





A

*Itounou Rosalie AGODO, ma mère, pour tout son sacrifice*

*Kamandotouan Rosalie DAKIN, mon épouse, pour son  
espérance et son soutien*

*Douro Rosaelle Elvyna et Odjola Flore Alexandrine,  
mes filles pour tout le temps que je leur prends.*



---

## Résumé

L'étude présentée dans ce rapport se situe dans le cadre du programme international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine). Elle porte sur l'analyse de la climatologie des événements pluvieux en zone soudanienne et plus précisément dans la région AMMA-CATCH Bénin.

La première partie porte sur une synthèse climatologique actualisée de la zone d'étude basée sur les données historiques journalières disponibles. Les principaux traits du régime pluviométrique de la région ainsi que sa variabilité interannuelle et intrasaisonnière sont analysés.

La deuxième partie présente une synthèse des caractéristiques climatologiques des événements pluvieux grâce au réseau dense AMMA-CATCH. Les caractéristiques statistiques des événements pluvieux observés pendant sept saisons sont analysées. Par ailleurs, une étude de la distribution fréquentielle des intensités de pluie est faite et on analyse les différences entre les saisons humides et les saisons sèches. De même, une discussion des similitudes et des différences de nos résultats avec ceux bien connus sur les pluies sahéliennes est également faite.

Enfin, dans la dernière partie, un retour sur l'analyse de la variabilité interannuelle et intra-saisonnière des champs de pluie est entrepris. Une modélisation de la structure des champs de pluie est proposée. L'analyse de la variabilité spatiale des champs pluviométriques annuels a permis de montrer l'existence d'un léger gradient pluviométrique Est-Ouest.

**Mots clés :** *Événements pluvieux - Mousson Ouest Africaine - variabilité spatio-temporelle - intensité de pluie*

---

## Abstract

This PhD research has been conducted as part of the AMMA project (African Monsoon Multidisciplinary Analysis). The objective of this work is to analyze the climatology of rainy events in a sudanese area. The region of interest is a meso-scale area situated in the Upper Oueme Valley and called the AMMA-CATCH Bénin site.

The first part presents the main climatological features of rainfall in the region. Historical recording of the daily rainfall are used to derive the main characteristics of the pluviometric regime and its interannual and intra-seasonal. variability.

In the second part of this study, we focus on the rainy events that composed a rainy season. These rainy events are studied thanks to the data gathered on a dense network of raingages. A climatological analysis of these rainy events characteristics is performed. The frequency

distribution of the rainfall rates is also studied and the differences between wet and dry seasons analyzed. The similarities and differences of our results with those derived for the sahelian zone are also discussed.

Finally the third part focuses on the spatial structure of the rainfall fields both at the rainy event scale and the daily scale. A model is proposed to describe the structure. The temporal variability of the structure is analyzed at the interannual scale and also at the intra-seasonal scale. The existence of a gradient in the rainfall field is also investigated.

---

**Key words :** *Rainy event - Ouest African Monsoon - space-time variability - rain intensity*

# Remerciements

Le travail présenté ici a été réalisé en cotutelle internationale entre l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG) et l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) à travers la Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA). Il a été financé par l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD). Je voudrais donc témoigner ici toute ma gratitude à l'IRD et ses dirigeants.

Cette thèse a été co-encadrée par Abel Afouda, Professeur à l'UAC et Thierry Lebel, Directeur de recherches à l'IRD. Ils ont su m'apporter leur soutien et leur éclairage scientifique tout au long du travail. Je leur exprime ici toute ma profonde reconnaissance. Je m'en voudrais de ne pas associer à ces remerciements, Mme Marielle Gosset et M. Christian Depraetère pour les multiples discussions que nous avons eues au cours de ce travail ainsi que pour leur soutien moral et matériel. Je leur exprime toute ma gratitude.

Au cours de mon travail, j'ai été accueilli dans l'équipe Hydro-météorologie du Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE). J'exprime ma reconnaissance à tous les membres de cette équipe et en particulier au Directeur du laboratoire, M. Jean-Dominique Creutin pour leur accueil au sein du laboratoire.

Le Professeur Norbert M. Hounkonnou a accepté mon inscription dans la formation Doctorale Science de l'Eau et de l'Environnement de la CIPMA. Il m'a souvent encouragé dans la poursuite de mes travaux et a contribué très significativement à la résolution des difficultés administratives liées à la gestion de mes inscriptions à l'UAC et à l'INPG. Je lui exprime toute ma profonde reconnaissance.

Je souhaite remercier les membres du jury chargé d'évaluer mon travail pour leur disponibilité. M. Christophe Bouvier, Directeur de Recherches à l'IRD et le Professeur Paul Assamoi ont accepté de rapporter ce travail. Je les remercie pour leurs observations et les échanges constructifs que nous avons eus. Enfin, Abdou Ali, Isabella Zin et Marielle Gosset m'ont fait l'honneur d'examiner mon travail. Toute ma gratitude pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Mes sincères remerciements vont également à :

- E. Zahiri, M. Camara, G. Nord, M. Le Lay, A. Ali, M. Balme, C. Laviyesse, A. Houet, T. Vishel, mes collègues de laboratoire qui ont déjà soutenu leurs thèses et avec qui j'ai partagé les mêmes bureaux, pour certains d'entre eux, ou parfois la même chambre lors de mes départs de Grenoble pour d'autres (surtout G. Nord et A. Houet). J'ai gardé un bon souvenir des moments passés ensemble. Un merci spécial à vous. J'ai eu des échanges sur des recettes pratiques de la spatialisation des données hydrométéorologiques avec M. Sounmaïla dont la thèse est en cours au LTHE. Je lui souhaite une bonne continuation.
- E. Afouda, E. Alamou, J. Dossou-Gbété, et E. Sokpoli en stage de DEA avec qui j'ai partagé des moments chaleureux de travail et d'amitié.
- Ogoudédji et Itounou, mes parents, Modoukpè, Soumon, Iboukoun, Kotchikpa, Kotchéfè et Kossoun, mes frères et soeurs pour leur soutien permanent.
- M. David Akpo pour toute sa sollicitude, son soutien, ses conseils et spécialement pour le reconfort qu'il m'a toujours apporté pendant les moments de vache maigre.
- M. Emmanuel Y. Akpo pour ses encouragements à aller toujours plus loin.

Douro et Odjola, mes filles et Kamandotouan, mon épouse ont su supporter avec patience et amour, tous les multiples moments d'absence qu'a nécessité ce travail. Qu'elles trouvent en cette thèse, la représentation de leur sacrifice et l'expression de ma profonde gratitude.

Je ne saurais terminer mon propos sans adresser mes sincères remerciements et ma profonde gratitude au Professeur Latifou O. OLatunji pour avoir suscité en moi la motivation de faire un DEA et m'avoir accueilli dans la formation Doctorale Sciences des Matériaux où le Professeur Abel Afouda a guidé mes premiers pas dans la recherche scientifique. Qu'il me soit permis d'associer à ces remerciements, M. Joachim Labité, cet instituteur oublié qui a su initier mes premiers pas à l'écriture et à la langue française. Je formule le vœux qu'il trouve en cette thèse, avec Jean Pliya, écrivain Béninois, dans "**les traisseurs de cordes**", *la nouvelle corde qui a été tissée au bout de la vieille* dont il a été le maître d'oeuvre à l'aube d'un de ces matins lointains de l'année 1979.

Enfin, que tous ceux qui m'ont aidé par leur travail et parfois reconforté de leur amitié et de leur soutien trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude. En particulier, Monsieur V. Victorin Gbénou, pour toutes les facilités qu'il m'a accordées au début de cette aventure scientifique et Mrs. Jérémie Houngbo et Didier Aholoukpè pour la compréhension dont j'ai fait l'objet de leur part.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
1.1	Contexte général . . . . .	1
1.2	Objectifs scientifiques de la thèse . . . . .	3
1.3	Démarche scientifique . . . . .	4
1.4	Organisation de la thèse . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Présentation du domaine d'étude et description des données utilisées</b>	<b>7</b>
2.1	La zone d'étude : AMMA-CATCH Bénin . . . . .	7
2.2	Stratégie d'observations multi - échelles et multi - capteurs de AMMA . . . . .	10
2.3	Moyens et méthodes de mesure de la pluie sur la région AMMA-CATCH Bénin . . . . .	12
2.3.1	Mesures directes . . . . .	12
2.3.2	Mesures indirectes . . . . .	16
2.4	Les données utilisées dans cette étude . . . . .	18
2.5	Conclusion du chapitre 2 . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Synthèse des caractéristiques moyennes du régime pluviométrique de la région AMMA-CATCH Bénin</b>	<b>25</b>
3.1	Quelques aspects généraux du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest . . . . .	25
3.2	Conditions climatiques moyennes sur la période 1954 à 2006 . . . . .	28
3.2.1	Climatologie moyenne des pluies sur l'OHHVO . . . . .	28
3.2.2	Analyse de la variabilité du cumul annuel . . . . .	34
3.2.3	La variabilité récente : 1999 - 2006 . . . . .	39
3.3	Cycle saisonnier des précipitations . . . . .	41
3.3.1	Variabilité temporelle . . . . .	50
3.4	Conclusion du chapitre 3 . . . . .	52
<b>4</b>	<b>Caractérisation événementielle des précipitations sur le haut bassin de l'Ouémé</b>	<b>55</b>
4.1	Quelle définition pour l'événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin ? . . . . .	56
4.1.1	Tests de sensibilité des critères de définition de l'événement pluvieux . . . . .	58
4.1.2	Valeurs des paramètres adoptées . . . . .	64
4.2	Caractéristiques générales des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin . . . . .	65
4.2.1	Caractéristiques temporelles . . . . .	65

4.2.2	Quelques grandeurs et relations caractéristiques des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin . . . . .	77
4.3	Caractéristiques statistiques moyennes des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin	82
4.3.1	Définition des paramètres statistiques . . . . .	83
4.3.2	Analyse comparative des paramètres déterminés . . . . .	85
4.3.3	Variabilité interannuelle des paramètres stationnels . . . . .	93
4.4	Distribution des cumuls événementiels . . . . .	96
4.4.1	Ajustement des séries tronquées aux pluies non nulles . . . . .	96
4.4.2	Occurrence des valeurs nulles . . . . .	103
4.4.3	Analyse de la variabilité spatiale . . . . .	103
4.5	Cycle saisonnier moyen des événements . . . . .	110
4.6	Intermittence temporelle des événements pluvieux sur la région AMMA-CATCH Bénin	112
4.6.1	La durée de pluie effective . . . . .	112
4.6.2	Distribution fréquentielle des intensités de pluie . . . . .	113
4.7	Conclusion du chapitre 4 . . . . .	119
<b>5</b>	<b>Analyse de structure spatiale des précipitations</b>	<b>123</b>
5.1	Quelques considérations théoriques sur la fonction de structure . . . . .	124
5.1.1	Définitions et notations . . . . .	124
5.1.2	Hypothèse de stationnarité d'ordre 2 . . . . .	125
5.1.3	Hypothèse intrinsèque . . . . .	126
5.1.4	Les caractéristiques du variogramme . . . . .	126
5.1.5	Estimation du variogramme . . . . .	128
5.2	Analyse du variogramme événementiel . . . . .	132
5.2.1	Analyse de la variabilité temporelle . . . . .	132
5.3	Essai de modélisation du variogramme . . . . .	139
5.4	Distribution spatiale des cumuls saisonniers . . . . .	142
5.4.1	Variabilité spatiale . . . . .	149
5.5	Conclusion du chapitre 5 . . . . .	154
<b>6</b>	<b>Conclusion générale et perspectives</b>	<b>155</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	<b>161</b>
	<b>Annexes</b>	<b>167</b>

# Liste des tableaux

2.1	Liste des 12 stations pluviométriques considérées sur le réseau RPN avec leurs coordonnées, leurs années de début de fonctionnement, le nombre d'années manquantes et le taux de disponibilité de données sur la période de référence :1954-2005. . . . .	18
2.2	Bilan de disponibilité saisonnière (du 15 mars au 31 octobre) de données de tous les appareils pluviographiques installés au cours des saisons 1998 à 2006 sur AMMA-CATCH Bénin. . . . .	20
3.1	Quelques statistiques sur les cumuls saisonniers . . . . .	39
4.1	Caractéristiques temporelles des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur la période 1999-2005. $\sigma$ représente l'écart-type associé aux valeurs moyennes. . . . .	66
4.2	Quelques caractéristiques du réseau en fonction des saisons. La largeur caractéristique du réseau est la distance longitudinale séparant la station la plus à l'Est et la station la plus à l'Ouest. . . . .	66
4.3	Durée moyenne et ses extremums pour les événements observés "avant" puis "après" le saut de mousson. . . . .	67
4.4	Caractéristiques des événements pluvieux Ohhvo les plus longs observés sur la période 1999-2005. $\tau$ est le pourcentage du réseau touché par chaque événement. Maxi. ponct. est le cumul maximum réalisé en un point. L'état de la saison est défini en rapport avec le signe de l'indice pluviométrique de la saison. . . . .	68
4.5	Durée moyenne des événements après retrait des dix événements les plus longs de chaque saison. . . . .	68
4.6	Durée maximale ( $t_{max}$ ) et durée moyenne ( $t_{moy}$ ) des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur chacune des stations du réseau RM1. Les moyennes ont été établies à partir des durées des événements ayant touché chacune des stations sur la période 1999-2005. Les écarts-types ( $\sigma$ ) de ces séries sont associés aux valeurs moyennes. Les stations ont été classées d'Est en Ouest. . . . .	72
4.7	Valeurs maximales ponctuelles et spatiales du cumul par événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin et leurs dates d'occurrence sur la période 1999-2005. . . . .	80
4.8	Caractéristiques spatiales des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et leur apport dans le cumul annuel. . . . .	80

