

INFLUENCE DE L'ÉCHANTILLONNAGE DES INTENSITÉS PLUVIOMÉTRIQUES SUR L'ESTIMATION DES PRÉCIPITATIONS CUMULÉES

par Pierre HUBERT*, Pascale FOUÉRÉ** et Thierry LEBEL***

La pluie est un phénomène qui se manifeste dans l'espace et dans le temps. On peut supposer l'existence d'une fonction $I(\mathbf{x},t)$, caractérisant l'intensité des précipitations au point \mathbf{x} de l'espace à deux dimensions constitué par la surface terrestre et au temps t , cette intensité étant exprimée en hauteur d'eau par unité de temps $[L] [T]^{-1}$. Nous ne connaissons a priori rien des propriétés de cette fonction mis à part l'hypothèse de définition en tout point, mais différents types de mesurages permettent d'en estimer des intégrales selon le temps et/ou l'espace (fig. 1).

Les pluviomètres ou les pluviographes permettent de mesurer quasi ponctuellement des hauteurs de précipitation selon différents pas de temps, allant de la journée à quelques secondes, qui sont des intégrales selon le temps de l'intensité des précipitations en un point.

$$H_{t_1, T_2}(\mathbf{x}) = \int_{t_1}^{t_2} I(\mathbf{x}, t) dt$$

Une mesure satellitaire parfaite réaliserait une intégration de la fonction I dans l'espace, selon un pixel de surface Σ , à un instant donné, et permettrait d'atteindre la valeur moyenne de l'intensité pluviométrique sur le pixel à cet instant.

$$I_{\Sigma}(t) = \frac{1}{\Sigma} \iint_{\Sigma} I(\mathbf{x}, t) d\mathbf{x}$$

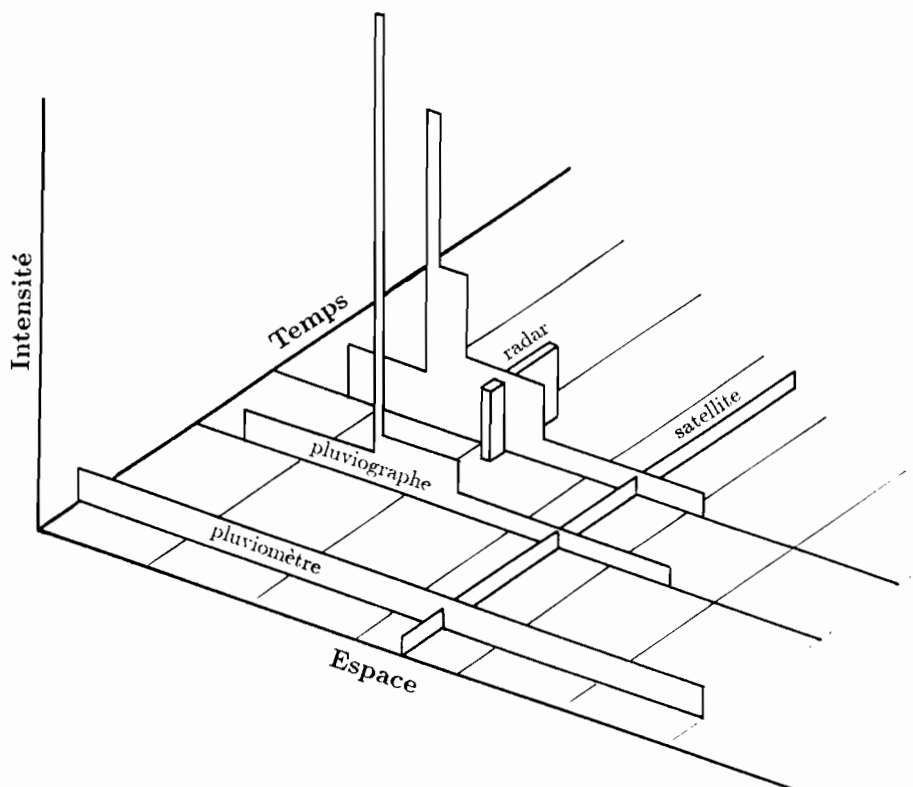


Figure 1. – **LES DIFFÉRENTS APPAREILS DE MESURE DONT NOUS DISPOSONS** (pluviomètres, pluviographes, radars, satellites) **PERMETTENT D'ESTIMER, DIRECTEMENT OU INDIRECTEMENT, DES INTÉGRALES DANS LE TEMPS ET/OU L'ESPACE** (réduit à une seule dimension sur cette figure) **DE L'INTENSITÉ PLUVIOMÉTRIQUE SUPPOSÉE DÉFINIE EN TOUT POINT ET A CHAQUE INSTANT.**

* URA CNRS 1367, CIG, École des Mines de Paris, Fontainebleau.

