son accord.

**07/05/1990**

Réglage de la fréquence magnétron (= 5,697 MHz), changement des cristaux.

**09/05/1990**

Démontage du guide d'onde de l'armoire Emission Réception, découverte d'un cristal oublié à l'intérieur de celui-ci. Il est possible que sa présence ait pu entraîner une diminution du niveau de réception de la chaîne.

**10/05/1990**

Mise en place d'un TR (Transmitter-Receiver) neuf.

**21/05/1990 au 28/05/1990**

Démontage du radom afin de le repeindre et remontage.

**23/05/1990**

Modification de l'abri du groupe électrogène et installation de celui-ci

**12/07/1990**

Panne de la génératrice du groupe électrogène entraînant la détérioration des cristaux.

**16/07/1990 au 18/07/1990**

Premier stage SANAGA. Participation de 2 membres de la D.M.N et 3 de l'A.S.E.C.N.A.

**23/07/1990 au 25/07/1990**

Deuxième stage SANAGA. Participation de 3 membres de la D.M.N et 4 de l'A.S.E.C.N.A.

**08/08/1990**

Installation d'un onduleur de 3 kVA afin de protéger le radar des multiples coupures secteur lors des veilles. Le niveau de la tension généralement mesuré est de l'ordre de 190 volts avec par moment des chutes à 170 volts.

**14/08/1990**

Suite à différents problèmes de fonctionnement de l'onduleur nous avons procédé avec Mr RALAISSON à la vérification de l'installation électrique. Une différence de 10 volts a été constatée entre le secteur de la salle radar et celui fourni par la centrale de l'aéroport.

**19/09/1990**

Rupture des engrenages d'entraînement en azimut de l'antenne probablement due à une usure résultant de 15 ans de fonctionnement.

**24/09/1990**

Envoi des engrenages à Mr DESPAUX pour en obtenir de nouveaux auprès de E.E.C.

#### **Remarque :**

Les principaux problèmes rencontrés au cours de la saison sont dues aux nombreuses coupures secteur (en moyenne 5 par veille ) et à une fluctuation constante de la tension délivrée. Nous avons installé plus de 20 paires de cristaux afin de garder un niveau de réception correct. De plus il est probable que certains étages de la chaîne de réception aient pu souffrir de ces coupures intempestives.

#### **Données acquises :**

Au total 25 veilles ont été effectuées, soit un total de 124 h 48 mn et 1133 images ont été sauvegardées.

**ANNEXE 3.**  
**PROTOCOLE D'ACQUISITION DES DONNEES**  
**RADAR**

1. Rappel sur les objectifs à atteindre

On veut

1) Parvenir à une estimation quantitative précise des précipitations sur la zone d'étude du "degré carré". Sur ce degré carré qui correspond à une surface d'environ 100 \* 100 kms à l'est du radar, on dispose de 83 stations pluviographiques destinées à fournir une vérité sol ponctuelle. Ce réseau sol est complété par 10 postes situés à l'ouest du radar, dans un rayon de 70 kms.

2) Etudier la dynamique des lignes de grains, c'est à dire notamment la naissance et la disposition des cellules qui la composent, leur trajectoire, l'activité pluviométrique associée, et ce sur une étendue aussi grande que possible. La portée théorique de 350 kms laisse espérer que dans les cas les plus favorables et si le système d'alerte fonctionne correctement, le suivi de la ligne de grains puisse occasionnellement se faire sur 700 kms.

3) Etudier la convection isolée, car dans cette situation, la dynamique individuelle des cellules est plus facilement discernable.

2. Protocole de suivi des lignes de grains

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° 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.

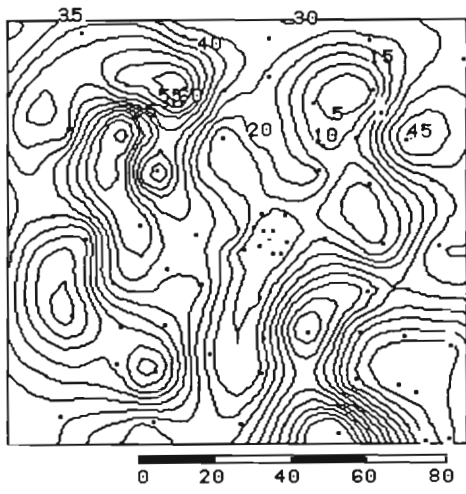
4) Lorsque la ligne de grains est à 100 kms (la seule station en dehors du rayon 100 kms est DAMANA située à 108 kms du radar dans la direction 65°E), on passe à l'échelle 250 (résolution radiale de 600 m). Les acquisitions de PPI à 0,8° se font toutes les dix minutes (éventuellement cinq minutes en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

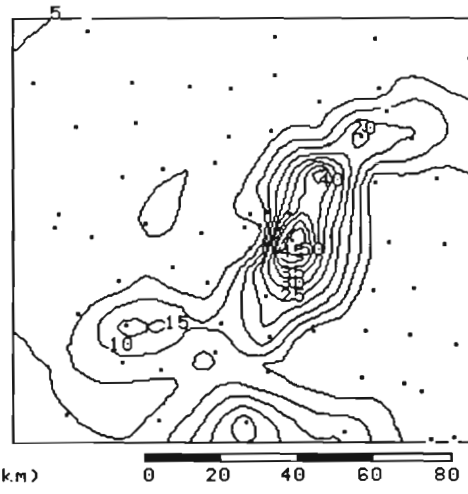
5. Continuer le suivi lors que la ligne de grains s'éloigne vers l'ouest, même après un aveuglement temporaire possible du fait de la formation d'une pellicule d'eau sur le radome.

### 3. Convection isolée

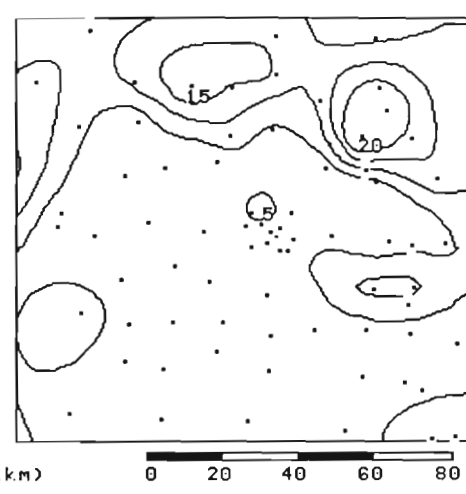
Le principe est identique, en se plaçant sur l'échelle de 250 kms puisque le suivi de cette convection ne peut se faire que dans les 150 kms autour du radar.