4.9	Contribution des événements observés avant puis après le saut de mousson au cumul annuel. . . . .	81
4.10	Paramètres stationnels des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et coefficients de variation non conditionnel ( $C_v$ ncd) et conditionnel à zéro ( $C_v$ cd0) de la pluie par événement aux stations du réseau RM1. Les statistiques présentées sont établies sur 6 ans pour les stations marquées en gras qui n'ont pas fonctionné durant la saison 1999. Les stations sont classées d'Est en Ouest. . . . .	86
4.11	Caractéristiques moyennes des paramètres stationnels et événementiels en mm des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin de 1999 à 2005 et sur les périodes 1999-2005 et 2001-2005 pour le réseau RM1. . . . .	87
4.12	Coefficient de corrélation $r$ entre les paramètres stationnels sur la période 1999-2005.	89
4.13	Coefficient de corrélation $r$ entre les paramètres stationnels sur la période 2001-2005	89
4.14	Coefficient de Corrélation $r$ des régressions linéaires entre paramètres événementiels sur la période 1999-2005. . . . .	89
4.15	Coefficient de corrélation $r$ des régressions linéaires entre paramètres événementiels sur la période 2001-2005. . . . .	90
4.16	Moyenne et écart-type non conditionnels des cumuls événementiels avant puis après le saut de mousson. . . . .	91
4.17	Moyenne et écart-type conditionnels à zéro puis intermittence des événements avant puis après le saut de mousson. . . . .	92
4.18	Comparaison des valeurs moyennes (en mm) des paramètres stationnels (Stat.) et événementiels (Evt.) estimées sur l'OHHVO à celles déterminées sur la région AMMA-CATCH Niger. . . . .	92
4.19	Comparaison de quelques caractéristiques des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et AMMA-CATCH Niger. . . . .	93
4.20	Cumuls ponctuels événementiels (mm) et périodes de retour correspondantes sur le supersite . . . . .	97
4.21	Proportion des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin dont le cumul ponctuel est inférieur ou égal à 1 mm et leur apport au cumul global de tous les événements. Les stations sont rangées d'Est en Ouest avec : $N$ , le nombre total de cumuls non nuls ; $N_1$ , le nombre de cumuls inférieurs ou égaux à 1 mm ; $H$ , le cumul global de tous les événements moyennés sur la période 1999-2005 et $H_1$ , le cumul moyen sur les événements dont le cumul est inférieur ou égal à 1 mm. . . . .	101
4.22	Résultats des tests d'égalité des moyennes conditionnelles à zéro de chaque station du réseau RM1. $M$ représente le nombre de stations et $N$ est défini par l'équation 4.21.	108
4.23	Résultats des tests d'égalité des moyennes non conditionnelles de chaque station du réseau RM1. $M$ représente le nombre de stations et $N$ est défini par l'équation 4.21. .	109
4.24	Durées effectives de la pluie. Valeurs moyennées sur les 20 stations du réseau RM1 avec les écarts-types associés. . . . .	113

---

4.25	Comparaison de quelques paramètres des régimes pluvieux de l'OHHVO et de EPSAT-Niger. . . . .	114
4.26	Quantiles de distribution des intensités de pluies. Valeurs moyennes déterminées sur le RM1. . . . .	114
1	Paramètres statistiques des 120 événements de la saison 1999. . . . .	171
2	Paramètres statistiques des 90 événements de la saison 2000. . . . .	177
3	Paramètres statistiques des 90 événements de la saison 2001. . . . .	183
4	Paramètres statistiques des 105 événements de la saison 2002. . . . .	189
5	Paramètres statistiques des 123 événements de la saison 2003. . . . .	195
6	Paramètres statistiques des 105 événements de la saison 2004. . . . .	201
7	Paramètres statistiques des 104 événements de la saison 2005. . . . .	207



# Liste des figures

2.1	Localisation des trois sites d'observations de la mousson africaine : les trois sites hachurés sont les sites AMMA-CATCH, dont l'instrumentation a été intensifiée de 2005 à 2007 par des mesures atmosphériques et de couche limite dans le cadre de l'EOP AMMA. Les symboles en bleu représentent les sondages reçus au CEPMMT ( <i>Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme</i> ) et en rouge, les sondages OMM ( <i>Organisation Météorologique Mondiale</i> ) non reçus au CEPMMT. Les traits reliant des symboles sont des transects dans la fenêtre AMMA. . . . .	8
2.2	Localisation de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) au Bénin . . . . .	9
2.3	Les trois phases d'observation du programme AMMA. . . . .	11
2.4	Différents réseaux pluviométriques de AMMA-CATCH Bénin. . . . .	15
2.5	Évolution de l'installation des pluviographes de 1997 à 2006 . . . . .	19
2.6	Réseau Méso-échelle RM1 des 20 pluviographes sélectionnés sur la période 1999-2005	22
3.1	Pluviosité moyenne annuelle (mm) pour la période 1951-1989 d'après L'Hôte et Mahé, 1996. . . . .	27
3.2	Pluviométrie annuelle du site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2005 . . . . .	29
3.3	Évolution des extrêmes du cumul pluviométrique annuel ponctuel et de la pluviométrie moyenne annuelle sur le site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2005 . . . . .	29
3.4	Évolution du rapport entre le cumul annuel maximal ponctuel et le cumul annuel minimal ponctuel sur le site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2005 . . . . .	30
3.5	Indices pluviométriques du site AMMA-CATCH Bénin et du Sahel. Sur l'OHHVO les indices sont représentés avec une moyenne de 1182 mm et un écart type de 188 mm tandis qu'au Sahel, ils sont représentés avec une moyenne de 470 mm et un écart type de 80 mm. . . . .	31
3.6	Comparaison de l'indice pluviométrique du site AMMA-CATCH Bénin (barres pleines) et des stations de Parakou et Djougou (barres creuses). Les indices sont représentés de 1954 à 2005. Pour la station synoptique de Parakou, la moyenne interannuelle sur cette période est de 1152 mm et l'écart type est de 229 mm. A la station de Djougou, la moyenne vaut 1324 mm et l'écart type est de 220 mm pour la même période. . . .	32

3.7	Indice pluviométrique de la station de Niamey Aéroport (13.48°N, 2.18°E) de 1950 à 2002. La moyenne interannuelle vaut 550 mm et l'écart type 145 mm. . . . .	33
3.8	Comparaison des indices pluviométriques des stations de Parakou et Djougou sur l'OHHVO. . . . .	33
3.9	Pluviosité moyenne mensuelle (mm) sur l'OHHVO pour les sous-périodes :1954-1969 ; 1970-1989 ; 1990-2006 et la période récente 1999-2006. . . . .	34
3.10	Indice de Lamb des paramètres considérés à la station de Bétérou. . . . .	35
3.11	Corrélation entre l'indice du cumul annuel et l'indice de quelques paramètres aux stations de Bétérou et Bembéréké. On a représenté l'indice de la plus longue séquence sèche après le saut de mousson. . . . .	37
3.12	Indice du cumul annuel en fonction de l'indice de la pluie moyenne par jour pluvieux. . . . .	38
3.13	Pluviométries moyennes annuelles des saisons 1999 à 2006 et extrêmes saisonniers enregistrés sur l'OHHVO. Les extrêmes saisonniers sont déterminés sur les stations ayant plus de 90% d'observations sur la saison. . . . .	40
3.14	Positions des extrêmes saisonniers. En gras, ce sont les positions du maximum. Le chiffre entre parenthèses indique le nombre de fois que l'extremum est observé à la station considérée. . . . .	40
3.15	Cycle saisonnier moyen des pluies observées sur l'OHHVO de 1954 à 2005. Les moyennes sont calculées sur des fenêtres glissantes de 3 jours, 5 jours, 7 jours et 11 jours. . . . .	42
3.16	Cycle saisonnier moyen des composites sec et humide sur la région AMMA-CATCH Bénin pour la période 1954-2005. On a superposé le cycle saisonnier de l'année 2006 à titre comparatif par rapport aux saisons déficitaires et aux saisons excédentaires. Précisons que les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. Les barres verticales en pointillés représentent les écarts types du composite humide. On a marqué en dessus la date du saut de mousson et la date du second minimum . . . . .	43
3.17	Cycle saisonnier moyen des saisons avant et après 1970 sur la région AMMA-CATCH Bénin et cycle saisonnier moyen de la période récente 1999-2005. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. On a marqué en dessus la date du saut de mousson et la date du second minimum . . . . .	44
3.18	Cycle saisonnier moyen des précipitations pour les composites d'années humides (P1H : avant 1970 et P2H : après 1970) et sèches (P1S : avant 1970 et P2S : après 1970). Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. On a marqué en dessus les dates du saut de mousson et du second minimum . . . . .	45
3.19	Cycle saisonnier moyen des composites avant et après 1970 à la station de Parakou. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005. . . . .	48
3.20	Cycle saisonnier moyen des composites d'années humides et d'années sèches à la station de Parakou. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005. . . . .	49

3.21	Cycle saisonnier moyen des précipitations pour les composites d'années humides (P1H : avant 1970 et P2H : après 1970) et sèches (P1S : avant 1970 et P2S : après 1970) à la station de Parakou. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. . . . .	49
3.22	Cycle saisonnier du cumul des jours pluvieux : moyenne sur une fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005 et des composites des saisons humides et sèches . . .	51
3.23	Cycle saisonnier du nombre de jours pluvieux : fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005 et des composites des saisons humides et sèches . . . . .	51
4.1	Comparaison des listes d'événements établies pour les années 1999 à 2005. . . . .	61
4.2	Évolution des cumuls événementiels non conditionnel, puis conditionnel à zéro en fonction du pourcentage minimum du réseau touché. La durée minimale de séparation des événements est de 30 minutes et le cumul minimum à une station est 1 mm. La dispersion observée en queue de courbe est due au faible nombre d'événements pour les pourcentages supérieurs à 80%. . . . .	62
4.3	Comportement linéaire du cumul moyen événementiel pour les pourcentages du réseau touché allant de 30% à 80% pour les événements séparés de 30min au moins. Chaque barre verticale représente l'écart-type de la série de cumuls conditionnés à zéro des événements correspondant au pourcentage associé sur l'axe des abscisses. . . . .	63
4.4	Relation durée moyenne événementielle - étendue spatiale de l'événement pour les événements échantillonnés avec les critères $t_s = 30 \text{ min}$ et $q = 1 \text{ mm}$ . . . . .	64
4.5	Échantillonnage des événements pluvieux. . . . .	65
4.6	Répartition des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin par classes de durée pour chacune des saisons de 1999 à 2005. Le trait continu épais indique l'année la plus humide sur la figure de gauche et l'année la plus sèche sur la figure de droite. . . . .	69
4.7	Répartition des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et de la pluie moyenne par événement, selon les classes de durée pour la période 1999-2005. . . . .	70
4.8	Répartition du nombre d'événements et du cumul moyen non conditionnel par événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin selon les classes de durée pour les composites sec et humide de la période 1999-2005. Le composite sec est constitué des années sèches (2000,2001,2002,2004 et 2005) et le composite humide comprend les deux années humides (1999 et 2003). . . . .	71
4.9	Distribution latitudinale de la durée moyenne stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur le réseau de chacune des saisons 1999 à 2005. . . . .	73
4.10	Distribution longitudinale de la durée moyenne stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur le réseau de chacune des saisons 1999 à 2005. . . . .	74
4.11	Régression entre la durée moyenne stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et les coordonnées des stations. <b>Coef.Corr</b> indique le coefficient de corrélation. . . . .	75

4.12	Distribution longitudinale du nombre d'événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin touchant chaque station au cours des saisons 1999 à 2005. . . . .	76
4.13	Distribution des événements par cumul moyen non conditionnel pour chacune des années de 1999 à 2005. La saison la plus excédentaire de la période 1999-2005 est identifiée par le trait continu épais sur la figure de gauche et la saison la plus déficitaire est marquée en trait continu épais sur la figure de droite. . . . .	78
4.14	Synthèse de la distribution des événements par cumul moyen non conditionnel sur la période 1999-2005. . . . .	78
4.15	Distribution du nombre moyen d'événements par classe de cumul moyen non conditionnel pour les composites sec et humide de la période 1999-2005. . . . .	79
4.16	Position du maximum ponctuel du cumul événementiel. On a placé les valeurs des maxima pour chaque position. Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de fois que le cumul maximal est observé à cette station. . . . .	81
4.17	Corrélation entre le cumul annuel et le nombre d'événements puis la pluie moyenne par événement pour la période 1999-2005. . . . .	82
4.18	Corrélation entre moyenne événementielle conditionnelle à zéro et intermittence. . . .	90
4.19	Variations interannuelles des paramètres stationnels des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin. . . . .	95
4.20	Quelques exemples d'ajustements du modèle exponentiel aux observations Ohhvo. . . .	98
4.21	Adéquation entre variance théorique et variance expérimentale. . . . .	99
4.22	Ajustement de la série globale de tous les cumuls ponctuels événementiels supérieurs à 1 mm sur la période 1999-2005 à toutes les stations du réseau RM1. "Coeff.nash" représente l'efficacité de l'ajustement de chaque modèle aux observations. . . . .	100
4.23	Comparaison de l'ajustement des modèles exponentiel à la fonction de répartition des cumuls ponctuels événementiels supérieurs à 1 mm à quelques stations. Modèle Expo1. représente le modèle exponentiel utilisant le paramètre d'échelle local c'est-à-dire de la station considérée (Écart type). Modèle Expo2. désigne le modèle exponentiel utilisant le paramètre d'échelle régional, identique à toutes les stations. . .	102
4.24	Fréquence d'occurrence des valeurs nulles exprimée en % du nombre total d'événements affectant la zone pour chaque saison de 1999 à 2005. Les croix représentent les positions des stations utilisées. . . . .	104
4.25	Champ moyen inter-annuel de l'intermittence stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin (a) et moyenne des isohyètes annuelles sur la période 1999-2005 (b). Les croix représentent les positions des stations utilisées. . . . .	105
4.26	Champ annuel du cumul événementiel conditionné à zéro sur la période 1999-2005. Les croix représentent les positions des stations utilisées. . . . .	106
4.27	Champ moyen inter-annuel du cumul événementiel conditionné à zéro sur la période 1999-2005. . . . .	107
4.28	Régression de la pluie moyenne conditionnelle à zéro par événement avec la position des stations. . . . .	107