** CIG, École des Mines de Paris, Fontainebleau.

*** ORSTOM, Mission au Niger, Niamey.

En fait, les satellites ne mesurent pas directement des intensités ou des cumuls de précipitations mais des grandeurs, comme la température du sommet des nuages, que l'on suppose liées aux intensités ou aux cumuls de précipitations. Des formules ou des algorithmes plus ou moins complexes permettent d'estimer des cumuls pluviométriques selon divers pas de temps et d'espace à partir de ces mesures satellitaires (Barrett et Martin, 1981). La validation de ces méthodes est un problème complexe qui passe par la comparaison des estimations qu'elles réalisent avec d'autres estimations issues de campagnes de mesure au sol. La complexité du problème provient du fait qu'il n'est pas possible de comparer directement les estimations **surfaci**ques des méthodes satellitaires et les mesures **ponctuelles** au sol. Il faudra donc nécessairement faire des hypothèses concernant la structure du champ des précipitations pour élaborer, à partir des mesures ponctuelles au sol, une « vérité sol » à comparer aux estimations satellitaires. Arnaud et Thauvin (1990) ont ainsi montré sur un cas particulier que l'utilisation d'une pluie moyenne constituait une meilleure référence que la pluie ponctuelle. Nous ne prétendons pas dans cette contribution apporter une solution définitive à ce problème ; nous nous proposons seulement d'en étudier un aspect, celui de l'influence de l'échantillonnage temporel sur l'incertitude associée aux estimations satellitaires (Mc Connel et North, 1987).

Dans cette étude, initialement menée dans le cadre d'un mémoire de DEA (Fouéré, 1990), nous nous intéresserons à une estimation ponctuelle de cumuls pluviométriques au cours d'un intervalle de temps, supposant que nous avons la possibilité d'atteindre exactement, au moment où elle est mesurée, l'intensité des précipitations au point étudié. Cette étude s'appuie sur les premières mesures pluviographiques réalisées par l'ORSTOM dans la région de Niamey (République du Niger) en 1988 dans le cadre du programme EPSAT-Niger (Thauvin et Lebel, 1991 ; Lebel et al, 1991). Le matériel utilisé permet d'enregistrer à la seconde près les instants des basculements successifs d'un auget dont la capacité correspond à une précipitation de 0,5 mm. Il devient alors possible de tracer des hyétogrammes particulièrement précis (*fig. 2*) qui mettent en évidence l'extrême intermittence temporelle des précipitations en un point. Ces hyétogrammes constituent la meilleure approximation de l'intensité pluviométrique à chaque instant au point de mesure dont nous puissions disposer. C'est à partir de ces enregistrements que nous simulerons des échantillonnages de valeurs instantanées de l'intensité pluviométrique destinés à fournir une estimation de cumuls pluviométriques au cours d'un intervalle de temps.