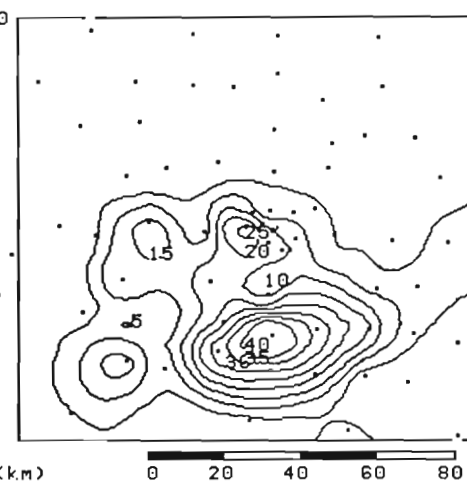
1 05282240 05290550



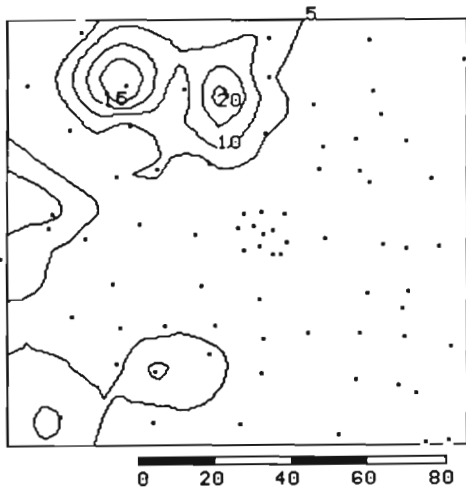
2 06072350 06080345



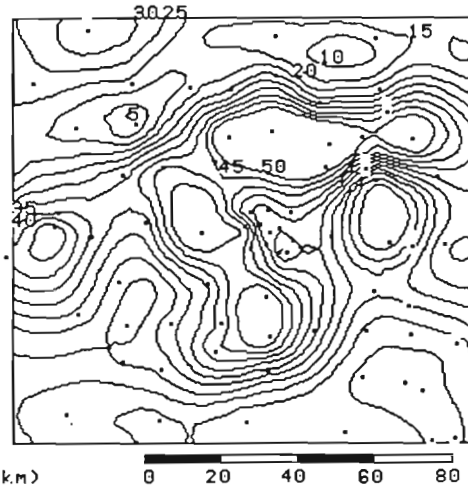
3 06122330 06130455



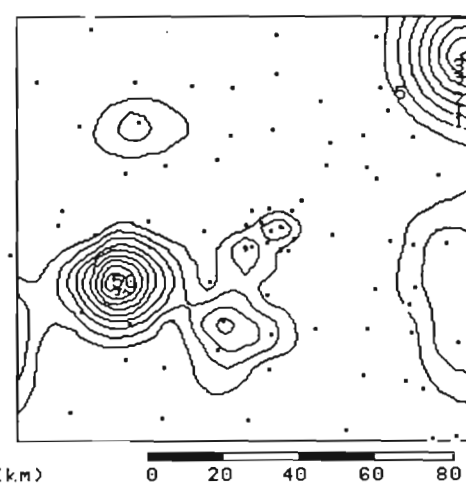
4 06171725 06172140



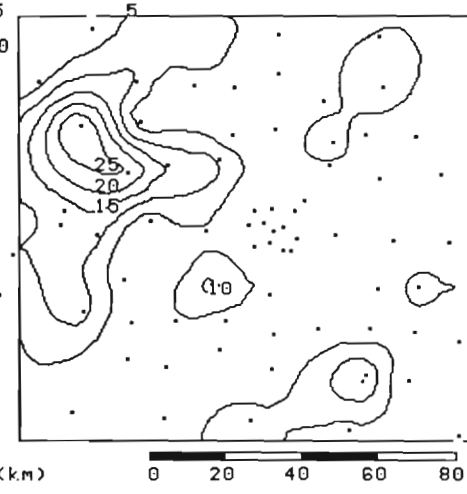
5 06220120 06220605



6 06242105 06250305

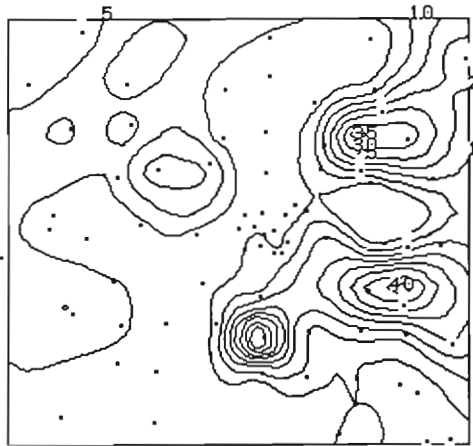


7 06271645 06280555

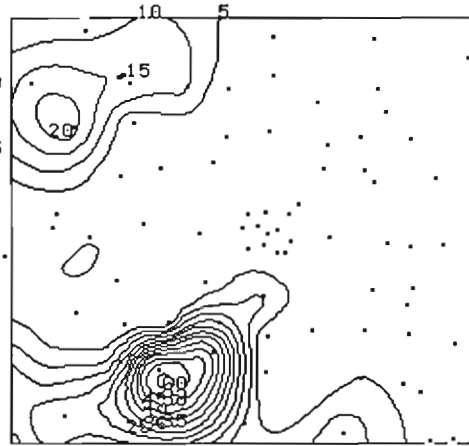


8 06291925 06300005

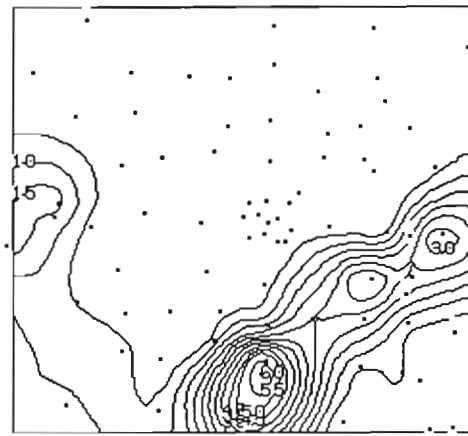
ANNEXE 4.  
ISOHYETES DES CUMULS DES 36 EPISODES