4.29	Régression de la pluie moyenne non conditionnée par événement avec la position des stations. . . . .	110
4.30	Cycle saisonnier moyen des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin aux échelles décadaire et mensuelle. . . . .	111
4.31	Distribution de la durée de pluie effective à la station de Gaounga sur la période 1999-2005 . . . . .	113
4.32	Distribution des intensités de pluies enregistrées à la station de Gaounga sur la période 1999-2005. . . . .	115
4.33	Distribution fréquentielle des 96 intensités en cinq minutes les plus fortes observées aux stations installées de chaque année, de 1999 à 2003. . . . .	116
4.34	Représentation des deux courbes qui enveloppent la distribution fréquentielle des intensités (en 5 minutes) de chaque année. En traits continus épais, on représente les années humides 1999 et 2003 tandis que les années sèches 2000 et 2001 sont en traits discontinus. L'année 2002, moyennement sèche est en traits continus fins. . . . .	117
4.35	Représentation de la distribution fréquentielle des intensités aux trois stations les plus arrosées et aux trois stations les moins arrosées de chaque année. . . . .	118
4.36	Distribution fréquentielle des 96 plus fortes intensités en 5 minutes de 16 stations pour deux saisons humides (1999 et 2003) et deux saisons sèches (2000 et 2001). . . . .	119
5.1	Quelques comportements possibles du variogramme aux voisinages de l'origine et aux grandes distances. Le variogramme $\gamma_1$ atteint un palier, $\gamma_2$ non. . . . .	127
5.2	Forme du variogramme moyen brut du cumul événementiel. . . . .	133
5.3	Forme du variogramme climatologique brut événementiel en fonction de l'année . . . . .	134
5.4	Variabilité interannuelle des variogrammes événementiels de "Début", "Coeur" et "fin" de saison. (a) : de haut en bas, respectivement les variogrammes moyens de début, coeur et fin de saison. (b) de haut en bas, respectivement les variogrammes climatologique de début, coeur et fin de saison. . . . .	136
5.5	Variogrammes moyens événementiels et normés en fonction de la période au cours de la saison des pluies. (a) : variogrammes moyens et (b) : variogrammes climatologiques . . . . .	137
5.6	Variogrammes événementiels de coeur et de marge de saison des pluies . . . . .	138
5.7	Variogrammes événementiels "Avant" et "Après" le saut de mousson. . . . .	138
5.8	Ajustement du modèle exponentiel aux variogrammes événementiels moyens bruts. L'ajustement est réalisé sur les distances allant de 0 à 80Km. . . . .	140
5.9	Comportement du modèle climatologique unique (modèle à paramètres globaux) par rapport aux variogrammes événementiels bruts de chaque saison et aux variogrammes modélisés avec les paramètres annuels ou locaux. Les ajustements sont réalisés sur les distances allant de 0 à 80Km. . . . .	141
5.10	Variogrammes climatologiques journaliers des saisons 1999 à 2006. . . . .	143
5.11	Variogrammes climatologiques journaliers des saisons 1999 à 2006 et leurs modélisations. . . . .	144

---

5.12	Comparaison du modèle unique de variogramme climatologique journalier (modèle à paramètres globaux) aux observations. Le modèle à paramètres locaux correspond aux paramètres propres à chaque saison. . . . .	145
5.13	Pluviométrie annuelle des saisons 1999 à 2002 (à gauche) et champs moyens journaliers de l'écart type d'estimation normalisé (à droite). Les croix représentent les positions des stations utilisées. . . . .	146
5.14	Pluviométrie annuelle des saisons 2003 à 2006 (à gauche) et champs moyens journaliers de l'écart type d'estimation normalisé (à droite). Les croix représentent les positions des stations utilisées. . . . .	147
5.15	Pluviométrie interannuelle des saisons 1999 à 2006. On observe un léger gradient Est-Ouest biaisé sur les bords du domaine. . . . .	148
5.16	Distribution du cumul annuel selon la longitude sur les stations ayant moins de 20% de lacunes sur la saison : 15 mars au 31 octobre. . . . .	150
5.17	Distribution du nombre de jours pluvieux et de la pluie moyenne par jour pluvieux selon la position des stations ayant moins de 20% de lacunes sur la saison (15 mars au 31 octobre) : Saisons 1999 à 2002. . . . .	151
5.18	Distribution du nombre de jours pluvieux et de la pluie moyenne par jour pluvieux selon la position des stations ayant moins de 20% de lacunes sur la saison (15 mars au 31 octobre) : Saisons 2003 à 2006. . . . .	152
5.19	Influence de la position des stations sur le cumul moyen interannuel. . . . .	153

# Chapitre 1

## Introduction générale

### 1.1 Contexte général

Le climat de la zone tropicale est caractérisé par des contrastes de température et d'humidité entre les masses d'air continentales et l'océan, qui génèrent le phénomène de mousson, à l'origine des précipitations dans cette région. Des trois grandes moussons existantes (mousson africaine, indienne et sud-américaine), la mousson africaine paraît la moins bien connue. L'Afrique de l'Ouest a ainsi subi de très fortes perturbations climatiques au cours du 20<sup>e</sup> siècle, sans qu'il ne soit possible de déterminer avec précision, les paramètres qui sont à l'origine de ces fluctuations. La longue sécheresse qui a sévi au cours des dernières décades du 20<sup>e</sup> siècle avec des pics en 1972-1974 et 1983-1985, en est une tragique illustration. Cette sécheresse a été largement décrite et analysée par plusieurs auteurs dans la littérature et on pourra se rapporter par exemple à Faure et Gac (1981); Hubert et Carbonnel (1988a); Nicholson (1980); Nicholson (1981); Nicholson (1986); Janicot (1992a); Janicot (1992b); Janicot et Fontaine (1993) pour plus de détails. En région sahélienne, Sircoulon (1976) indique que cette sécheresse est la plus importante et la plus continue que la région ait connue. D'après cet auteur, elle présentait trois caractéristiques dont la conjonction lui a donné un aspect inhabituel : sa rigueur, son extension et sa persistance pendant plusieurs années consécutives. La pluviométrie de la période 1971-1990 a ainsi subi une baisse de l'ordre de 180 à 200 mm en moyenne sur l'ensemble de la région Ouest Africaine par rapport à la période 1950-1970 (Lebel *et al.*, 2000).

Les conséquences d'un tel phénomène sont assez dramatiques pour les populations : diminution des ressources en eau et des ressources forestières, réduction du cheptel, non remplissage des barrages, baisse des rendements agricoles. En ce qui concerne particulièrement les ressources en eau, les quelques exemples suivants illustrent bien l'ampleur des impacts de la

baisse relativement brutale de la pluviométrie vers les années 70s : le fleuve Niger, à l'entrée de son delta, a vu son module passer de  $6700 \text{ m}^3\text{S}^{-1}$  pour la période 1951-1970 à  $5000 \text{ m}^3\text{S}^{-1}$  sur la période 1971-1990 et celui du fleuve Sénégal à Bakel est passé de  $366 \text{ m}^3\text{S}^{-1}$  à  $162 \text{ m}^3\text{S}^{-1}$  sur les mêmes périodes (Mahé, 1992). Par ailleurs, Le Barbé *et al.* (1993) indiquent que les écoulements ont baissé de 40% sur l'ensemble du Bénin ; correspondant à une baisse de 20% des précipitations annuelles.

L'économie des pays de la sous région ouest-africaine est principalement basée sur l'agriculture. Or, les activités agricoles, dans cette région, sont essentiellement pluviales ; donc tributaires de l'intensité et de la distribution des précipitations dans la saison pluvieuse. Par exemple, un total annuel de 1200 *mm* tombé en huit mois n'aura pas du tout le même impact sur la recharge des nappes, les écoulements et la disponibilité de l'eau dans les sols selon qu'il provient d'une cinquantaine ou d'une centaine d'événements. De même, un déficit pluviométrique ou un excès subi par une culture à un stade critique de son développement peut avoir des répercussions catastrophiques sur les rendements, même si la saison est globalement satisfaisante. La répartition des précipitations dans la saison conditionne donc autant que le cumul saisonnier, la disponibilité des ressources en eau et leur utilisation.

Face aux nombreuses conséquences néfastes du changement survenu au début des années 70s, parmi les nombreuses questions soulevées par la communauté hydrologique, certaines restent encore actuelles :

- i)* Le phénomène est-il une réponse à un changement dont l'homme serait en grande partie responsable et dont il faut donc craindre l'aggravation ?
- ii)* Quels sont les mécanismes et les étapes par lesquelles le couplage entre l'hydrologie de surface et l'atmosphère module le climat de la région et sa variabilité ?

Pour répondre de façon adéquate à ces questions, il importe de comprendre les processus physiques qui déterminent le régime de la mousson ouest-africaine dominant le climat de la région, sa variabilité et son impact sur le cycle hydrologique et la végétation. En effet, aujourd'hui encore, les grandes variations de la mousson posent des questions importantes pour le développement de la région, notamment en ce qui concerne la sécurité alimentaire, la dégradation des sols, la disponibilité des ressources en eau et le potentiel hydro-électrique.

Dans ce contexte, certaines actions concertées ont été développées dans un premier temps sur la région sahélienne : il s'agit des programmes EPSAT-Niger (Estimation des Précipitations par Satellites) et HAPEX-Sahel (Hydrological Atmospheric Pilot EXperiment - Sahel) (Goutorbe *et al.*, 1997). Les nombreuses études qui découlent de ces expériences ont permis, entre autres, de documenter et de caractériser les fluctuations pluviométriques au Sahel sur une large gamme d'échelles spatio-temporelles, puis de contribuer à l'élaboration et la validation d'algorithmes d'estimation des pluies par satellite sur cette région (Lebel *et al.*, 1992 ;

d'Amato, 1998 ; Guillot, 1998 ; Onibon, 2001 ; Ali, 2004 ; Balme, 2004 ; Zahiri, 2007 pour quelques résultats).

Plusieurs connaissances de la climatologie du régime pluviométrique sahélien et sa variabilité à fines échelles ont été ainsi mises en évidence et rendues disponibles. Plus au Sud en région soudanienne, on ne disposait jusqu'alors que de connaissances générales sur les traits caractéristiques du régime pluviométrique. Pour combler ce déficit et permettre aussi de mener des études similaires à celles effectuées au Sahel, le programme CATCH-Bénin (Couplage de l'Atmosphère Tropical et du Cycle Hydrologique) a été initié et a démarré en 1997 sur la haute vallée de l'Ouémé au Bénin en climat soudanien. Ce programme s'intègre au cadre plus large du programme international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine) et vise à documenter à fine échelle, la variabilité du régime hydro-pluviométrique de la région à travers observations et modélisations (Afouda *et al.*, 1998).

Ainsi, dans une approche complémentaire et multidisciplinaire, le programme AMMA combine observations et modélisations pour se donner un double objectif. Il vise dans un premier temps à améliorer la compréhension des mécanismes de la mousson ouest-africaine et ses variations, puis son influence sur l'environnement physique et chimique et sur la biosphère, aux échelles régionale et globale. Le second objectif est de produire les connaissances qui permettent de relier la variabilité du climat aux problèmes de sécurité alimentaire, de disponibilité des ressources en eau et de santé en Afrique de l'Ouest et de développer des stratégies de surveillance adéquates.

Dans ce cadre, les données AMMA-CATCH Bénin ont déjà permis de mener certaines études à fines échelles spatio-temporelles notamment sur le régime hydrologique, en ce qui concerne sa variabilité et la modélisation de son fonctionnement (on peut se référer à Varado, 2004 ; Le Lay, 2006 et Kamagaté, 2006 pour les détails). Mais les connaissances sont très limitées et demeurent d'ordre général, quant à la description climatologique et statistique du régime pluviométrique.

## 1.2 Objectifs scientifiques de la thèse

Le présent travail s'inscrit dans le cadre général du programme AMMA qui vise à analyser la variabilité spatio-temporelle de la mousson ouest-africaine et étudier les processus qui la modulent. L'un des principaux produits attendus de AMMA est la production de modèles de régimes de pluies à partir de simulations issues des Modèles de Circulation Générale de l'Atmosphère (MCGA). Lesquels modèles de régimes de pluies seront utilisés dans le cadre du forçage de modèles hydrologiques afin d'évaluer l'impact de scénarii de changement

climatique sur la réponse des systèmes hydrologiques. Il apparaît donc important de bien caractériser en amont, les champs de précipitation observés qui serviront à nourrir ces modèles hydrologiques ou qui peuvent être utilisés pour des applications comme la désagrégation des champs de pluie ou la construction de générateurs de pluie.

Dans ce contexte, les principaux objectifs que se fixe le présent travail sont :

- actualiser les connaissances disponibles concernant le régime pluviométrique en milieu soudanien ;
- caractériser la variabilité des précipitations observées à l'échelle de l'événement pluvieux ;
- caractériser la distribution des intensités de précipitation

L'originalité de cette étude réside en ce qu'elle aborde, dans sa grande partie, pour la première fois dans la région d'étude, l'analyse des caractéristiques climatologiques des précipitations à l'échelle fine de l'événement pluvieux avec des données à hautes résolutions spatiale et temporelle. Nous n'ignorons pas les limites d'une telle étude, qui en constituent en même temps la faiblesse. Notamment, la longueur des séries disponibles pour cette étude à fine échelle qui n'est que de sept saisons. Cependant, les données pluviométriques actuellement disponibles permettent déjà de mettre en évidence des caractéristiques des précipitations qui peuvent être très utiles pour l'hydrologie.