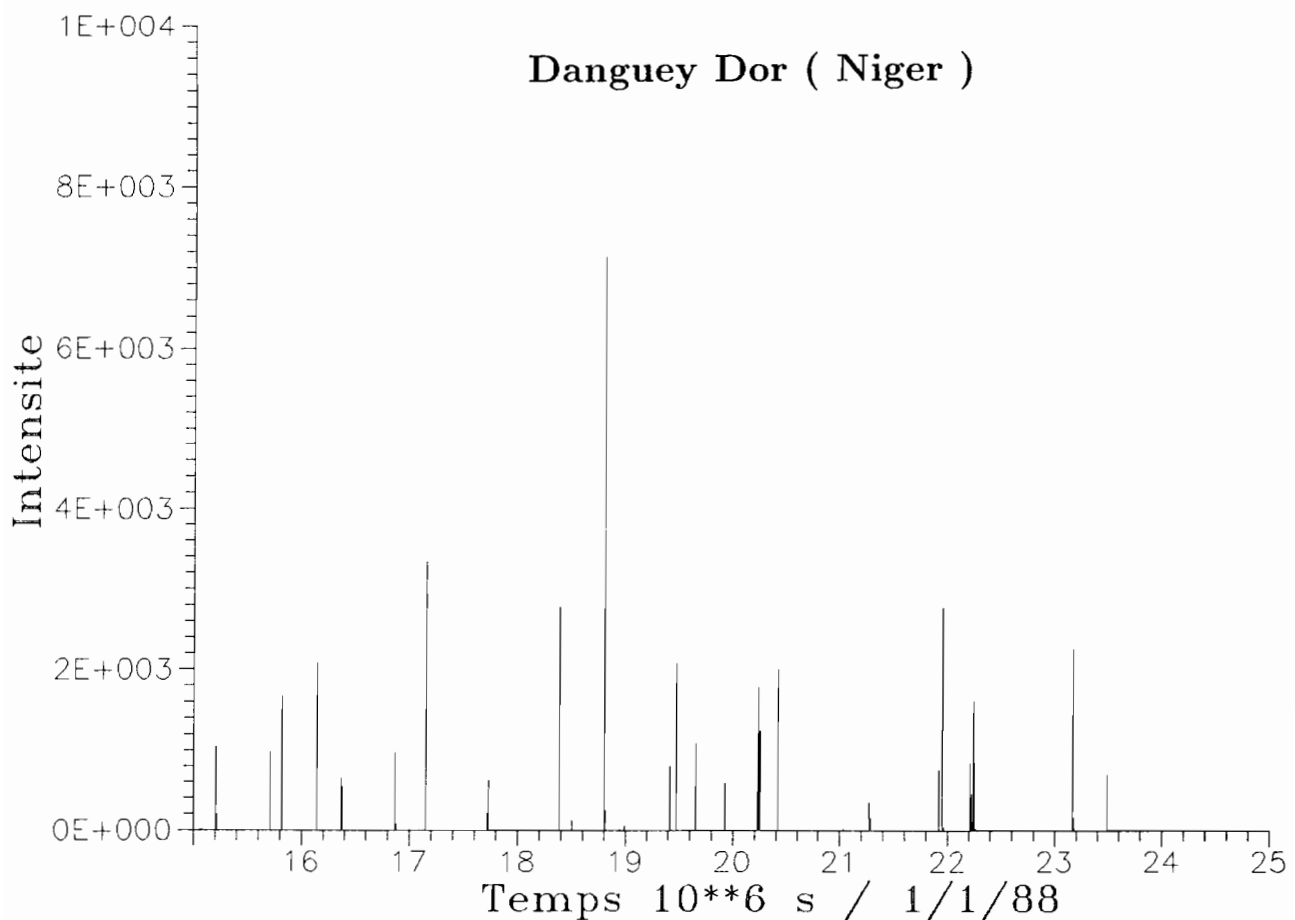


Figure 2. – **HYÉTOGRAMME REPRÉSENTANT LA SAISON DES PLUIES 1988 A DANGUEY GOR (région de Niamey, Niger). A CETTE ÉCHELLE ON OBSERVE BIEN L'EXTRÊME INTERMITTENCE ET LA GRANDE VARIABILITÉ DES PHÉNOMÈNES PLUVIOMÉTRIQUES.**

Nous échantillonnerons toujours selon un pas de temps régulier, soit δt qui représente donc l'intervalle entre deux mesures instantanées de l'intensité $I(\mathbf{x}, t)$. Pour réaliser une estimation de cumul selon un intervalle $[t_1, t_2]$ nous utiliserons donc :

$$N = \frac{t_2 - t_1}{\delta t} \text{ mesures instantanées de l'intensité}$$

L'estimation du cumul pluviométrique au point \mathbf{x} sur l'intervalle $[t_1, t_2]$ sera fournie par l'expression :

$$H_{t_1, t_2}(\mathbf{x}, \epsilon) = N \cdot \delta t \sum_{n=0}^{n=N-1} I(t_1 + \epsilon + n \cdot \delta t, \mathbf{x})$$

Où ϵ est un nombre aléatoire tiré d'une distribution uniformément répartie dans l'intervalle $[0, \delta t]$. Ce nombre aléatoire fixe le début de l'échantillonnage et nous permettra de décaler aléatoirement la grille d'échantillonnage et le hyétogramme étudié dans les différentes simulations d'échantillonnage que nous réaliserons.