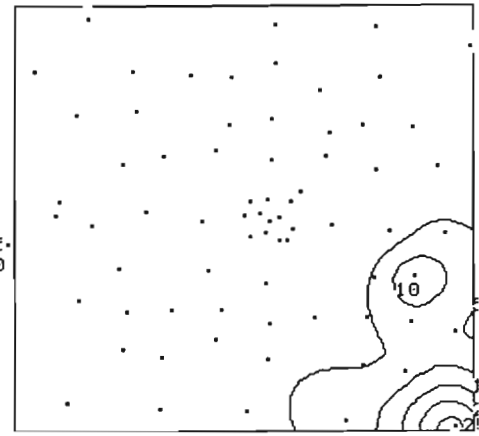
9 07030830 07031340



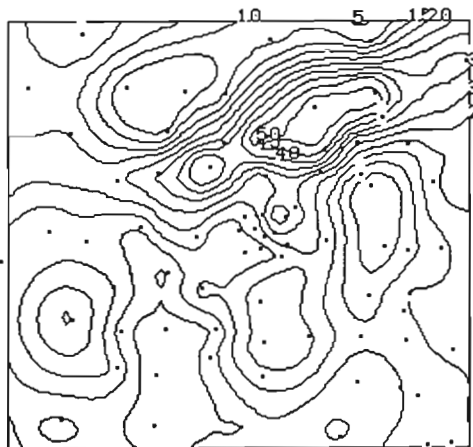
10 07051655 07052110



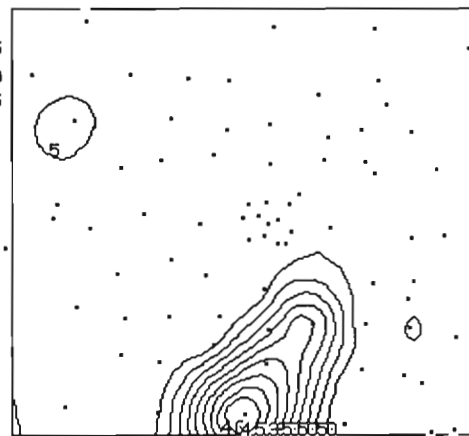
11 07080125 07080455



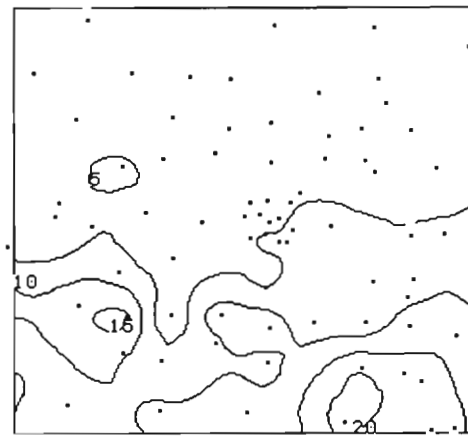
12 07090355 07090715



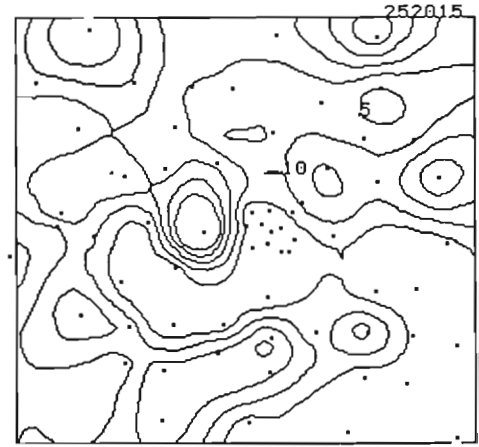
13 07120530 07121456



14 07150820 07151120

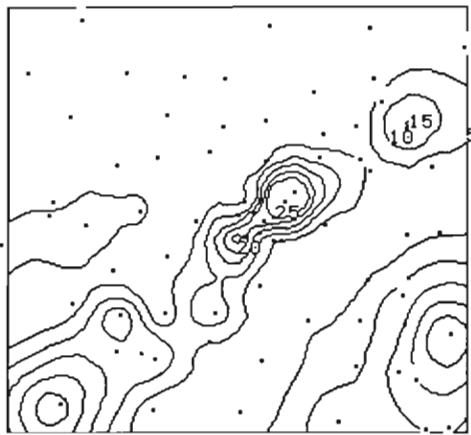


15 07151235 07151550

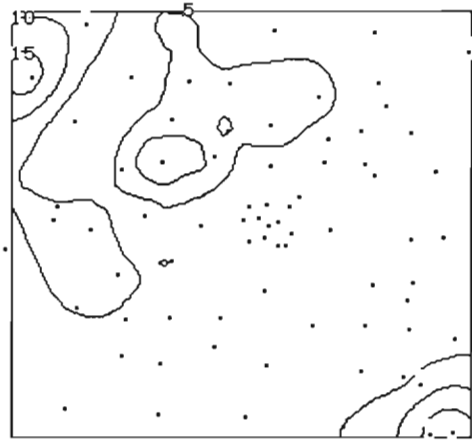


16 07180820 07181515

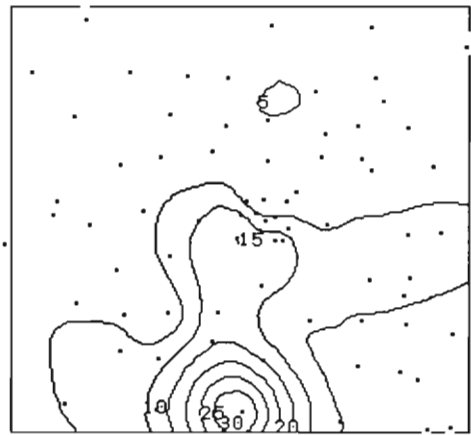




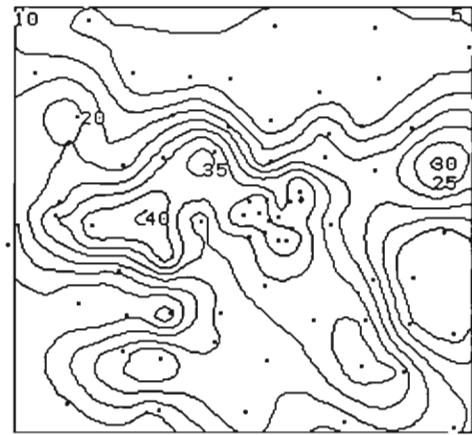
17 07211145 07211555



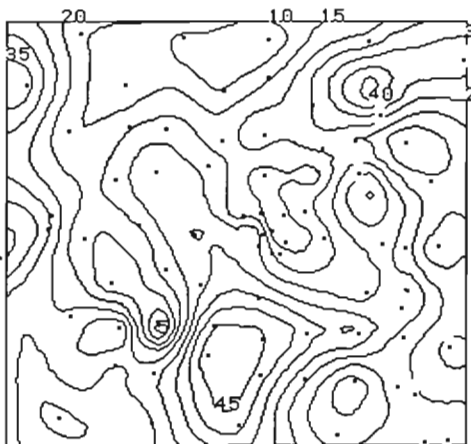
18 07212030 07220245



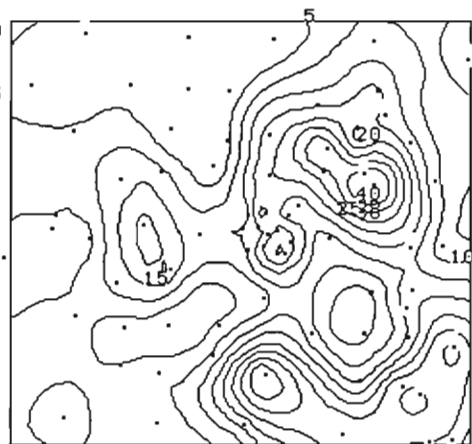
19 07220345 07221130



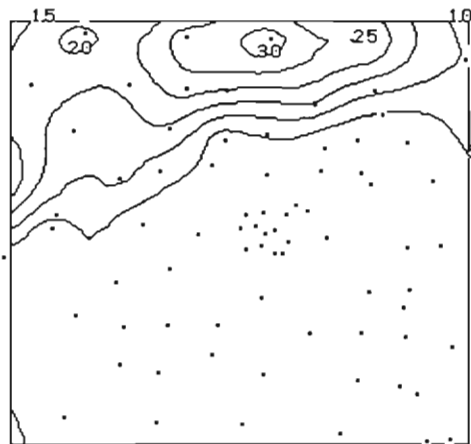
20 07230520 07231100