### 1.3 Démarche scientifique

Pour atteindre les objectifs fixés, la démarche scientifique adoptée dans le présent travail se veut **descriptive** et **comparative**. En effet, nous avons été guidés par le souci de présenter une description rigoureuse de la variabilité de la mousson dans le contexte soudanien à des échelles pertinentes pour l'hydrologie. Mais la disponibilité de connaissances antérieures sur cette mousson dans le contexte sahélien nous offre une bonne opportunité de comparaison des résultats établis en climat soudanien avec une région située plus au Nord, dans le prolongement de notre fenêtre d'observation. Par ailleurs, la diversité des saisons contenues dans la période d'étude permet d'effectuer des comparaisons entre sous-périodes contrastées.

## 1.4 Organisation de la thèse

Après cette introduction liminaire qui constitue son premier chapitre, le présent travail comporte cinq autres chapitres dont les contenus se présentent comme suit :

- Le **Chapitre 2** donne une présentation de la zone d'étude et la description des jeux de données disponibles et celles utilisées. Un accent particulier est mis sur la stratégie d'observations multi-échelles du programme AMMA.
- Au **Chapitre 3**, on utilise les données historiques journalières du réseau opérationnel de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) pour présenter une synthèse actualisée des caractéristiques climatologiques moyennes des systèmes précipitants de la région d'étude. La variabilité interannuelle et intrasaisonnière du régime pluviométrique y ont été analysées.
- Le **Chapitre 4** se focalise sur l'analyse de la variabilité des précipitations observées sur l'OHHVO de 1999 à 2005, à l'échelle clé des événements pluvieux. Les caractéristiques statistiques moyennes des événements pluvieux sont analysées et comparées à celles des événements pluvieux observés sur la région AMMA-CATCH Niger. La modélisation de la distribution des cumuls événementiels est présentée. Un accent particulier est mis sur la distribution fréquentielle des intensités de pluie.
- Le **Chapitre 5** présente une étude de la structure spatiale des champs de pluie à l'échelle de l'événement pluvieux. Une analyse comparative de la structure spatiale des événements de coeur de saison et de marge de saison a été faite. Par ailleurs, l'analyse de la variabilité récente du champ annuel de précipitation est faite.
- Enfin, le **Chapitre 6** donne un résumé des principaux résultats de l'étude et présente les perspectives qui en découlent.



# Chapitre 2

## Présentation du domaine d'étude et description des données utilisées

Ce chapitre est surtout consacré à la présentation et à l'analyse des données de pluie disponibles sur AMMA-CATCH Bénin et celles utilisées dans le présent travail. Dans la section 2.1, nous présentons d'abord le cadre de l'étude. La section 2.2 a été consacrée à la description de la stratégie d'observation multi-échelle mise en oeuvre dans le cadre du programme AMMA. Les méthodes et moyens d'acquisition de données de pluie déployés sur AMMA-CATCH Bénin par les réseaux opérationnels nationaux et AMMA font l'objet de la section 2.3. Nous précisons ensuite les données utilisées dans le présent travail à la section 2.4. Enfin, une synthèse du chapitre est donnée à la section 2.5.

### 2.1 La zone d'étude : AMMA-CATCH Bénin

Dans le cadre du programme international de recherche AMMA, trois sites sont instrumentés en Afrique de l'Ouest, avec pour objectif de mieux comprendre les liens entre le cycle hydrologique et la variabilité climatique à méso-échelle à savoir (FIG. 2.1) : le site AMMA-CATCH Niger situé en zone sahélienne au Niger ( $1.6^{\circ}\text{E} - 3.2^{\circ}\text{E}$  ;  $13^{\circ}\text{N} - 14^{\circ}\text{N}$ ), le Gourma malien ( $2^{\circ}\text{W} - 1^{\circ}\text{W}$  ;  $15^{\circ}\text{N} - 17^{\circ}\text{N}$ ) situé au Mali et le site AMMA-CATCH Bénin anciennement dénommé Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) situé en zone soudanienne au Bénin ( $9^{\circ}\text{N} - 10.4^{\circ}\text{N}$  ;  $1.5^{\circ}\text{E} - 3^{\circ}\text{E}$ ). Notre étude porte sur le site AMMA-CATCH Bénin (OHHVO) (FIG. 2.2). Ce site bénéficie d'une instrumentation multi-échelle depuis 1997, dans le cadre du projet CATCH. Le régime pluviométrique de la zone d'étude est caractérisé par une saison des pluies allant de mi-

mars à fin octobre avec une pluviométrie moyenne interannuelle de 1200 mm sur la période 1950-2005.

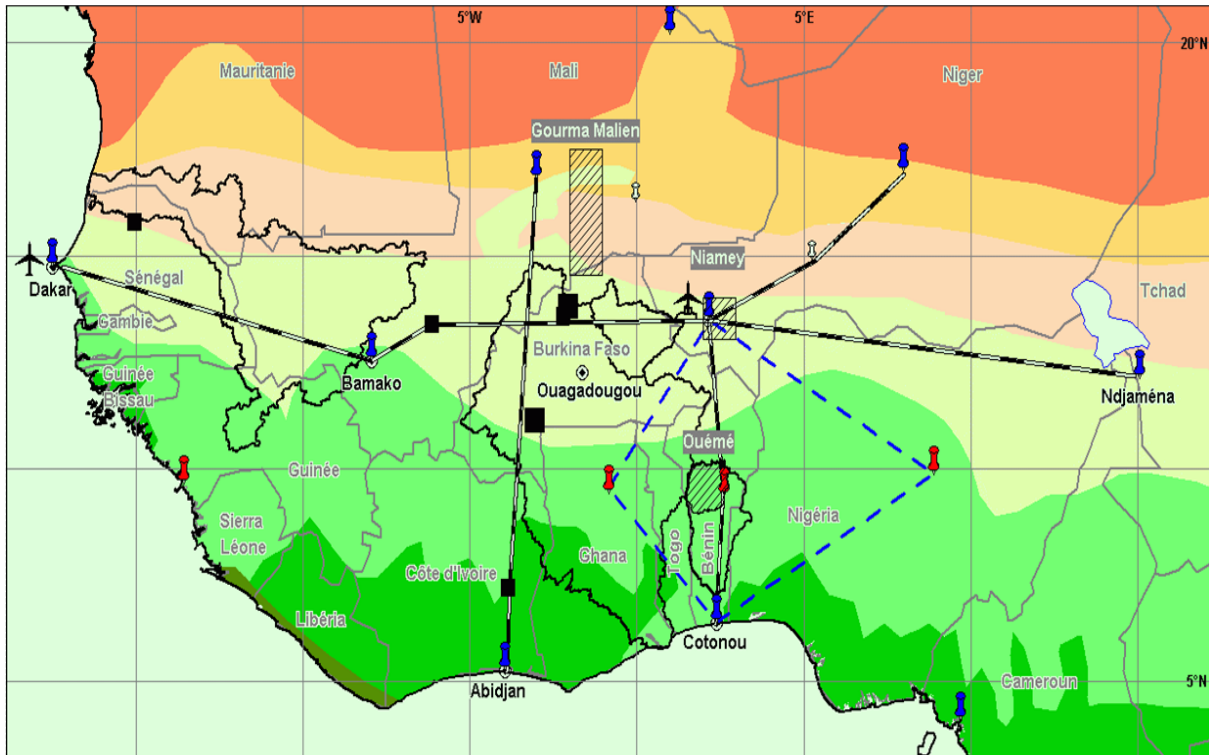


FIG. 2.1: Localisation des trois sites d'observations de la mousson africaine : les trois sites hachurés sont les sites AMMA-CATCH, dont l'instrumentation a été intensifiée de 2005 à 2007 par des mesures atmosphériques et de couche limite dans le cadre de l'EOP AMMA. Les symboles en bleu représentent les sondages reçus au CEPMMT (*Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme*) et en rouge, les sondages OMM (*Organisation Météorologique Mondiale*) non reçus au CEPMMT. Les traits reliant des symboles sont des transects dans la fenêtre AMMA.

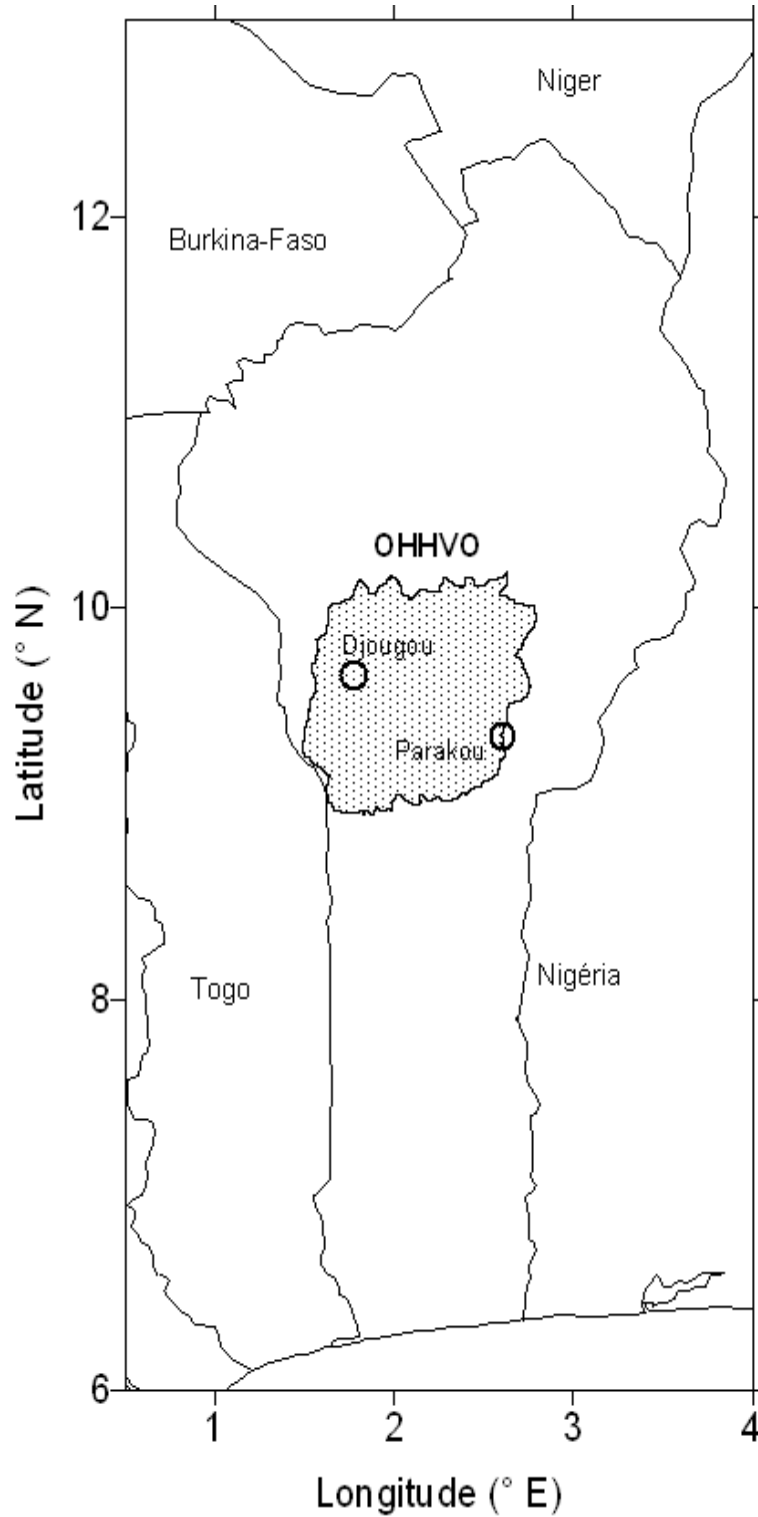


FIG. 2.2: Localisation de l'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé (OHHVO) au Bénin

## 2.2 Stratégie d'observations multi - échelles et multi - capteurs de AMMA

D'un point de vue général, la variabilité interannuelle et décennale du régime pluviométrique ouest-africain a fait l'objet de plusieurs travaux (Nicholson, 1981, Lamb, 1983, Le Barbé *et al.*, 2002 pour quelques exemples). On sait par exemple aujourd'hui que le régime pluviométrique sahélien a connu une sécheresse continue de 1970 à 1994 (FIG. 3.5.b plus loin au chapitre 3), qui semble se prolonger aujourd'hui encore, bien qu'un peu atténuée. De même, il est connu que le déficit pluviométrique ne s'est pas limité uniquement au Sahel mais s'est étendu jusqu'à la côte du Golfe de Guinée (Lebel *et al.*, 2000).

Mais, les échelles spatio-temporelles auxquelles les données de précipitation sont disponibles ne permettent pas d'envisager l'analyse fine de la dynamique de la Mousson Ouest Africaine (MOA) et ses composantes. Dès lors, pour mieux comprendre les interactions entre l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère, une stratégie d'observation multi-échelle est mise en oeuvre sur ces trois composantes, dans le cadre du programme AMMA. Trois grandes échelles spatiales emboîtées sont considérées et détaillées dans le "livre blanc de AMMA" (2002) : 1) l'échelle régionale pertinente pour observer le cycle saisonnier de la mousson et les grands changements de végétation intervenus au cours des cinquante dernières années ; 2) la méso-échelle (concentrée sur les trois sites d'observations cités plus haut) pertinente pour l'étude du cycle de vie des systèmes convectifs et la quantification de leur variabilité interne ainsi que l'étude de la dynamique de la végétation ; 3) l'échelle locale de systèmes hydrologiques couvrant de quelques  $km^2$  en milieu sahélien à quelques dizaines ou centaines de  $km^2$  en milieu soudanien, sur lesquels on cherche à fermer le bilan hydrologique et à mieux comprendre les interactions entre cycle de l'eau et cycle de la végétation.