Nous disposons pour cette étude des enregistrements relatifs à 18 stations du réseau EPSAT-Niger, dont les durées s'échelonnent de 34 à 115 jours (aujourd'hui le réseau EPSAT-Niger compte une centaine de stations). Nous avons estimé le cumul pluviométrique de chacune de ces stations pour l'intervalle de mesure complet en utilisant différents pas de temps d'échantillonnage (15 minutes, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 12 heures et 24 heures). Pour chaque pas de temps 50 échantillonnages ont été réalisés en tirant à chaque fois au hasard une valeur de ϵ . Toutes ces estimations peuvent être comparées à la vraie valeur mesurée grâce au pluviographe.

Une synthèse des résultats de ces simulations est présentée sur les tableaux I-1 et I-2 dont voici le mode d'emploi.

Sous le **Nom** de la station est indiquée la durée de mesure correspondante (exprimée en milliers de secondes). La vraie valeur, **mesurée**, de la hauteur cumulée des précipitations durant cette période, exprimée en 1/10 mm est indiquée dans la colonne **VV**. Pour chaque pas de temps d'échantillonnage (colonne **PAS** en centaines de secondes) quelques paramètres statistiques de la distribution empiriques des 50 estimations de la hauteur des précipitations cumulées ont été calculés.

MOY Moyenne des estimations.	AS Coefficient d'asymétrie.
MIN Estimation minimale.	CV Coefficient de variation ET/MOY .
MAX Estimation maximale.	RA Rapport des estimations extrêmes MAX/MIN .
ET Écart-type des estimations.	

On constate que, quels que soient la durée de la série considérée et le pas de temps d'échantillonnage, l'estimateur étudié n'est pas biaisé et que la distribution des estimations présente presque systématiquement une asymétrie positive. En ce qui concerne la précision de l'estimateur, assimilable au coefficient de variation, on constate, ce qui est logique, qu'elle se dégrade avec l'augmentation du pas de temps d'échantillonnage, atteignant une valeur de l'ordre de 10 % dès que le pas de temps d'échantillonnage atteint 30 minutes et une valeur de l'ordre de 100 % dès que le pas de temps d'échantillonnage atteint 12 heures. Le rapport entre l'estimation la plus forte et l'estimation la plus faible est systématiquement supérieur à 2 dès que le pas de temps d'échantillonnage atteint une heure, traduisant un risque important de très mauvaise estimation.

Ces constatations globales doivent être précisées en fonction de la durée de la période d'observation, qui varie selon les stations entre 34 et 115 jours, soit environ entre 1 et 3 mois. Nous avons pour cela tracé la figure 3, sur laquelle sont reportés les coefficients de variation des estimations en fonction de la durée de la période d'observation pour les pas de temps d'échantillonnage les plus courts (15, 30 et 60 minutes), et qui nous permet de dégager quelques tendances. On constate que pour le pas de temps de 15 minutes la précision, de l'ordre de 7 %, est pratiquement insensible à la durée de la période d'estimation. Celle-ci exerce par contre une influence au pas de temps de 30 minutes et plus encore au pas de temps de 60 minutes où la précision de l'estimation passe d'environ 20 % pour une durée de trois mois à environ 35 % pour une durée d'un mois.

Ces résultats ne sont pas directement transposables aux estimations de précipitations utilisant l'imagerie infrarouge des satellites Météosat. En effet, et nous l'avons souligné plus haut, ces satellites ne fournissent pas une estimation ponctuelle de l'intensité pluviométrique mais une estimation surfacique selon des pixels dont la surface au sol est de l'ordre de 25 km². On peut penser qu'il s'agit là d'un élément favorable à la précision de l'estimation, la distribution des intensités pluviométriques étant bien sûr plus régulière à l'échelle du pixel qu'à l'échelle ponctuelle. Par contre, il faut noter un élément défavorable : le satellite ne mesure pas directement l'intensité pluviométrique moyenne sur un pixel mais une grandeur qui lui est liée plus ou moins étroitement et à partir de laquelle l'intensité pluviométrique sera estimée ce qui introduit évidemment un élément supplémentaire d'incertitude.