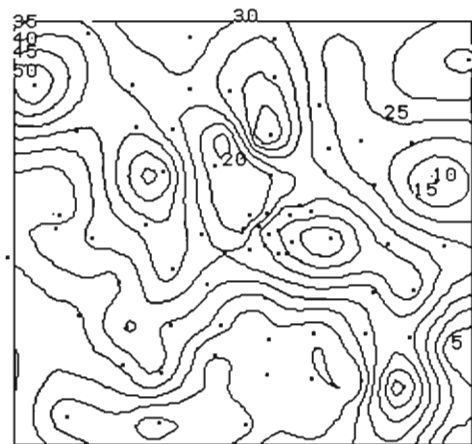
21 07270815 07271350



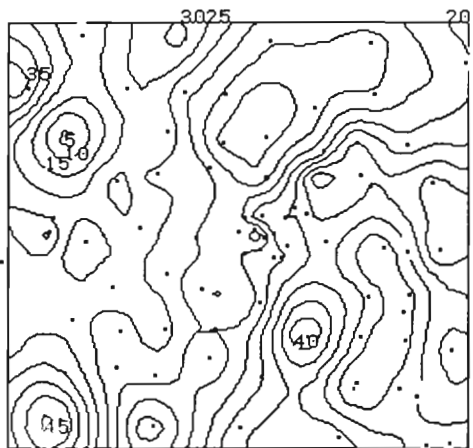
22 07310240 07310810



23 08022245 08030230

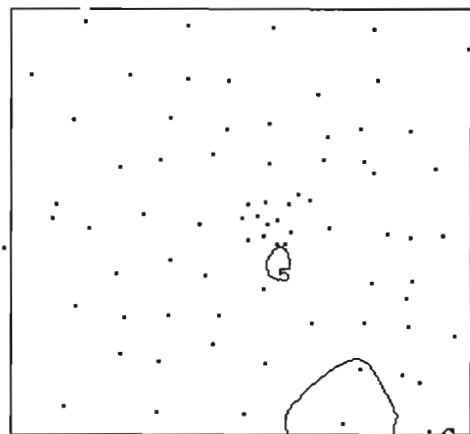


24 08040035 08040800



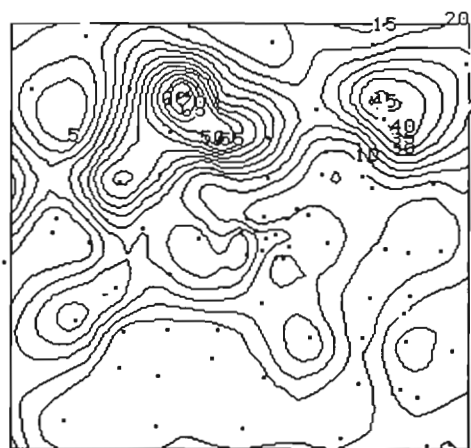
0 20 40 60 80 (km)

25 08081815 08090140



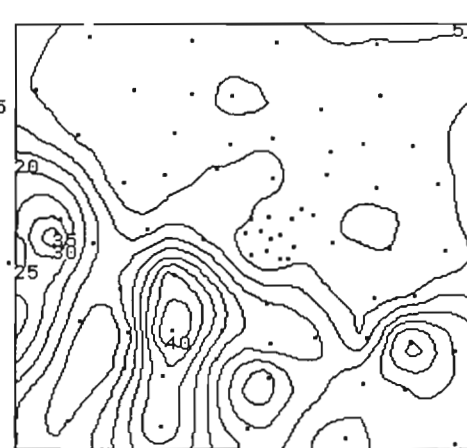
0 20 40 60 80 (km)

26 08141345 08141635



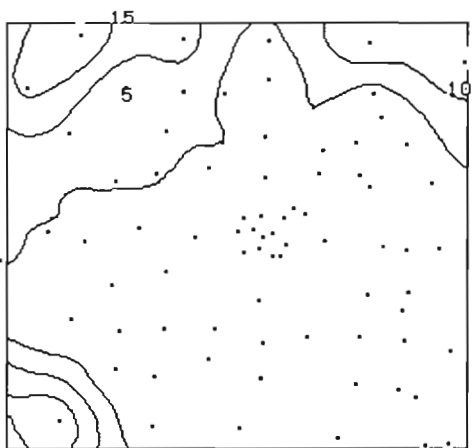
0 20 40 60 80 (km)

27 08171745 08180125



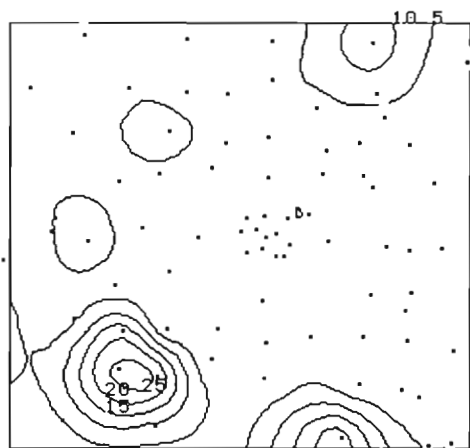
0 20 40 60 80

28 08242210 08250440



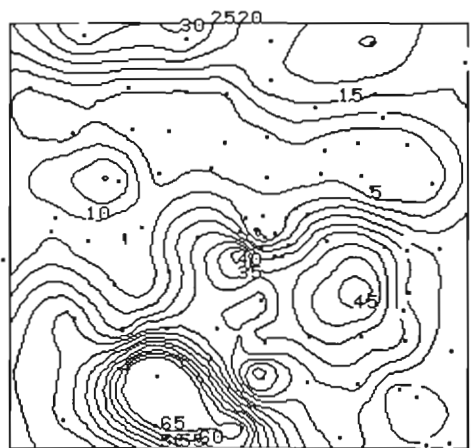
0 20 40 60 80 (km)

29 08282130 08290225



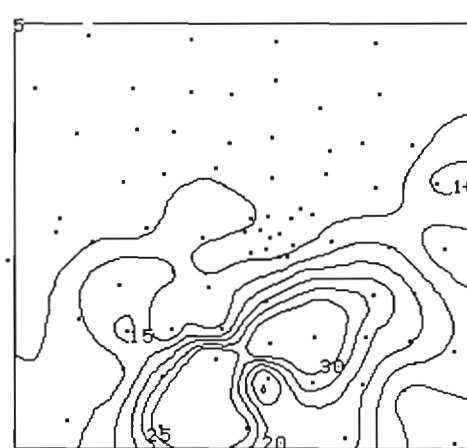
0 20 40 60 80 (km)

30 08291110 08291600



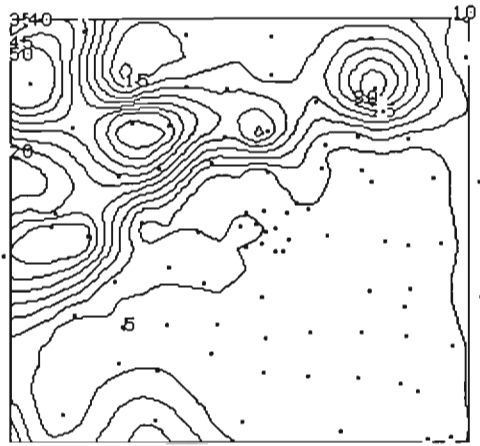
0 20 40 60 80 (km)