Les échelles temporelles dépendent des types de données et du site considéré. Globalement, elles vont de l'événement pluvieux à l'échelle pluriannuelle en passant par la saison. Trois périodes d'observations emboîtées ont été définies (FIG. 2.3) :

- la première est une période d'observations à long terme (LOP- Long Observing Period) et concerne les paramètres tels que la pluviométrie, les débits de rivières, la piézométrie des nappes, les variables météorologiques et les paramètres de suivi de la végétation. L'objectif est de documenter finement le cycle saisonnier moyen et ses modulations entre années sèches et humides et permettre ainsi d'étudier les effets cumulatifs des séries d'années sèches et humides. Cette phase s'étend sur dix ans (de 2001 à 2011) et s'appuie sur les réseaux nationaux opérationnels existants et des réseaux spécifiques mis en place par le programme AMMA.

- la deuxième période dite période d'observations renforcées (EOP- Enhanced Observing Period) est d'une durée de trois ans (2005-2007). L'objectif est de documenter plus finement le cycle saisonnier de certains processus. Les observations EOP serviront de liaison entre les observations LOP et les observations spécifiques et permettront de renseigner le long d'un transect climatique, la variabilité saisonnière des conditions de surfaces et des variables d'état de l'atmosphère des échelles convectives à synoptique. En outre, cette phase d'observation vise à documenter les gradients d'énergie régionaux, le transport atmosphérique des espèces chimiques et le cycle de l'eau continental. Du point de vue spatial, l'EOP constitue une densification des mesures LOP et une plus grande extension. Par ailleurs, un autre objectif de l'EOP est le suivi des variations saisonnières des polluants atmosphériques. Les paramètres suivis dans ce cadre au cours de l'EOP sont détaillés dans le "livre blanc de AMMA".
- enfin, la troisième période qui est intégrée dans la deuxième constitue la période d'observations intensives : la SOP (Special Observing Period). Il s'agit de la saison 2006 où il y a eu une combinaison inédite dans la région, entre les réseaux de mesure sol et un déploiement de plusieurs radars de recherche et appareils de mesures aéroportés renforcés par des missions satellites, des lancements de ballons sondes spécifiques et des campagnes bateaux. Ce déploiement de capteurs multiples est coordonné par la stratégie d'intégration des trois échelles spatiales définies plus haut. L'objectif principal ici est l'acquisition de jeux de données permettant d'étudier plus finement une saison de mousson afin de comprendre les processus qui se développent ou qui contrôlent les phases de préinstallation, d'établissement et de fin de la mousson.

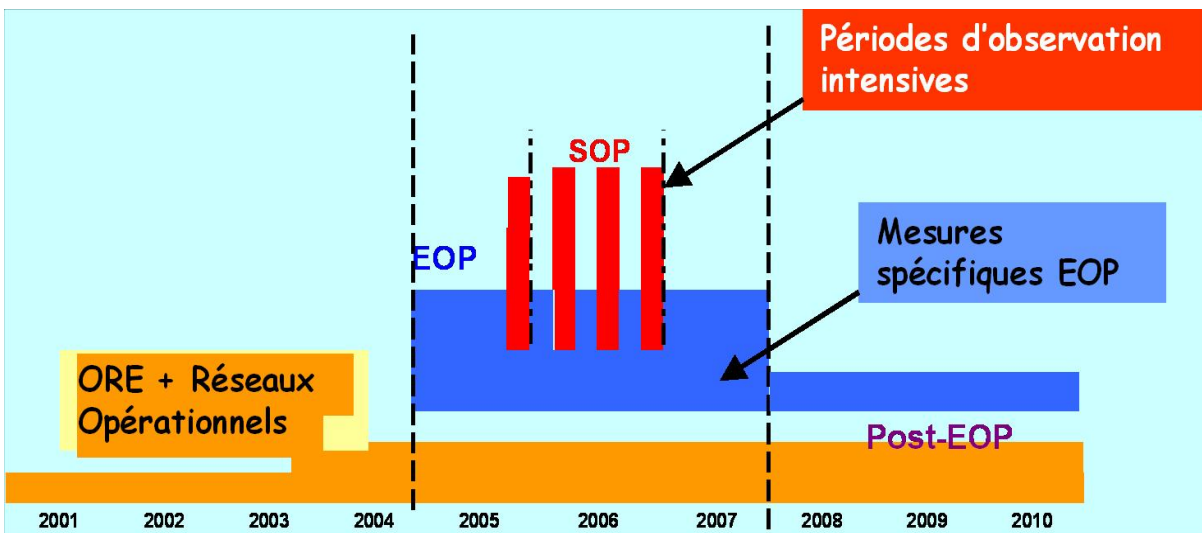


FIG. 2.3: Les trois phases d'observation du programme AMMA.

Il faut noter que les données recueillies sont aussi variées que les capteurs utilisés pour leur acquisition. Redelsperger *et al.* (2006) donne une description global de tous les paramètres suivis lors des campagnes de mesures (LOP, EOP, SOP). Dans la section suivante, nous présentons une description des méthodes d'acquisition seulement de la variable pluie sur le site méso-échelle AMMA-CATCH Bénin dans le cadre de AMMA. Mais on peut se référer à Varado (2004) pour un descriptif détaillé d'autres paramètres collectés sur l'observatoire ; notamment les variables climatiques (température, rayonnement, ETP etc.), les débits des rivières, les hauteurs de nappe, les mesures d'infiltration, les données pédologiques et les paramètres de suivi des groupes fonctionnels de végétation. Par ailleurs, Kamagaté (2006) donne une description de certaines mesures géophysiques et des paramètres géochimiques suivis depuis le début de la LOP.

## 2.3 Moyens et méthodes de mesure de la pluie sur la région AMMA-CATCH Bénin

Les méthodes et matériels employés pour la mesure de la pluie dépendent des objectifs que l'on se fixe et des résolutions spatiales et temporelles qu'on souhaite atteindre. Au plan général, en matière de pluviométrie, il existe deux classes de méthodes de mesures : les mesures directes, ponctuelles et à l'opposée, les mesures indirectes et spatialisées. Donc, on est toujours amené à faire un compromis entre précision/résolution et densité d'échantillonnage.

Nous donnons dans ce qui suit, un bref aperçu sur ces différentes méthodes de mesure, les résolutions spatiales et temporelles associées, et surtout leur mise en oeuvre dans AMMA. Même si notre travail n'utilise exclusivement que des données de pluviographes ou de pluviomètres, il nous a paru en effet indispensable de détailler dans quelle stratégie expérimentale ces mesures s'inscrivent.

### 2.3.1 Mesures directes

Ce sont les méthodes les plus utilisées pour mesurer la pluie au sol à travers une certaine quantité d'eau tombée à une station donnée, à l'aide d'un pluviomètre ou d'un pluviographe.

- **Mesure pluviométrique** : l'eau de pluie tombant sur une surface variant entre 100 et 2000  $cm^2$  est recueillie directement et accumulée dans un réservoir gradué. Ainsi, le volume d'eau précipitée est quantifié, sur un pas de temps fixe (en général de 24 heures, mais parfois de 12 heures ou même de la saison), soit par lecture de la hauteur d'eau

dans le réservoir, soit par pesée du réservoir dont la masse à vide est préalablement déterminée. Sur AMMA-CATCH Bénin c'est la lecture directe quotidienne qui est effectuée par des lecteurs qui passent chaque jour faire le relevé des pluviomètres installés sur l'observatoire (FIG. 2.4.a). Ce réseau de pluviomètres (comportant 17 stations), géré par la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) sera nommé dans toute la suite : Réseau Pluviométrique National de AMMA-CATCH Bénin ou tout simplement, réseau RPN. Dans ce type de mesure, la résolution temporelle d'échantillonnage est égale au pas de temps de mesure et la résolution spatiale est de l'ordre quelques centaines de  $cm^2$  de sorte que les mesures effectuées sont considérées comme des mesures ponctuelles dans la pratique. Les erreurs de mesure sont, ici, liées au vent, à l'évaporation, à des effets d'écran, au débordement éventuel du réservoir de l'appareil et aussi, dans une certaine mesure, à la mauvaise lecture de l'opérateur.

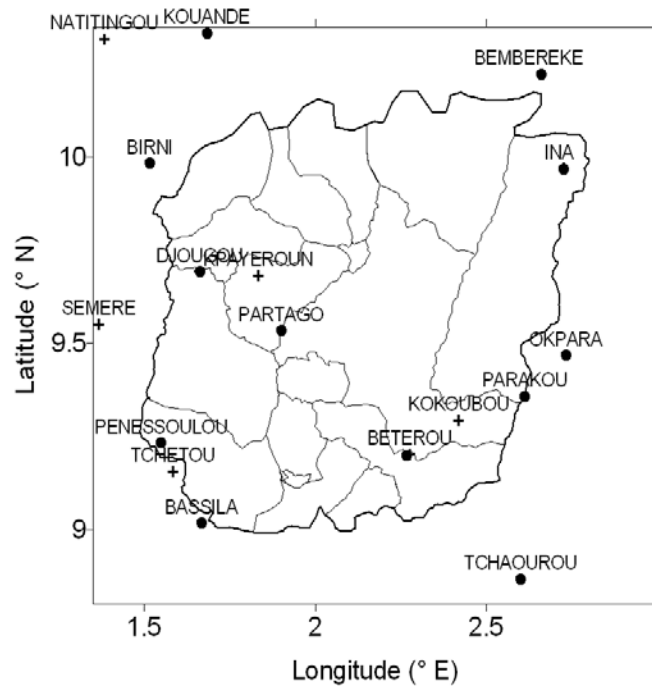
- **Mesure pluviographique** : il existe plusieurs types de pluviographes. Le pluviographe classique enregistre de façon continue les cumuls de pluie dans le temps à l'aide d'un curseur marqueur sur un papier appelé pluviogramme. Quant au pluviographe à augets basculeurs, il enregistre à la seconde près sur une carte magnétique, les dates de basculement des augets. Chaque basculement d'auget correspond à une hauteur d'eau qui est fonction du volume de l'auget (le plus souvent  $20\text{ cm}^3$ ) et de la surface de réception (qui varie couramment de  $200$  à  $2000\text{ cm}^2$ ). Le réseau de pluviographes installés sur AMMA-CATCH Bénin comporte des pluviographes à augets basculeurs dont la hauteur d'eau correspondant à un basculement est de  $0.5\text{ mm}$  et des pluviographes à pesée. Chaque appareil est muni d'une bonbonne dans laquelle se fait la vidange des augets par le biais d'un tuyau généralement protégé du soleil par une gaine pour éviter les fissurations. Lors du dépouillement des cartouches, le cumul d'eau contenue dans la bonbonne (appelé cumul seau) permet de vérifier que le nombre de basculements enregistrés est correct. La résolution temporelle dépend de l'intensité de la pluie tandis que la résolution spatiale est considérée comme ponctuelle comme dans le cas précédent vu que la surface de collecte est de quelques centaines de  $cm^2$  ( $200$  à  $2000\text{ cm}^2$ ). Bien que le pluviographe ait un fonctionnement automatique et permette d'atteindre une meilleure résolution temporelle par rapport au pluviomètre, il demeure un matériel onéreux et nécessite surtout, l'intervention d'un personnel qualifié pour :
  - vérifier régulièrement le bon fonctionnement de l'ensemble batterie-panneau solaire d'alimentation,
  - vérifier la concordance entre le nombre d'octets enregistrés sur la cartouche et le nombre de basculements contenus dans la mémoire interne du système,
  - s'assurer que le système d'enregistrement n'est pas affecté de dérive temporelle,

- s'assurer que les augets peuvent basculer librement et surtout que leur étalonnage est toujours correct.

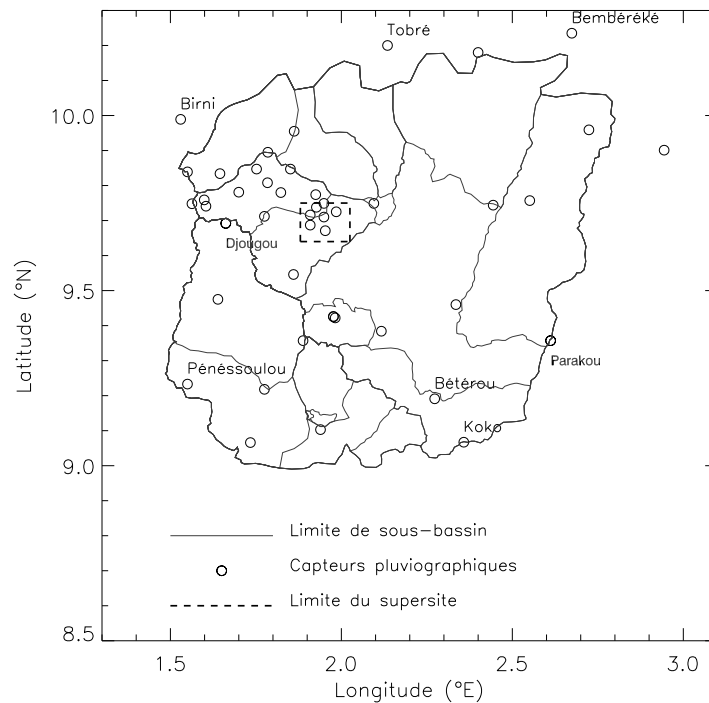
Il existe une équipe de techniciens qui est chargée de la collecte des données, du suivi et de la surveillance du réseau de pluviographes installés sur le domaine d'étude (FIG. 2.4.b). Les erreurs de mesure tout comme dans le cas du pluviomètre sont liées aux aléas environnementaux ; mais peuvent aussi être dues à un mauvais fonctionnement de l'appareil qui peut introduire par exemple, des pseudo-basculements. Par ailleurs, la saturation de l'auget impose inévitablement une borne supérieure à la mesure. Un des avantages majeurs de la mesure pluviographique par rapport à l'utilisation du pluviomètre est que ce type de procédé permet non seulement d'accéder à l'intensité de la pluie au cours de l'événement, mais aussi d'échantillonner, par intégration, le cumul de pluie à différentes échelles temporelles fines auxquelles on ne peut accéder avec le pluviomètre.