Nos résultats fournissent cependant quelques ordres de grandeur et fixent un certain nombre de limites devant s'appliquer aux algorithmes les plus simples (Carn et Lahuec, 1987) qui ont en commun avec notre expérimentation numérique de ne pas prendre en compte la chronologie des mesures qu'ils utilisent. Il semble indispensable d'utiliser toutes les images Météosat disponibles, c'est-à-dire une fréquence d'échantillonnage de 30 minutes. Parallèlement il semble illusoire de réaliser grâce à ces algorithmes des estimations fiables sur des périodes dont la durée serait inférieure au mois. Un certain nombre d'observations empiriques allaient déjà dans ce sens et nous pensons que l'intérêt de la présente étude est de les compléter par quelques éléments quantifiés.

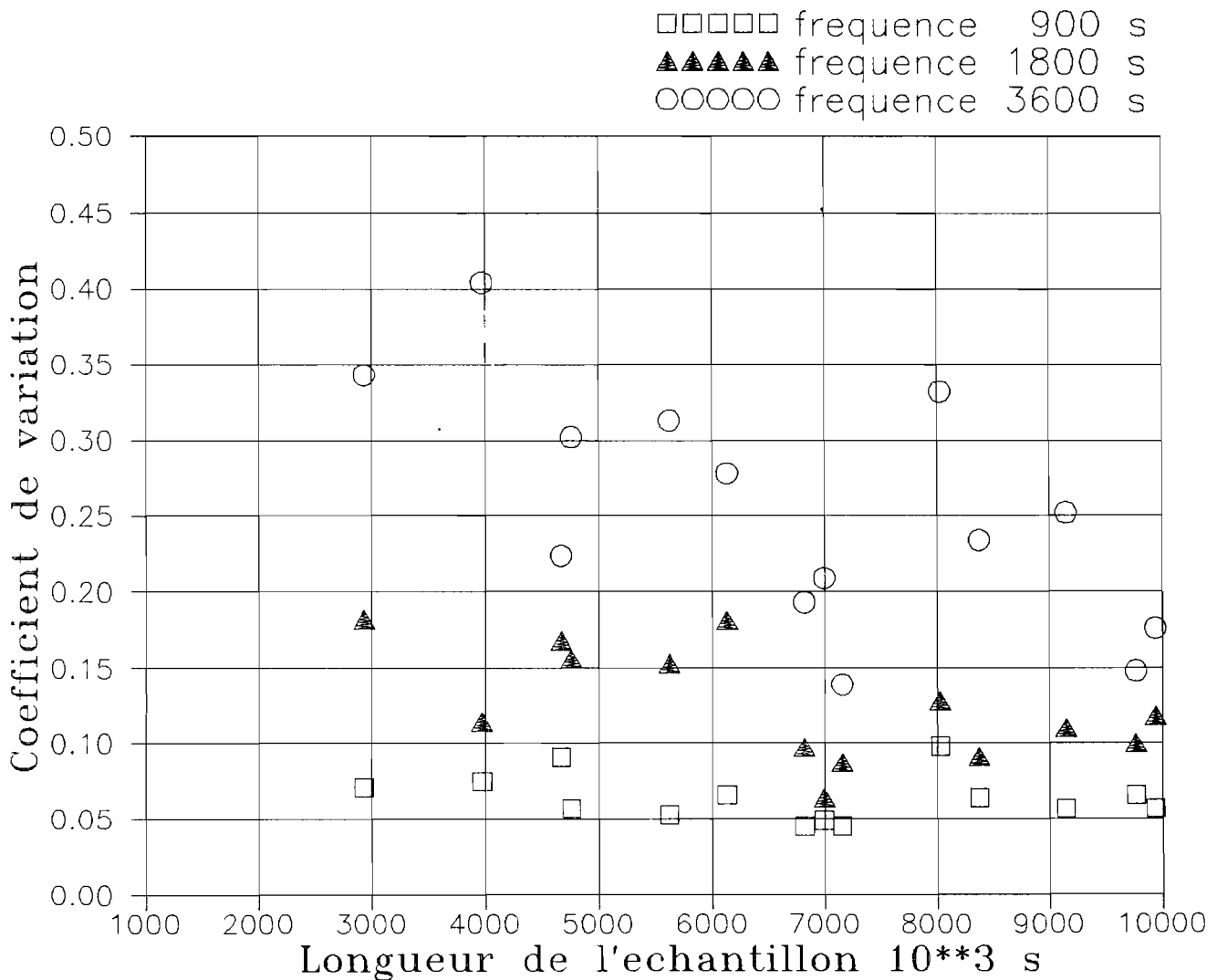


Figure 3. – **COEFFICIENT DE VARIATION DES ESTIMATIONS DE CUMULS PLUVIOMÉTRIQUES POUR DIFFÉRENTES FRÉQUENCES D'ÉCHANTILLONNAGE EN FONCTION DE LA LONGUEUR (durée) DE L'ÉCHANTILLON PLUVIOGRAPHIQUE ÉTUDIÉ.**