31 09012200 09020705

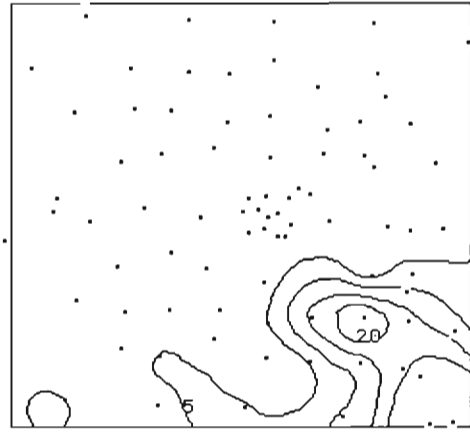


0 20 40 60 80

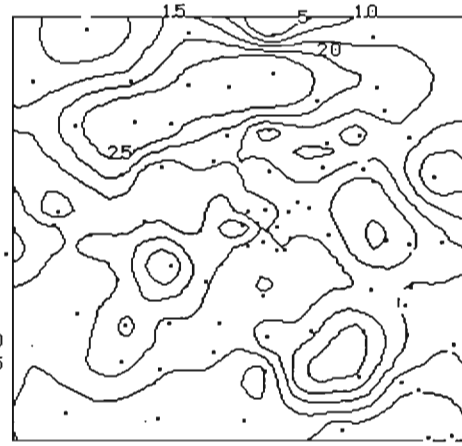
32 09050015 09050525



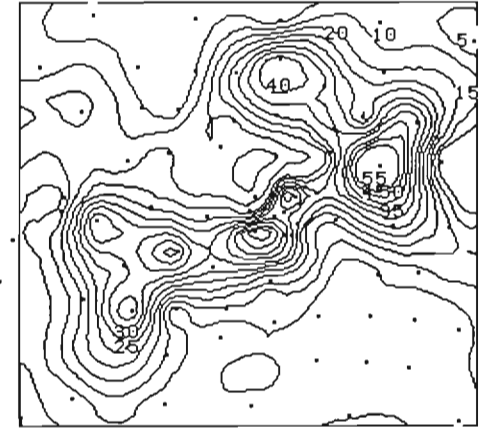
33 09071110 09071640



34 09110055 09110535



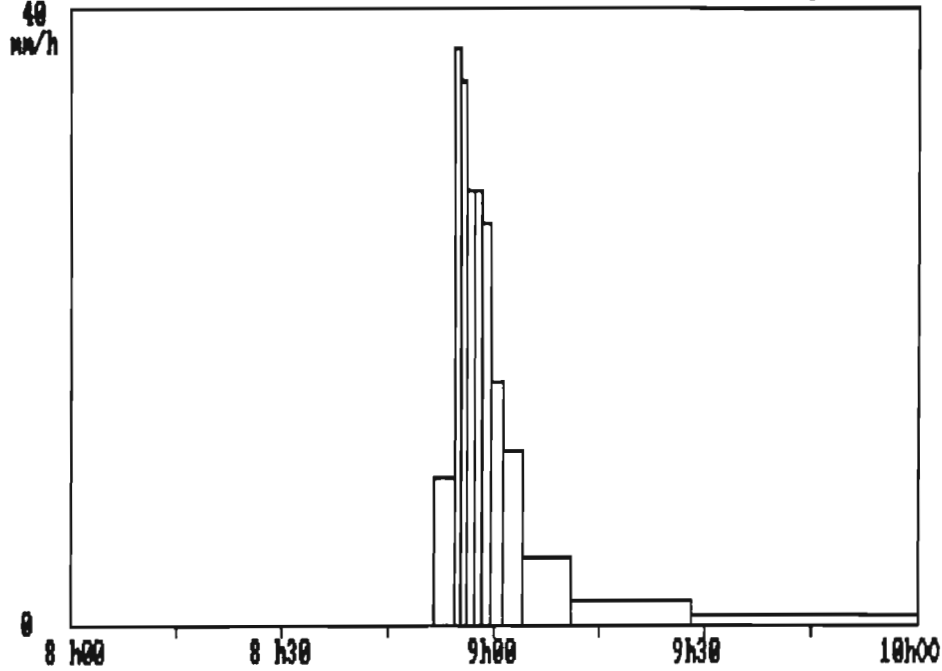
35 09132150 09140235



36 09171735 09180040

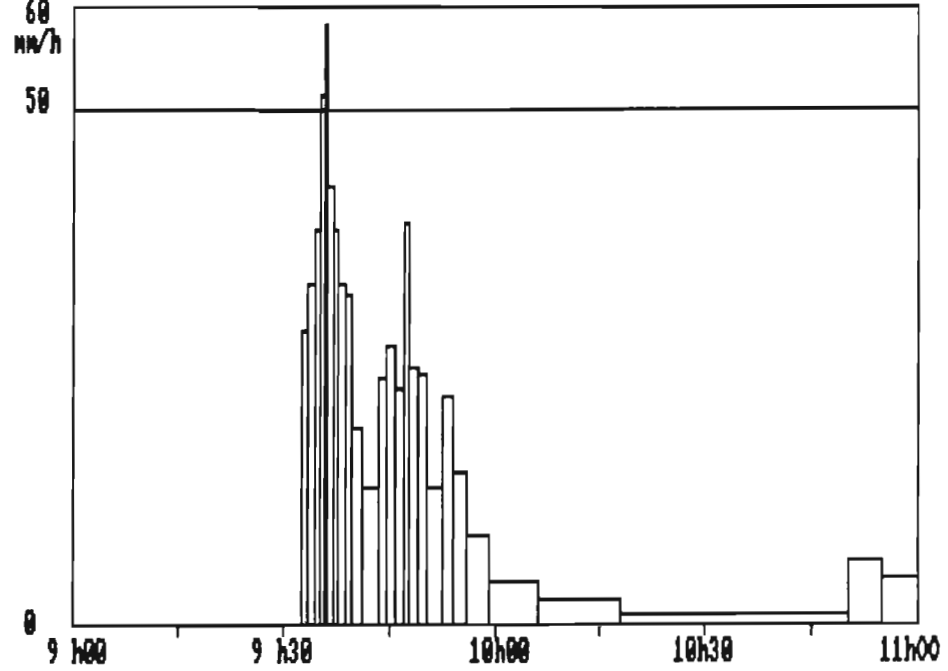
STATION : CAMONZON  
Averse N°: 13

DEBUT D'AVERSE LE 27/07/1990 A 08h48'17"  
P seu = 10.0 mm Page 1



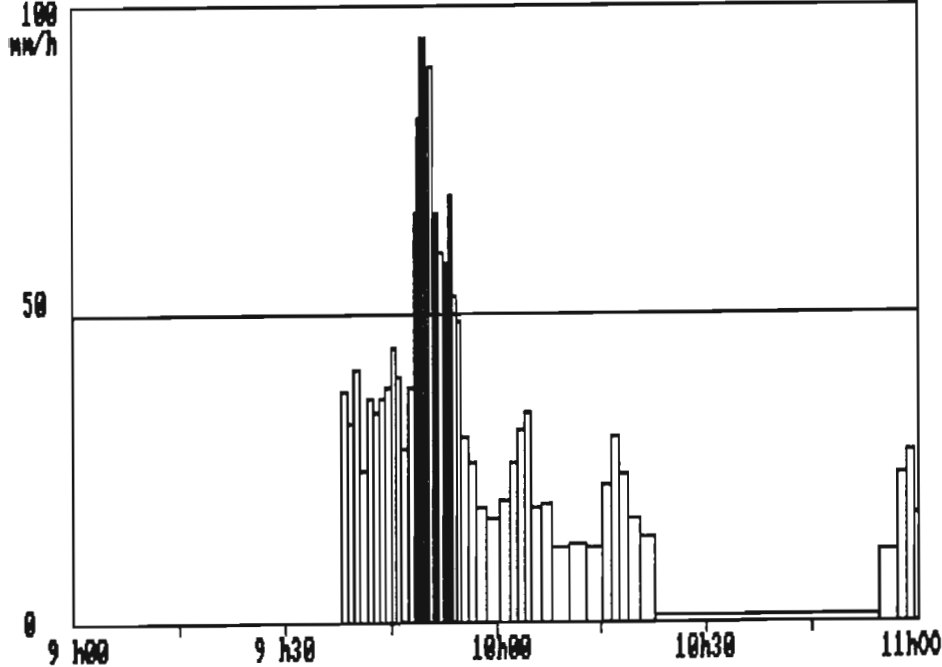
STATION : CASSANMARI NE  
Averse N°: 12

DEBUT D'AVERSE LE 27/07/1990 A 09h38'36"  
P seu = 16.5 mm Page 1



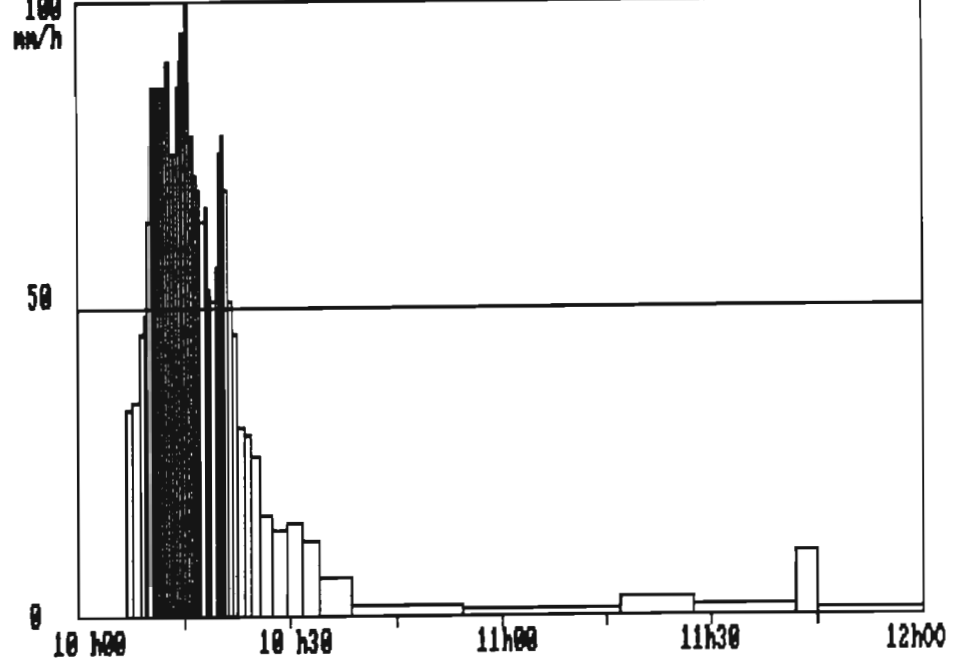
STATION : Cassan Kournie  
Averse N°: 13

DEBUT D'AVERSE LE 27/07/1990 A 09h31'28"  
P seu = 27.5 mm Page 1



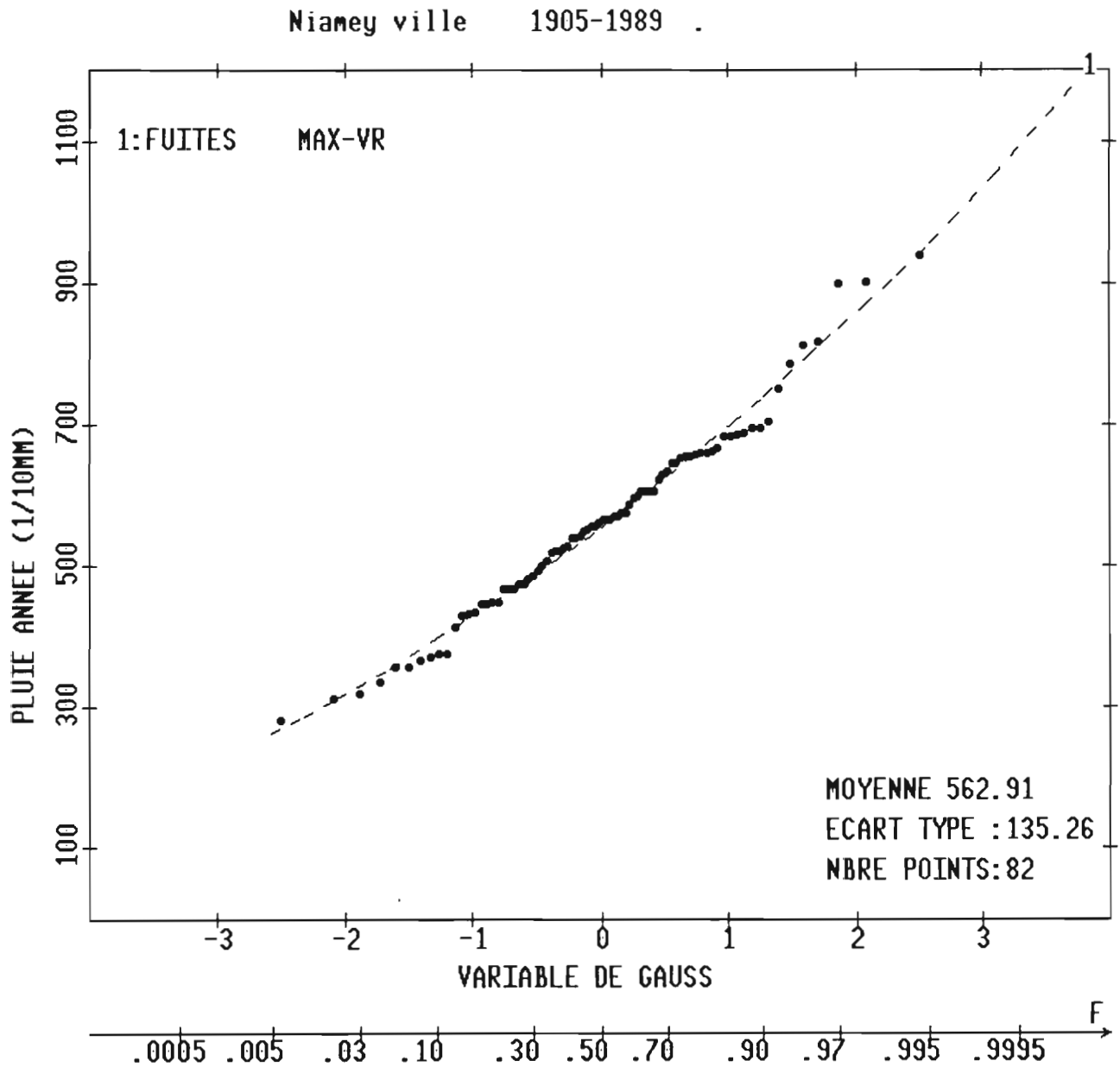
STATION : barkawal  
Averse N°: 13

DEBUT D'AVERSE LE 27/07/1990 A 10h04'55"  
P seu = 25.0 mm Page 1



ANNEXE 5.  
HYETOGRAMMES DE L'EPISODE DU 27 JUILLET,

**ANNEXE 6.**  
**PLUIES A NIAMEY-VILLE**



**Figure A-6.1** Distribution des pluies annuelles sur la période 1905-1989

Tableau A-6.1 Pluies journalières en 1990.

Pluviométrie Journalière (mm) Pour NIAMEY VILLE (320010), ANNEE 1990

DATE	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC
1	.	.	.	.	.	.	.	.	16.6	TR	.	.
2	.	.	.	.	.	.	.	3.3	.	.	.	.
3	.	.	.	.	.	0.2	4.5	30.4	TR	.	.	.
4	.	.	.	.	.	.	.	TR	2.1	.	.	.
5	.	.	.	.	.	.	2.5	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
7	.	.	.	.	0.8	0.5	4.4	.	20.5	.	.	.
8	.	.	.	.	.	.	0.6	27.5	.	.	.	.
9	.	.	.	.	.	.	TR	.	.	.	.	.
10	.	.	.	.	.	.	.	TR	.	.	.	.
DEC	.	.	.	.	0.8	0.7	12.0	61.2	39.2	.	.	.
11	.	.	.	.	.	.	.	.	TR	.	.	.
12	.	.	.	.	.	1.5	12.0	.	.	.	.	.
13	.	.	.	.	.	.	.	TR	8.8	.	.	.
14	.	.	.	.	.	.	.	.	0.1	.	.	.
15	.	.	.	.	.	6.5	3.3	.	.	.	.	.
16	.	.	.	.	.	0.2	.	.	.	.	.	.
17	.	.	.	.	.	0.5	.	5.0	7.8	.	.	.
18	.	.	.	.	.	.	12.3	.	.	.	.	.
19	.	.	.	.	7.2	.	.	.	.	.	.	.
20	.	.	.	TR	0.3	.	.	.	3.0	.	.	.
DEC	.	.	.	.	7.5	8.7	27.6	5.0	19.7	.	.	.
21	.	.	.	.	.	15.4	16.2	.	.	.	.	.
22	.	.	.	.	0.3	.	0.5	.	.	.	.	.
23	.	.	.	.	.	.	33.1	.	.	.	.	.
24	.	.	.	.	.	64.8	.	38.7	.	.	.	.
25	.	.	.	.	1.5	.	.	.	.	.	.	.
26	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
27	.	.	.	.	.	.	24.1	.	.	.	.	.
28	.	.	.	.	65.0	.	.	5.7	.	.	.	.
29	.	.	.	.	.	9.7	.	8.6	.	.	.	.
30	.	.	.	.	.	.	1.8	.	6.0	.	.	.
31	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
DEC	.	.	.	.	66.8	89.9	75.7	53.0	6.0	.	.	.
TOT	.	.	.	.	75.1	99.3	115.3	119.2	64.9	.	.	.
JRS	.	.	.	.	6	9	12	7	8	.	.	.
Maxi	.	.	.	.	65.0	64.8	33.1	38.7	20.5	.	.	.
Date	.	.	.	.	28	24	23	24	7	.	.	.