En somme, les mesures directes sont de fait ponctuelles (aux échelles de variabilité des précipitations). La différence entre le choix d'un pluviomètre ou d'un pluviographe, c'est l'acquisition et la résolution temporelle (lecture manuelle et périodique pour le pluviomètre et système d'enregistrement automatique numérique ou non pour le pluviographe).

A l'opposée de ces mesures directes, il existe un ensemble de procédés qui utilisent soit l'atténuation, soit la réflectivité d'un signal incident pour déterminer par transformation, la quantité de pluie en un point de mesure ou sur une zone donnée. Nous décrivons brièvement ces procédés dans la section suivante.



(a) Réseau pluviométrique national de AMMA-CATCH Bénin (réseau RPN). Le réseau RPN comporte 17 stations dont 12 (symboles "rond plein") vont servir de référence dans cette étude au chapitre 3.



(b) Réseau pluviographique de la haute vallée de l'Ouémé en 2005. Le rectangle en traits discontinus indique le supersite instrumenté de 7 pluviographes installés depuis 1998 et dont l'interdistance est de 4.5 km.

FIG. 2.4: Différents réseaux pluviométriques de AMMA-CATCH Bénin.

### 2.3.2 Mesures indirectes

Il s'agit des mesures obtenues par disdrométrie, par radar au sol, par satellite ou par radar embarqué.

– **Mesure spectro-pluviométrique optique** : le disdromètre émet un signal lumineux qui est atténué par les gouttes d'eau lors de leur passage dans le faisceau. Cette atténuation permet d'obtenir une information concernant la taille (diamètre), la vitesse et le nombre des gouttes. Ces paramètres permettent, par intégration, d'estimer la quantité de pluie en une station. Ce type de mesure est considéré comme une mesure ponctuelle. Les erreurs de mesure sont liées au vent, au fonctionnement de l'appareil et éventuellement à la chaîne de traitement. Un disdromètre a participé aux campagnes de mesures 2005 et 2006 et il est prévu qu'il reste installé pour les campagnes 2007 et 2008 sur AMMA-CATCH Bénin. Il permettra des études granulométriques des précipitations à partir de la saison 2005. L'analyse des données disdrométriques des campagnes 2005, 2006 et 2007 fait l'objet de la thèse de Moumouni Sounmaïla qui a débuté en 2005 (LTHE/INPG)

– **Mesure par radar** : le radar émet et reçoit un signal électromagnétique et mesure la réflectivité  $Z$  de la pluie qui est ensuite transformée en intensité de pluie  $R$  par des algorithmes basés sur la relation " $Z - R$ " qui s'écrit sous la forme empirique  $Z = A \times R^B$ , où  $(A, B)$  est un couple de coefficients calculés par calibration du radar avec un réseau sol de pluviomètres ou de pluviographes ou bien déduits de la disdrométrie des gouttes. La plupart des gens utilisent la relation de Marshall Palmer :  $Z = 200R^{1.6}$ . Les erreurs peuvent être regroupées en deux catégories :

*i)* les erreurs dues à l'estimation de  $Z$  ; notamment celles liées à la calibration du radar, à l'atténuation du signal radar par la pluie, et la présence de cibles non météorologiques dans le volume de résolution du radar ;

*ii)* les erreurs dues à la variabilité de la relation " $Z - R$ " (Maki *et al.*, 1995 ; Campos et Zawadzki, 2000 ; Tokay *et al.*, 2001 ; Maki *et al.*, 2001 ; Lee et Zawadzki, 2005).

Mais malgré cette multitude de sources d'erreur, le radar présente des avantages certains dans le cadre de l'estimation des lames d'eau précipitées à fines échelles. En effet, le radar a une bonne couverture spatiale et permet de ce fait d'avoir l'information sur les régions non instrumentées. Un des meilleurs avantages du radar est sa bonne résolution spatio-temporelle. A ce titre, le radar peut permettre d'obtenir des cartes de précipitations à fines résolutions spatio-temporelles de l'ordre de  $1\text{km} \times 1\text{km}$  et 5min. Les données radar fournissent des informations sur la structure spatiale et surtout la dynamique et la micro-physique des systèmes précipitants. Par ailleurs, les mesures ra-

dar permettent d'étudier la structure verticale des précipitations (Berne, 2002; Pellarin, 2001). Notons enfin que la liste de ces avantages n'est pas exhaustive.

Actuellement, un radar bande  $X$  développé par le LTHE (Laboratoire d'étude des Transfères en Hydrologie et Environnement) participe aux campagnes d'observations intensives depuis la saison 2005 à Djougou, sur le bassin de la Donga (un sous bassin de AMMA-CATCH Bénin) dans le cadre de la phase d'observations intensives du programme AMMA. D'autres radars ont également participé à la SOP en 2006. Il s'agit notamment du RONSARD du CETP (Centre d'Etude Planétaire et Terrestre), installé à Copargo, du MRR installé à Nangatchouri.

Il est important de noter qu'un point fort de l'EOP AMMA est l'association entre radar de recherche et un réseau sol dense de pluviographes. Cette configuration est inédite dans la région soudanienne où le manque de données à fine échelle ne permettait guère de réaliser des études sur la dynamique des systèmes précipitants de la sous région. Mais nous n'exploitons pas dans la présente thèse les données collectées par les radars.

- **Mesure par satellite** : l'analyse d'images Infra Rouge (IR) provenant de la terre, captées par les satellites, permet de distinguer les pixels froids des autres. Le nombre de pixels froids est relié à une quantité d'eau précipitée, sur la base du principe que la convection intense implique des sommets des nuages plus hauts, donc plus froids. Cette relation, d'après Bourel (1994) est explicite dans le cas des cellules convectives relativement isolées ; mais est quasi-inexistante dans le cas des nuages stratiformes ou de forçage orographique. Ali (2004) note qu'il existe des résultats intéressants obtenus au Sahel par le satellite Météosat. Mais du fait qu'il existe des nuages à sommet froid mais non précipitants, il met en exergue, la nécessité d'effectuer un calage par un réseau adéquat de mesures au sol. Les résolutions spatiales et temporelles dépendent des types de satellites. Mais en général, la résolution spatiale varie dans la gamme de 5 m à 10 km et la résolution temporelle s'étend de 12 heures à un mois.

Compte tenu de leur couverture spatiale, les données de satellites constituent un bon moyen d'accéder à des observations portant sur l'ensemble de la région ouest-africaine. Ces données permettent la spatialisation des mesures sol à des échelles supérieures. La nouveauté dans AMMA est la synchronisation des observations satellitaires avec les réseaux de mesures au sol afin d'évaluer, d'améliorer et de valider les modèles numériques et les algorithmes d'estimations des paramètres suivis. En plus des produits existants, en ce qui concerne les précipitations, des missions de mesures ont été planifiées et concernent les satellites MSG, TRMM, DMSP et GPM.

## 2.4 Les données utilisées dans cette étude

Pour aborder l'analyse du régime pluviométrique de la haute vallée de l'Ouémé, nous disposons de deux types de données de pluie à savoir : les données historiques et les données récentes à fines échelles spatio-temporelles.

### – les données historiques

Comme nous le disions plus haut, le Réseau RPN comporte 17 stations installées sur AMMA-CATCH Bénin. Ces stations sont en fonctionnement depuis 1921 pour les plus anciennes (Parakou, Bembéréké et Djougou) et 1969 pour les plus récentes qui sont Pénésoulou et Partago. En partant de ces 17 stations, nous avons réalisé le test d'homogénéité de Kruskal-Wallis (Saporta, 1974) qui nous a permis de retenir finalement, 12 stations sur les 17 stations de départ. Par ailleurs, la période 1954-2005 a été retenue comme période de référence (bon compromis entre longueur de la période et nombre de stations disponibles). La figure 2.4.a indique la localisation des 12 stations retenues et le tableau 2.1 donne le nombre d'années manquantes pour chacune d'elles sur la période de référence. Une année est déclarée manquante si la station n'a pas enregistré au moins 75% de données au cours de la saison. On donne également dans le tableau 2.1, le taux de disponibilité de données à chacune des 12 stations sélectionnées sur la période de référence.

TAB. 2.1: Liste des 12 stations pluviométriques considérées sur le réseau RPN avec leurs coordonnées, leurs années de début de fonctionnement, le nombre d'années manquantes et le taux de disponibilité de données sur la période de référence :1954-2005.

Station	Code DMN	Longitude	Latitude	Année début d'installation	Nombre d'années manquantes sur la période : 1954-2005	Taux de fonctionnement sur la période : 1954-2005
Bassila	D037	1.667	9.017	1950	14	72%
Bembéréké	D024	2.662	10.223	1921	0	99%
bétérou	D036	2.267	9.200	1953	2	95%
Birni	D026	1.517	9.983	1953	5	85%
Djougou	D030	1.662	9.692	1921	4	85%
Ina	D027	2.727	9.969	1947	3	88%
Kouandé	D019	1.683	10.333	1931	3	92%
Okpara	D033	2.733	9.467	1956	3	92%
Parakou	D034	2.612	9.357	1921	0	99%
Partago	D032	1.900	9.533	1969	20	52%
Pénésoulou	D035	1.550	9.233	1969	18	58%
Tchaourou	D038	2.600	8.867	1937	6	84%

### – Les données récentes

Il s'agit de données pluviographiques disponibles depuis 1997. Elles sont fournies par un ensemble de pluviographes installés progressivement (FIG. 2.5) à partir de 1997 (11 appareils) et atteignant 55 appareils installés au cours de la saison 2006 sur l'ensemble de AMMA-CATCH Bénin (les stations de Parakou, Djougou, et Adiangdia sont instrumentées de deux appareils chacune). Nous appellerons dans toute la suite, ce réseau de pluviographes par : «réseau AMMA-CATCH». Grâce à ces pluviographes à augets basculeurs ou à pesée, qui fournissent les dates de basculements des augets ou de la pesée, on forme des données de cumul de pluie à divers pas de temps (5 min, journalier, décadaire, mensuel ou annuel).

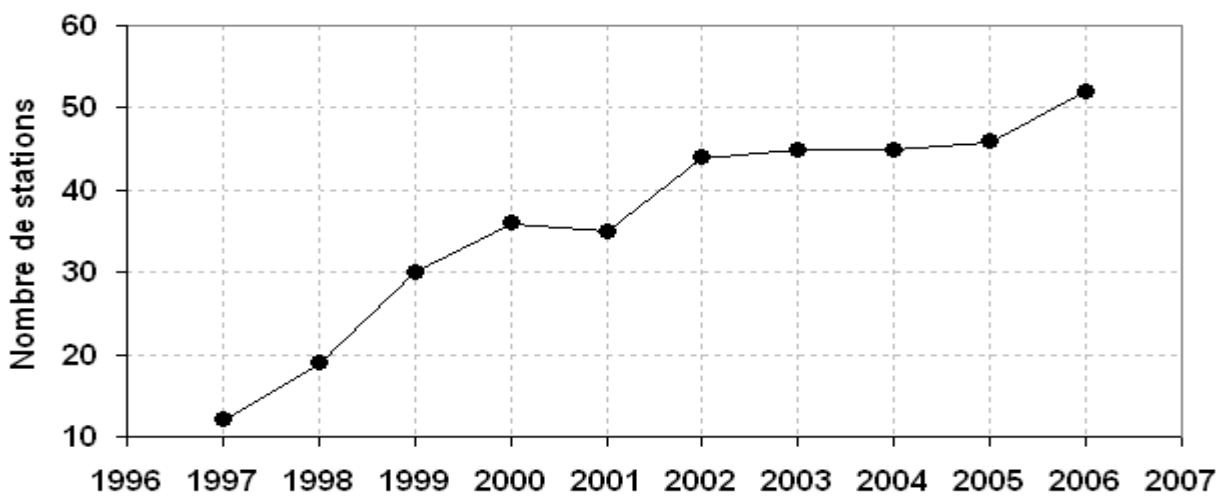


FIG. 2.5: Évolution de l'installation des pluviographes de 1997 à 2006

Une analyse de la disponibilité de données sur l'observatoire a été faite sur ces jeux de données pour chaque année d'observation. On pourra se référer aux rapports de campagnes pour le détail des bilans de fonctionnement des stations ou appareils installés au cours de chaque saison de 1997 à 2006. Le tableau 2.2 donne un résumé de la disponibilité de données sur la saison des pluies (du 15 mars au 31 octobre) pour les saisons 1998 à 2006. Il ressort de ce tableau que le taux moyen de disponibilité de données sur la saison des pluies est de 83% pour la période 1999-2006. On note que de nouvelles stations sont installées au fil des années pour renforcer la densité du réseau d'observation et surtout, avec le démarrage des études spécifiques à fines échelles spatiales du sous-bassin de la Donga, plusieurs stations ont été installées sur ce sous-bassin à partir de 2002. Mais il y a aussi des stations qui sont désinstallées au cours de certaines saisons pour cause de panne ou de proximité avec d'autres stations. Cette instabilité du réseau, doublée de la nécessité d'avoir un réseau de base fixe sur une période plus

ou moins longue, comportant une diversité d'années "humides" et "sèche" nous ont conduit à identifier un sous-réseau méso-échelle dans le cadre de l'étude des caractéristiques événementielles des précipitations de la région. Ce réseau que nous appellerons «réseau RM1» dans toute la suite (FIG. 2.6 à la page 22), est constitué de seize stations ayant de données communes sur la période 1999-2005, auxquelles nous avons rajouté les stations de Adiangdia-Ouest, Bembéréké et Birni et Parakou bien qu'elles n'aient pas fonctionné en 1999. Ces quatre stations qui complètent la liste des seize stations initiales ont été choisies compte tenu de leur situation géographique, en bordure ou au centre du domaine d'étude. Une attention particulière sera accordée à la période 2001-2005 puisque l'année 2001 correspond au début de la Période d'Observation à Long terme (LOP - Long Observation Period) du programme AMMA.