Tableau I-1	PAS	VV	MOY	MIN	MAX	ET	AS	CV	RA
Yelouna 9935	9	5245	5202	4718	5852	299	0.1	0.06	1.2
	18		5167	4335	6765	611	0.7	0.12	1.6
	36		5283	3474	7535	931	0.1	0.18	2.2
	72		5198	1878	10260	2116	0.2	0.41	5.5
	432		6568	884	23030	6084	1.2	0.93	26.1
	864		6558	213	31200	8219	1.5	1.25	146.5
Kampa Zarma 7153	9	4690	4653	4399	5199	210	1.2	0.05	1.2
	18		4746	3841	5521	413	0.0	0.09	1.4
	36		4854	3553	6152	674	0.2	0.14	1.7
	72		4582	1511	8083	1904	-0.1	0.42	5.4
	432		4239	589	18380	3721	1.6	0.88	31.2
	864		3505	172	31030	5314	3.3	1.52	180.4
Gagare 6815	9	4625	4625	4218	5055	206	0.3	0.05	1.2
	18		4584	3518	5382	446	-0.5	0.10	1.5
	36		4831	2618	7535	931	0.1	0.19	2.9
	72		4403	1984	10110	2195	1.5	0.50	5.1
	432		4526	559	18060	4585	1.2	1.01	32.3
	864		5364	254	39560	8526	2.3	1.59	155.8
Tigo Zeno 8028	9	4120	4117	3499	4942	402	0.2	0.10	1.4
	18		4181	3350	5285	536	0.0	0.13	1.6
	36		3930	1737	6044	1305	-0.1	0.33	3.5
	72		4036	1252	8860	2075	0.6	0.51	7.1
	432		5263	607	26800	5581	1.9	1.06	44.2
	864		4801	179	65430	9999	4.3	2.08	365.5
Barkawial 6127	9	3115	3135	2752	3534	207	0.3	0.07	1.3
	18		3186	2086	4625	578	-0.2	0.18	2.0
	36		3153	1887	5439	878	0.5	0.28	2.9
	72		2996	1682	8138	1292	1.8	0.43	4.8
	432		3538	481	18470	3747	2.1	1.06	38.4
	864		3334	209	29050	5464	2.9	1.64	139.0
Danguy Gor 9147	9	3675	3675	3239	4047	211	0.0	0.06	1.3
	18		3643	2766	4232	402	-0.6	0.11	1.5
	36		3523	2181	5703	889	0.5	0.25	2.6
	72		3982	1541	8292	1960	0.5	0.49	5.4
	432		4129	541	23150	4733	2.3	1.15	42.8
	864		3305	197	28590	5136	3.3	1.55	145.1
Foy Fandou 8372	9	2105	2118	1899	2409	135	0.2	0.06	1.3
	18		2093	1689	2552	191	-0.1	0.09	1.5
	36		2091	1215	3366	490	0.1	0.23	2.8
	72		2080	861	4502	727	1.1	0.35	5.2
	432		1882	197	13140	2837	2.3	1.51	66.7
	864		1882	150	23200	3805	4.1	2.02	154.7