TOTAL ANNUEL: 473.8 en 42 jours.

TR = trace

\* = manquant

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

**Tableau A-7.1 Fichiers binaires "image-cartouches"**

Liste des fichiers ".oe3" crees en 1990

AGHAROU1 OE3	GAMONZO2 OE3	KOLBOUZ2 OE3	TANABER2 OE3
ALKAMA1 OE3	GANKIBA1 OE3	KOLLO1 OE3	TIERENDJ OE3
BALALSA1 OE3	GARDANA1 OE3	KOLLO2 OE3	TIGOZEN1 OE3
BANGBOB1 OE3	GASSANE1 OE3	KOLLOSO1 OE3	TIMBORA1 OE3
BANGBOB2 OE3	GASSANE2 OE3	KOLLOSO2 OE3	TOLLO1 OE3
BANGBOB3 OE3	GASSANK1 OE3	KOLODIO1 OE3	TONDIGA1 OE3
BANGOUT1 OE3	GASSANK2 OE3	KOLODIO2 OE3	TONDIGA2 OE3
BANIZOU1 OE3	GASSANO1 OE3	KOLODIO3 OE3	TONDIKI1 OE3
BANIZOU2 OE3	GASSANO2 OE3	KOMAKOU1 OE3	TONGOM1 OE3
BANIZOU3 OE3	GASSANO3 OE3	KOMAKOU2 OE3	TONGOM2 OE3
BANKADE1 OE3	GASSASE1 OE3	KOMAKOU3 OE3	TONGOM3 OE3
BANKADE2 OE3	GASSASE2 OE3	KOSSEY1 OE3	TORODI1 OE3
BANKADE3 OE3	GASSASE3 OE3	KOURE1 OE3	WARI1 OE3
BAZANGA1 OE3	GASSASE4 OE3	KOURE2 OE3	WINDEGO1 OE3
BAZANGA2 OE3	GASSASO1 OE3	KOURE3 OE3	WINDEGO2 OE3
BERIKOI1 OE3	GASSASO2 OE3	KOUREKO1 OE3	WINDEGO3 OE3
BERIKOI2 OE3	GASSEYD1 OE3	KOUREKO2 OE3	WINDEGO4 OE3
BERKIAW1 OE3	GOBIKOY1 OE3	KOURESU1 OE3	YELOUMA1 OE3
BERKIAW2 OE3	GOBIKOY2 OE3	KOURESU2 OE3	YILLADE1 OE3
BOLOKAD1 OE3	GOROUGO1 OE3	KOURESU3 OE3	YILLADE2 OE3
BORNE253 OE3	GOROUGO2 OE3	KOYRIA1 OE3	ZOUZOUB1 OE3
BORNE531 OE3	GOURMAND OE3	KOYRIA2 OE3	ZOUZOUB2 OE3
BORNE532 OE3	GUESSEL1 OE3	MAREKIR1 OE3	
BOUBON1 OE3	GUESSEL2 OE3	MAROUZE1 OE3	
BOUGOUM1 OE3	GUESSEL3 OE3	MAROUZE2 OE3	
DAMANA1 OE3	GUILAHE1 OE3	MAROUZE3 OE3	
DAMANA2 OE3	HARIKAN1 OE3	MASSIKO1 OE3	
DAREY1 OE3	HASSOUB1 OE3	NGOURWA1 OE3	
DAREY2 OE3	HOLLO1 OE3	NIABERE1 OE3	
DEBEREG1 OE3	KABA OE3	NIAMEYA1 OE3	
DEBEREG2 OE3	KABA1 OE3	NIAMIRI1 OE3	
DEYTEGU1 OE3	KALIGOR1 OE3	NIAMIRI2 OE3	
DEYTEGU2 OE3	KAMPAZA1 OE3	NIAMPOU1 OE3	
DEYTEGU3 OE3	KAMPAZA2 OE3	NINEFOU1 OE3	
DIOKOTI1 OE3	KAMPAZA3 OE3	NINEFOU2 OE3	
DJAKIND1 OE3	KARABED1 OE3	NIOUMEY1 OE3	
DJOURE1 OE3	KARABED2 OE3	ORSTOM1 OE3	
FANDOB01 OE3	KARABED3 OE3	ORSTOM2 OE3	
FANDOB02 OE3	KARE1 OE3	ORSTOM3 OE3	
FANDOUB1 OE3	KARE2 OE3	ORSTOM4 OE3	
FANDOUB2 OE3	KAREBAN1 OE3	SAMADE11 OE3	
FANDOUB3 OE3	KARMA1 OE3	SAMADE21 OE3	
FANDOUB4 OE3	KIRANMI1 OE3	SAMADE22 OE3	
FETOKAD1 OE3	KODO1 OE3	SANDIDE1 OE3	
FOYFAND1 OE3	KOFANDO1 OE3	SANDIDE2 OE3	
FOYFAND2 OE3	KOFANDO2 OE3	SEKOUKO1 OE3	
GAGARE1 OE3	KOKORBE1 OE3	SEKOUKO2 OE3	
GAGARE2 OE3	KOKORBE2 OE3	TAFAKOI1 OE3	
GAGARE3 OE3	KOKORBE3 OE3	TAFAKOY2 OE3	
GAMONZO1 OE3	KOLBOUZ1 OE3	TANABER1 OE3	