Ainsi, la période globale que couvre l'analyse des caractéristiques climatologiques et statistiques des événements pluvieux sur AMMA-CATCH Bénin est de 1999 à 2005. Nous n'avons pas intégré la saison 2006 compte tenu de ce qu'il est apparu des dérives temporelles au niveau de certaines stations que nous n'avons pas eu le temps matériel de corriger. En plus du réseau homogène RM1, nous utiliserons les réseaux disponibles de chaque saison pour analyser les caractéristiques générales des événements pluvieux.

TAB. 2.2: Bilan de disponibilité saisonnière (du 15 mars au 31 octobre) de données de tous les appareils pluviographiques installés au cours des saisons 1998 à 2006 sur AMMA-CATCH Bénin.

*Les intersections vides correspondent à des appareils qui ne sont pas installés au cours de l'année considérée ou au cours d'une année au moins de la période considérée.*

STATIONS	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	1999-2006
Adiangdia		51%	100%	7%	44%	100%	95%	99%	100%	75%
Adiangdia-est			65%							
Adiangdia-ouest			97%	100%	100%	88%	98%	97%	86%	
Affon	90%	75%	64%	86%	100%	100%	90%	100%	100%	90%
Akekerou	67%	81%	64%	100%	100%	100%	98%	98%		
Ananinga	75%	94%	100%	84%	58%	83%				
Angaradébou		53%	95%	99%						
Babayaka					93%	100%	97%	88%	48%	
Banikani					95%	100%	96%	98%		
Bari	93%	86%	100%	83%	100%					
Barienou					98%	40%	72%	99%		
Belefoungou									100%	
Bembéréké			65%	65%	100%	100%	90%	96%	100%	
Bétérou				89%	97%	100%	98%	97%	59%	
Bira-Bira									100%	

*Suite à la page suivante*

STATIONS	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	1999-2006
Birni			64%	86%	81%	100%	100%	100%	72%	
Biro			90%	90%	100%	100%	98%			
Bombone	76%	64%	100%	95%	98%	80%	95%	100%		
Bonazuro	40%	86%	100%		18%	100%	100%	100%	100%	
Bori		36%	100%	100%	97%	100%	67%	98%	100%	89%
Dapéréfoungou	93%	100%	100%	63%	67%	96%	99%	100%	100%	91%
Djougou		31%	87%	87%	83%	93%	98%	99%	100%	85%
Djougou-2					91%	100%				
Dogué	87%	83%	65%	100%	100%	73%	99%	92%	100%	89%
Donga	91%	91%	64%	85%	98%	100%	87%	98%	73%	87%
Donga-1									78%	
Donga-2									73%	
Donga-4									73%	
Donga-5									80%	
Fo-Bouré	97%	76%	100%	100%	100%	100%	99%	99%	100%	97%
Gangamou					42%	100%	96%	95%		
Gaounga	92%	100%	58%	100%	99%	84%	55%	99%		
Gori-Bouyerou	53%	71%	100%	100%	82%	94%	99%	88%	59%	87%
Goubono		94%	100%	60%	83%	63%		96%	100%	
Gountia					98%	100%	97%	98%	76%	
Ina-Ceta		35%	65%	72%	97%	100%	93%	95%	63%	78%
Ina-Ceta1			52%	97%						
Koko		60%	48%	100%	100%	100%	99%	84%	33%	78%
Koko-Sika					94%	100%	97%	98%		
Kolokondé				89%	100%	100%	99%	98%	39%	
Koukoubou									100%	
Kopargo		30%	57%	87%	100%	100%	94%	99%	100%	84%
Kpegounou						95%	85%	99%	100%	
Momongou		89%	64%	77%	99%	100%	100%	97%	100%	91%
Ndali								98%	46%	
Nalohou-1					92%	100%	68%	100%		
Nalohou-2					94%	100%	88%	99%	100%	
Nalohou-3									95%	
Nangatchouri-1									66%	
Nangatchouri-2									66%	
Nangatchouri-3									55%	
Nangatchouri-4									66%	
Nangatchouri-5									66%	
Noumane					97%	100%	82%	98%	100%	
Oualmora					98%	100%	96%		61%	
Parakou			100%	73%	94%	100%	99%	93%		

*Suite à la page suivante*

STATIONS	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	1999-2006
Parakou-2					92%	100%				
Pélébina	80%	36%	64%	95%	84%	100%	99%	98%	86%	83%
Pénésoulou		77%	100%	88%	98%	100%	73%			
Sakouna		90%	37%	9%	98%	100%	74%	97%		
Sarmanga	49%	89%	43%	71%	100%	100%	99%	98%	100%	88%
Sirarou									100%	
Sonoumou	77%	94%	80%	100%				87%	100%	
Tébou	74%	100%	73%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	97%
Tobré	69%	100%	73%	100%	57%	100%	99%	98%	100%	91%
Wéwé	56%	58%	63%	80%	100%	100%	79%	90%	100%	84%
Zoumboubani	84%	62%	63%	30%	100%	100%	95%	90%		
<b>Maximum</b>	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	100%
<b>Minimum</b>	40%	30%	37%	7%	18%	40%	55%	84%	33%	7%

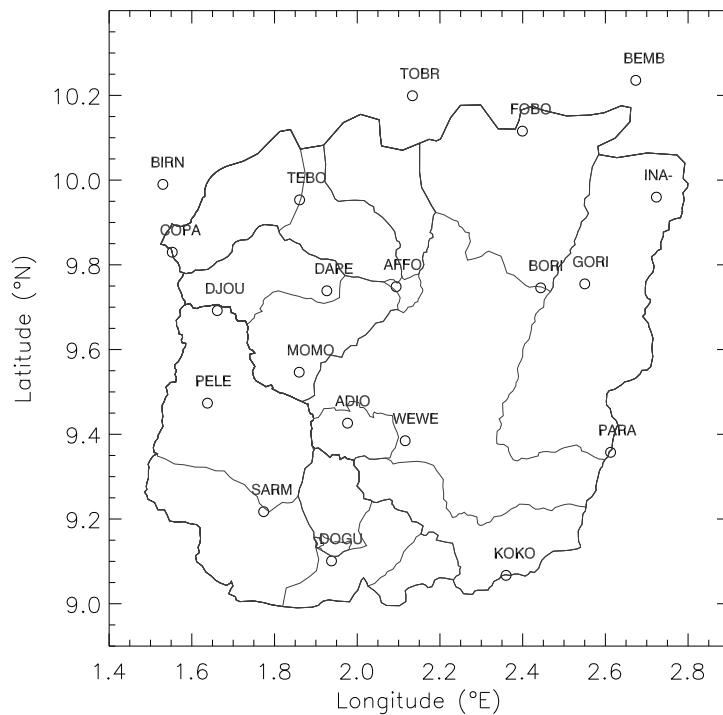


FIG. 2.6: Réseau Mésos-échelle RM1 des 20 pluviographes sélectionnés sur la période 1999-2005

## 2.5 Conclusion du chapitre 2

L'Observatoire Hydrométéorologique de la Haute Vallée de l'Ouémé dispose de deux types de réseaux de mesures pluviométriques ; notamment le réseau pluviométrique national (RPN) et le réseau pluviographique AMMA-CATCH. Le réseau RPN dispose de longues séries d'observations historiques au pas de temps journalier. Mais sa densité est très faible (1 station pour environ  $900 \text{ km}^2$ ). L'analyse d'homogénéité des données a permis de retenir 12 stations sur les 17 que compte le réseau RPN de AMMA-CATCH Bénin ; ce qui réduit considérablement la densité de ce réseau (1 station pour  $1250 \text{ km}^2$ ).

Quant au réseau AMMA-CATCH, il a été installé à partir de 1997 avec des pluviographes à augets basculeurs ou à pesée. Mais tous les appareils n'ont pas été installés en même temps dès le début du programme CATCH. Par conséquent la configuration du réseau varie d'une année à l'autre. L'analyse de la disponibilité de données sur la saison des pluies de l'ensemble du réseau a montré que le taux de lacune est relativement élevé (entre 7 et 40% selon les années), en dépit des efforts qui sont déployés chaque année pour améliorer le suivi du réseau qui s'étend sur un domaine de  $15.000 \text{ km}^2$  environ. Mais, malgré l'instabilité du réseau, nous avons pu définir un sous-réseau de méso-échelle, comportant vingt stations. Ce réseau (le réseau RM1) servira à l'analyse des caractéristiques moyennes des événements pluvieux sur la région au chapitre 4.

La saison 2006 (période SOP de AMMA) a connu une intensification des mesures avec une combinaison inédite de radars de recherche et de satellites avec les mesures au sol. Une banque importante de données est donc disponible. Mais nous n'utilisons pas dans le présent travail, ni les observations radar ni les données satellitaires.

Le réseau pluviométrique national, en dépit de sa faible densité, dispose d'un capital de données historiques journalières qui sont valorisées au chapitre suivant (chapitre 3) dans une synthèse actualisée de la climatologie générale du domaine d'étude.



# Chapitre 3

## Synthèse des caractéristiques moyennes du régime pluviométrique de la région AMMA-CATCH Bénin

La région du site AMMA-CATCH Bénin est instrumentée depuis 1921 pour les plus anciennes stations pluviométriques. Le réseau pluviométrique national, bien que de faible densité, dispose ainsi d'un capital de données qui sont utilisées dans ce chapitre pour actualiser les traits caractéristiques du régime pluviométrique de la région. Sauf indication spéciale, nous utilisons dans ce chapitre les données de pluviométrie journalière aux 12 stations du réseau RPN choisies au chapitre 2. Nous décrivons d'abord à titre de rappel, quelques aspects généraux du régime pluviométrique ouest-africain à la section 3.1. L'analyse des conditions climatiques moyennes de la région d'étude, observées sur la période 1954-2006 fait l'essentiel de la section 3.2. A la section 3.3, nous décrivons une actualisation du cycle saisonnier des précipitations. Un accent est mis sur la comparaison entre le composite des saisons excédentaires et celui des saisons déficitaires. Les principaux résultats du chapitre sont résumés à la section 3.4.

### 3.1 Quelques aspects généraux du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest

Le régime pluviométrique de la région Ouest-africaine est contrôlé par la circulation atmosphérique de deux masses d'air : une masse d'air sec (ou harmattan encore appelé alizé continental) venant du Nord-Est et une masse d'air humide (ou alizé maritime austral) pro-

venant du Golfe de Guinée dans les basses couches de l'atmosphère. Le mouvement de la zone de convergence de ces deux masses d'air (Zone de Convergence Inter Tropicale : ZCIT) du Sud au Nord provoque l'installation progressive des précipitations sur le continent. Classiquement, la dynamique de la mise en place de la Mousson Ouest Africaine (MOA) est perçue comme associée au mouvement d'oscillation de la ZCIT du Sud au Nord, entre  $5^{\circ}\text{N}$  en mai et  $15^{\circ}\text{N}$  en août provoquant l'installation progressive et régulière des précipitations sur le continent. Mais, d'après Le Barbé *et al.* (2002) et Lebel *et al.* (2003), cette installation n'est pas linéaire. En effet, en étudiant l'évolution du nombre d'événements pluvieux par jour et celle de la hauteur moyenne par événement au cours de la saison sur la zone ouest-africaine et pour la période 1950-1990, Le Barbé *et al.* (2002) ont montré que la hauteur moyenne par événement décroît progressivement jusqu'à  $8.5^{\circ}\text{N}$ , puis il apparaît un brusque saut un peu plus au Nord. Ils mettent aussi en évidence un brusque saut du nombre d'événements pluvieux vers fin juin.

D'autres études récentes (Sultan et Janicot, 2003) portant sur les périodes 1968-1990 puis 1968-2002 ont également mis en évidence deux phases essentielles dans la mise en place de la mousson. La première, qualifiée de pré-installation ou "pre-onset", correspond à l'arrivée à  $15^{\circ}\text{N}$  du Front InterTropical (FIT) provoquant la formation de quelques systèmes convectifs isolés, pendant que la ZCIT demeure centrée à  $5^{\circ}\text{N}$ . La date moyenne associée à cette phase par Sultan et Janicot (2003) est le 14 mai avec un écart type de 9.5 jours sur la période 1968-1990. Cette phase est suivie du saut de mousson (qualifié de "onset"), associé au saut brusque latitudinal de la ZCIT de sa position à  $5^{\circ}\text{N}$  à une position quasi-stationnaire en juillet-août à  $10^{\circ}\text{N}$ . La date moyenne associée au saut de mousson est le 24 juin avec un écart type de 8 jours pour la période 1968-1990. Sur la période 1968-2002, Sultan et Janicot (2003) retrouve la même date moyenne du 24 juin pour le saut de mousson avec un écart type de 7 jours ; ce qui confirme les résultats qu'ils ont obtenus avec les observations de la période 1968-1990. Cette date semble constante pendant les périodes humides (1950-1969) et sèches (1970-1990).

Il en résulte que deux dynamiques pluviométriques distinctes dans le temps et dans l'espace, séparées par une transition nette, sont associées aux mouvements latitudinaux de la ZCIT et caractérisent la région. Il s'agit du régime océanique dont l'origine est due à l'apport d'humidité à partir du Golfe de Guinée et du régime continental qui s'installe après le saut de mousson.

A l'échelle interannuelle, plusieurs auteurs montrent, avec des séries d'observations de différentes longueurs, qu'au delà de  $12^{\circ}\text{N}$ , la pluviométrie moyenne annuelle décroît dans la région, du Sud vers le Nord, comme l'illustre la figure 3.1.