Tableau I-2	PAS	VV	MOY	MIN	MAX	ET	AS	CV	RA
Deberi Gati 3971	9	3360	3418	3017	4236	257	0.9	0.08	1.4
	18		3416	2699	4278	389	0.1	0.11	1.6
	36		3325	1320	6674	1344	0.4	0.40	5.1
	72		2977	932	8796	1704	1.3	0.57	9.4
	432		5163	373	23780	6430	1.5	1.25	63.8
	864		2505	152	25910	4642	3.6	1.85	170.5
Koure Kobad 6991	9	3760	3755	3465	4152	185	0.5	0.05	1.2
	18		3720	3381	4381	237	0.9	0.06	1.3
	36		3816	2351	5154	797	-0.2	0.21	2.2
	72		3685	1721	6458	1073	0.3	0.29	3.8
	432		3713	668	14950	3670	1.5	0.99	22.4
	864		2568	271	27260	4532	4.1	1.77	100.6
Damana 4669	9	2390	2321	2020	2842	212	0.6	0.09	1.4
	18		2364	1723	3284	397	0.5	0.17	1.9
	36		2347	1414	3692	525	0.5	0.22	2.6
	72		2376	950	4940	975	0.6	0.41	5.2
	432		2245	162	16100	2791	2.8	1.24	99.4
	864		2560	137	19810	3830	2.7	1.50	144.6
Zouzou Beri 5622	9	4020	3974	3594	4395	211	0.1	0.05	1.2
	18		3964	2673	5072	605	-0.1	0.15	1.9
	36		3922	1931	6612	1227	0.5	0.31	3.4
	72		4144	1600	8635	1761	1.0	0.43	5.4
	432		3719	458	14750	3749	1.2	1.01	32.2
	864		3162	202	20270	5017	2.2	1.59	100.4
Gamonzon 4756	9	3200	3231	2842	3637	185	0.3	0.06	1.2
	18		3310	2508	4222	516	0.1	0.16	1.7
	36		3150	1753	5865	952	1.1	0.30	3.4
	72		3285	1642	8468	1496	1.7	0.46	5.2
	432		3229	364	16180	4016	1.6	1.24	44.5
	864		1967	214	21760	3723	3.8	1.89	101.7
Niamey P. 2930	9	1735	1718	1516	2007	122	0.4	0.07	1.3
	18		1707	1186	2368	311	0.5	0.18	2.0
	36		1695	888	3082	582	1.1	0.34	3.5
	72		1839	634	4604	959	1.2	0.52	7.3
	432		1888	156	7444	2178	1.5	1.15	47.7
	864		1719	89	17670	3932	3.4	2.29	198.5
Fetokadie 9762	9	5845	5832	5245	6473	383	0.3	0.07	1.2
	18		5880	4473	8343	587	-0.4	0.10	1.9
	36		5824	4500	8112	916	0.7	0.16	1.8
	72		6189	2756	10060	1822	0.2	0.29	3.7
	432		6099	677	22850	4605	1.4	0.76	33.8
	864		4576	246	26400	5484	1.9	1.20	107.3

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD Y., THAUVIN V., 1990. – Areal Versus Point Rainfall for the Calibration of TIR METEOSAT Data. A Sahelian Application, Proc. International Symposium on Remote Sensing and Water Resources, Enschede (The Netherlands), 20-24 August 1990.
- BARRETT E.C., MARTIN D.W., 1981. – The Use of Satellite Data in Rainfall Monitoring, Academic Press, 340 p.
- CARN M., LAHUEC J.P., 1987. – Estimation des précipitations au Niger au cours de la saison des pluies 1986 à partir de l'imagerie infrarouge Météosat ; Bilan et critique des méthodes utilisées, Veille Climatique Satellitaire, Lannion, 17, pp 40-48.
- FOUÉRÉ p., 1990. – Essais d'estimation et de caractérisation fractale des précipitations sahéliennes, Mémoire de DEA, DEA National d'Hydrologie, École des Mines de Paris, CIG-Fontainebleau, 120 p.
- LEBEL T., SAUVAGEOT H., HOEPFFNER M., DESBOIS M., GUILLOT B., HUBERT P., 1991. – Estimation des précipitations au Sahel : l'expérience EPSAT-Niger, à paraître dans Journal of Hydrology.
- Mc CONNEL A., NORTH G., 1987. – Sampling Errors in Satellite Estimates of Tropical Rains, Journal of Geophysical Research, 92 D8, pp 9567-9570.
- THAUVIN V., LEBEL T., 1991. – EPSAT-Niger : Study of Rainfall over the Sahel at Small Time Steps Using a Dense Network of Recording Raingauges, Hydrological Processes, 5, sous presse.

Hubert P., Fouéré P., Lebel Thierry. (1991).

Influence de l'échantillonnage des intensités pluviométriques sur l'estimation des précipitations cumulées.

Veille Climatique Satellitaire, (38), p. 50-56.

ISSN 1144-2026