**Tableau A-7.2 Fichiers ASCII contenant les dates de baculement et les cumuls.**

Liste des fichiers ".lab" crees en 1990

AGHAROU1	LAB	GASSASE1	LAB	KOYRIA1	LAB
ALKAMA1	LAB	GASSASE2	LAB	KOYRIA2	LAB
BALALSA1	LAB	GASSASE3	LAB	MAREKIR1	LAB
BANGBOB1	LAB	GASSASO1	LAB	MAROUZE2	LAB
BANGBOB2	LAB	GASSEYD1	LAB	MAROUZE3	LAB
BANGBOB3	LAB	GOBIKOY1	LAB	MASSIKO1	LAB
BANGOUT1	LAB	GOROUGO1	LAB	NGOURWA1	LAB
BANIZOU1	LAB	GOROUGO2	LAB	NIABERE1	LAB
BANIZOU2	LAB	GOURMAND	LAB	NIAMEYA1	LAB
BANKADE2	LAB	GUESSEL1	LAB	NIAMIRI1	LAB
BAZANGA1	LAB	GUESSEL2	LAB	NIAMIRI2	LAB
BERIKOI1	LAB	GUILAHE1	LAB	NIAMPOU1	LAB
BERIKOI2	LAB	HARIKAN1	LAB	NINEFOU1	LAB
BERKIAW1	LAB	HASSOUB1	LAB	NINEFOU2	LAB
BERKIAW2	LAB	HOLO1	LAB	NIOUMEY1	LAB
BOLOKAD1	LAB	KABA1	LAB	ORSTOM1	LAB
BORNE531	LAB	KALIGOR1	LAB	ORSTOM2	LAB
BORNE532	LAB	KAMPAZA1	LAB	ORSTOM3	LAB
BOUBON1	LAB	KAMPAZA2	LAB	SAMADE11	LAB
BOUGOUM1	LAB	KAMPAZA3	LAB	SAMADE21	LAB
DAMANA1	LAB	KARABED1	LAB	SANDIDE1	LAB
DAMANA2	LAB	KARABED2	LAB	SANDIDE2	LAB
DAREY1	LAB	KARABED3	LAB	SEKOUK01	LAB
DAREY2	LAB	KARE1	LAB	TAFAKOY2	LAB
DEBEREG1	LAB	KARE2	LAB	TANABER1	LAB
DEBEREG2	LAB	KAREBAN1	LAB	TANABER2	LAB
DEYTEGU1	LAB	KARMA1	LAB	TIERENDJ	LAB
DEYTEGU2	LAB	KIRANMI1	LAB	TIGOZEN1	LAB
DIOKOTI1	LAB	KODO1	LAB	TIMBORA1	LAB
DJAKIND1	LAB	KOFANDO1	LAB	TOLLO1	LAB
DJOURE1	LAB	KOFANDO2	LAB	TONDIGA1	LAB
FANDOBO1	LAB	KOKORBE1	LAB	TONDIGA2	LAB
FANDOBO2	LAB	KOKORBE2	LAB	TONDIKI1	LAB
FANDOUB1	LAB	KOLBOUZ1	LAB	TONGOM1	LAB
FANDOUB2	LAB	KOLBOUZ2	LAB	TONGOM3	LAB
FANDOUB3	LAB	KOLLO1	LAB	TORODI1	LAB
FETOKAD1	LAB	KOLLO2	LAB	WARI1	LAB
FOYFAND1	LAB	KOLLOSO1	LAB	WINDEGO1	LAB
FOYFAND2	LAB	KOLLOSO2	LAB	WINDEGO2	LAB
GAGARE1	LAB	KOLODIO1	LAB	WINDEGO3	LAB
GAGARE2	LAB	KOLODIO2	LAB	YELOUMA1	LAB
GAGARE3	LAB	KOMAKOU1	LAB	YILLADE1	LAB
GAMONZO1	LAB	KOMAKOU2	LAB	YILLADE2	LAB
GAMONZO2	LAB	KOSSEY1	LAB	ZOUZOUB1	LAB
GANKIBA1	LAB	KOURE1	LAB	ZOUZOUB2	LAB
GARDANA1	LAB	KOURE2	LAB		
GASSANE1	LAB	KOURE3	LAB		
GASSANK1	LAB	KOUREK01	LAB		
GASSANO1	LAB	KOURESU1	LAB		
GASSANO2	LAB	KOURESU2	LAB		



**Tableau A-7.3 Fichiers ASCII (.TXT) contenant les cumuls en 5 minutes.**

Liste des fichiers ".txt" crees en 1990

AGHAROU	TXT	KIRANMI	TXT
ALKAMA	TXT	KODO	TXT
BALALSA	TXT	KOFANDO	TXT
BANGBOB	TXT	KOKORBE	TXT
BANGOUT	TXT	KOLBOUZ	TXT
BANIZOU	TXT	KOLLO	TXT
BANKADE	TXT	KOLLOSO	TXT
BAZANGA	TXT	KOLODIO	TXT
BERIKOI	TXT	KOMAKOU	TXT
BERKIAW	TXT	KOSSEY	TXT
BOLOKAD	TXT	KOURE	TXT
BORNE53	TXT	KOUREKO	TXT
BOUBON	TXT	KOURESU	TXT
BOUGOUM	TXT	KOYRIA	TXT
DAMANA	TXT	MAREKIR	TXT
DAREY	TXT	MAROUZE	TXT
DEBEREG	TXT	MASSIKO	TXT
DEYTEGU	TXT	NGOURWA	TXT
DIOKOTI	TXT	NIABERE	TXT
DJAKIND	TXT	NIAMEYA	TXT
DJOURE	TXT	NIAMIRI	TXT
FANDOBO	TXT	NIAMPOU	TXT
FANDOUB	TXT	NINEFOU	TXT
FETOKAD	TXT	NIOUMEY	TXT
FOYFAND	TXT	ORSTOM	TXT
GAGARE	TXT	SAMADE1	TXT
GAMONZO	TXT	SAMADE2	TXT
GANKIBA	TXT	SANDIDE	TXT
GARDANA	TXT	SEKOUKO	TXT
GASSANE	TXT	TAFAKOY	TXT
GASSANK	TXT	TANABER	TXT
GASSANO	TXT	TIERENDJ	TXT
GASSASE	TXT	TIGOZEN	TXT
GASSASO	TXT	TIMBORA	TXT
GASSEYD	TXT	TOLLO	TXT
GOBIKOY	TXT	TONDIGA	TXT
GOROUGO	TXT	TONDIKI	TXT
GOURMAND	TXT	TONGOM	TXT
GUESSEL	TXT	TORODI	TXT
GUILAHE	TXT	WARI	TXT
HARIKAN	TXT	WINDEGO	TXT
HASSOUB	TXT	YELOUMA	TXT
HOLO	TXT	YILLADE	TXT
KABA	TXT	ZOUZOUB	TXT
KALIGOR	TXT		
KAMPAZA	TXT		
KARABED	TXT		
KARE	TXT		
KAREBAN	TXT		
KARMA	TXT		

**Tableau A-7.4 Structure des fichiers .TXT.**

Fichier ".txt", base de la banque  
contenant les cumuls sur cinq minutes

Commentaires

1321204700	1990	----->	Numero de la station	Annee
04171255	-3156	9204900	---- >	04171255 : date correspondant au
05182310	10	11920200-		17 avril a 12 h 55 '
05230415	10	12284100		>-3156 : valeur au seau en 1/10mm(-1 si lacune)
05230425	5	12284700		
05282330	10	12785400		>9204900 : nombre de secondes depuis
05282355	12	12786900		le debut de l'annee
05290000	16	12787200	----->	10 : lame d'eau tombee le 18 mai entre
05290005	32	12787500		23h 10' et 23'15 (exprimee en 1/10mm)
05290010	17	12787800		10 le 23 mai entre 4h 15' et 4h 20'
05290015	7	12788100		etc...
05290020	6	12788400		
05290045	5	12789900		Nota : le cumul peut atteindre 190 1/10mm
05290125	5	12792300		
05290150	5	12793800		
05290300	5	12798000		
05290425	5	12803100		
06070220	7	13573200		
06070225	9	13573500		
06070230	4	13573800		
06080040	15	13653600		
06080045	91	13653900		
06080050	60	13654200		
06080055	42	13654500		
06080100	22	13654800		
06080105	10	13655100		
06080110	5	13655400		
06122340	7	14082000		
06122345	61	14082300		
06122350	85	14082600		
06122355	69	14082900		
06130000	22	14083200		
06130005	10	14083500		
06130010	5	14083800		
06130015	1	14084100		
.....	.....	.....		