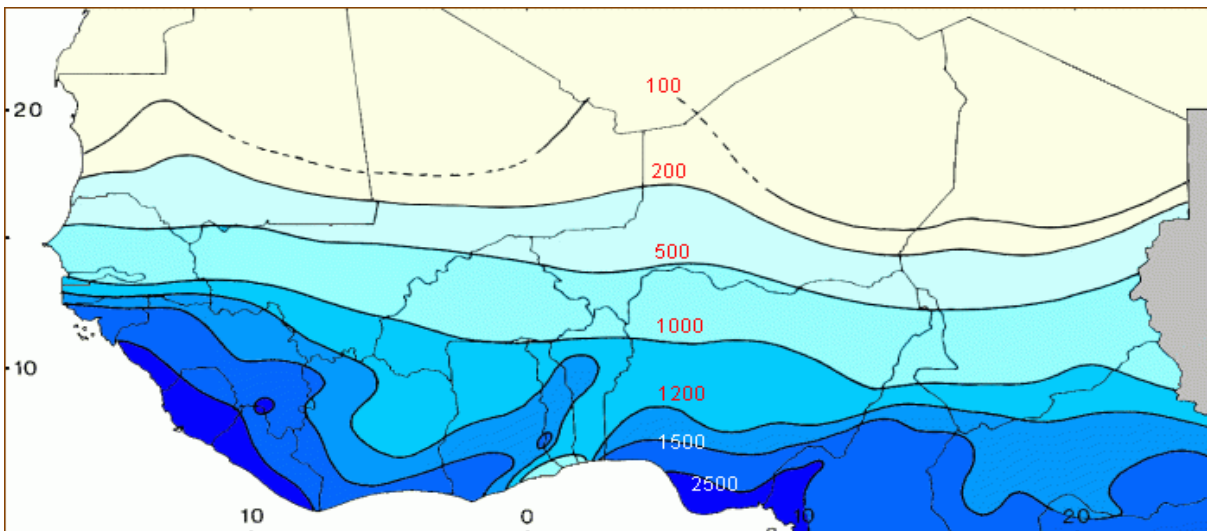


FIG. 3.1: Pluviosité moyenne annuelle (mm) pour la période 1951-1989 d'après L'Hôte et Mahé, 1996.

Mais, selon les périodes considérées, la position géographique des isohyètes n'est pas figée. Le Barbé et Lebel (1997) montrent en effet, un déplacement des isohyètes de plus de 100km vers le Sud entre la période humide (1950-1969) et la période sèche (1970-1989) au Sahel. Cette évolution traduit une diminution nette et généralisée de la pluviométrie annuelle sur l'ensemble de l'Afrique de l'ouest à partir des années 70s. Le gradient pluviométrique moyen sur la région sahélienne est sensiblement constant de 1 mm/km (Lebel *et al.*, 1992). Ce gradient pluviométrique marqué sur la zone sahélienne s'explique par la diminution du nombre d'événements plutôt que par le cumul moyen événementiel (Le Barbé et Lebel, 1997). Au Bénin, on constate sur la figure 3.1 que dans la région AMMA-CATCH Bénin, la pluviométrie moyenne annuelle est caractérisée par un gradient dans la direction Est-Ouest. Cette observation a été faite également par Le Barbé *et al.* (2002) lors de l'analyse de la variabilité des précipitations en Afrique de l'Ouest sur la période 1950-1990.

Une question importante posée ici est : les résultats sur la variabilité interannuelle liée au nombre d'événements valables en zone sahélienne sont-ils applicables sur la zone soudanienne ? Ceci est une question importante pour les applications comme la désagrégation des champs de pluie nécessaire pour les études d'impact. Nous analyserons donc dans ce chapitre, les aspects quantitatif, temporel et spatiale de la variabilité du régime des précipitations du site AMMA-CATCH Bénin afin de confirmer ou infirmer, pour cette région, les résultats cités ci-dessus en zone sahélienne. Pour cela, nous disposons comme on l'a présenté au chapitre 2 de 12 séries d'observations journalières de pluviométrie sélectionnées sur le réseau RPN sur la période 1954-2005. La densité de ce réseau a été renforcée à partir de 1999, et nous dis-

posons d'une cinquantaine de séries de données journalières sur la période 1999-2006, grâce au réseau AMMA-CATCH. Cette période constitue donc un bon échantillon pour mieux analyser la variabilité spatiale des précipitations. Cet aspect sera abordé au chapitre 5

Après avoir analysé les conditions climatiques générales de la zone, nous aborderons le cycle saisonnier des pluies et la variabilité temporelle du régime pluviométrique avec les 12 stations sélectionnées du réseau RPN.

## 3.2 Conditions climatiques moyennes sur la période 1954 à 2006

### 3.2.1 Climatologie moyenne des pluies sur l'OHHVO

La région AMMA-CATCH Bénin est une zone située sous un climat de transition entre le régime humide du Sud et le régime désertique au Nord. La pluviométrie moyenne interannuelle est voisine de 1200 mm. Les extrêmes du cumul moyen annuel observé sur la période 1954-2005 (FIG. 3.2) se présentent comme suit : le minimum est de 733 mm (en 1983) et le maximum observé est 1582 mm (en 1957). Le régime de pluie est essentiellement caractérisé par une saison sèche de novembre à mars et une saison des pluies de mi-mars à Octobre avec un maximum de pluie en août comme on peut le voir plus loin à la page 34 sur la figure 3.9. Avant 1970, l'année la moins pluvieuse est 1958 avec 780 mm et après 1970, c'est l'année 1983 qui est la moins pluvieuse avec 733 mm comme indiqué ci-dessus. On présente sur la figure 3.3, le minimum et le maximum observés en un point du domaine. Ces deux grandeurs coïncident jusqu'en 1998. Mais, à partir de 1999, les deux signaux semblent vibrer en opposition de phase.

Quant au rapport entre le maximum et le minimum ponctuel de chaque année (FIG. 3.4 à la page 30), en dehors de quelques années (1964, 1970, 1978, 1997 et particulièrement 2005) qui sont pour la plupart déficitaires, il fluctue autour de la valeur moyenne 1.6. Cette valeur est inférieure à celle déterminée par (Balme, 2001) pour la région EPSAT-Niger sur la période 1990 à 2000 et qui est de 2. L'écart entre le maximum ponctuel et le minimum paraît donc plus faible en région soudanienne qu'en région sahélienne. Mais, la faible densité du réseau d'observation RPN (surtout en terme de localisation) peut entraîner la sous estimation des extremums et donc biaiser les valeurs déterminées pour le rapport. Par conséquent, nous reviendrons à la section 3.2.3 sur la variabilité récente du rapport entre les maxima et minima annuels analysé à partir du réseau pluviographique dense AMMA-CATCH sur la période 1999-2005

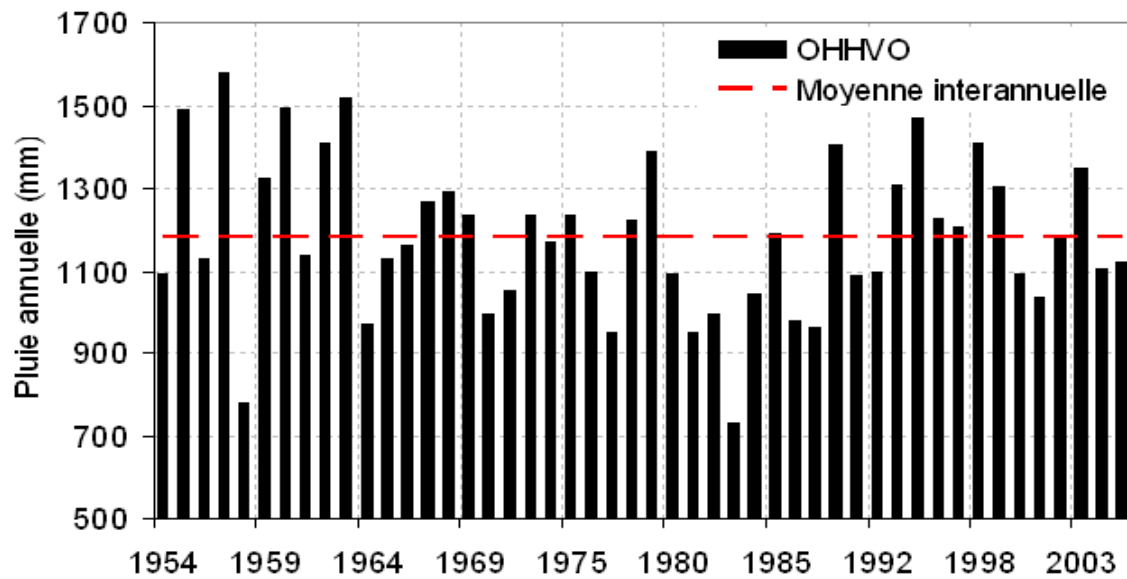


FIG. 3.2: Pluviométrie annuelle du site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2005

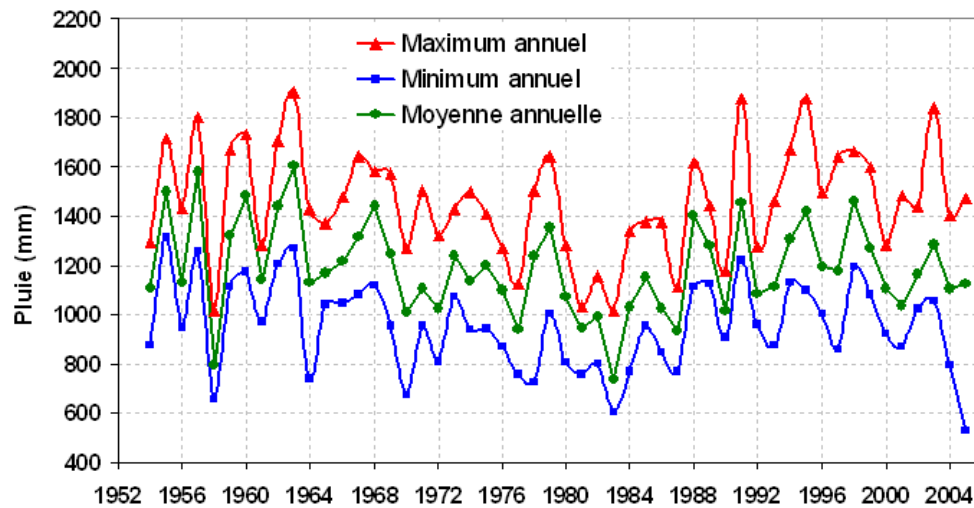


FIG. 3.3: Évolution des extrêmes du cumul pluviométrique annuel ponctuel et de la pluviométrie moyenne annuelle sur le site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2005

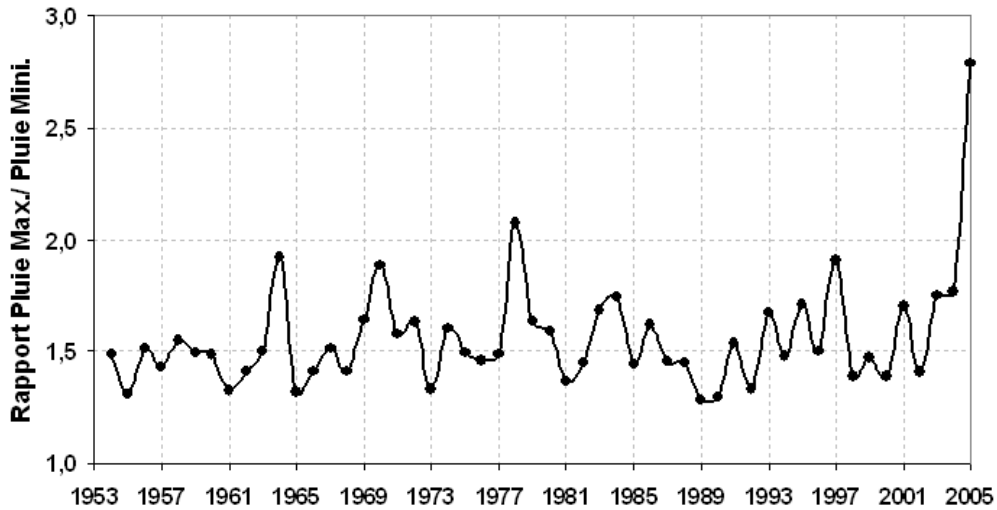


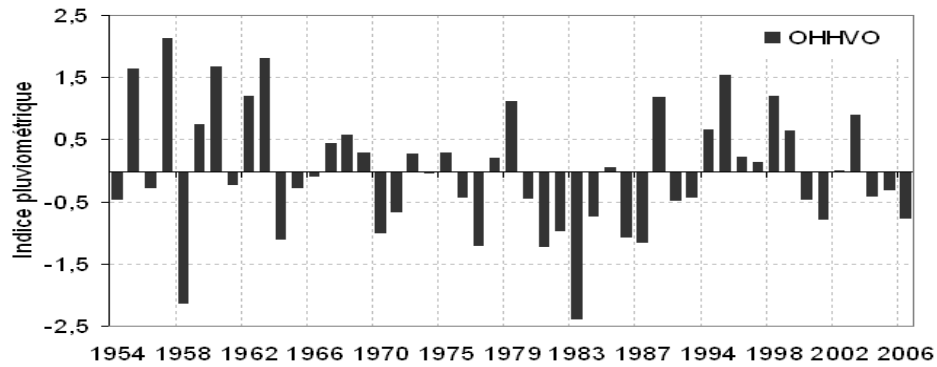
FIG. 3.4: Évolution du rapport entre le cumul annuel maximal ponctuel et le cumul annuel minimal ponctuel sur le site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2005

Pour caractériser la nature déficitaire ou excédentaire d'une saison, nous avons déterminé l'indice de précipitation, défini (Eq. 3.1) comme étant l'écart à la moyenne, normalisé par l'écart type sur la série de 1954-2006.

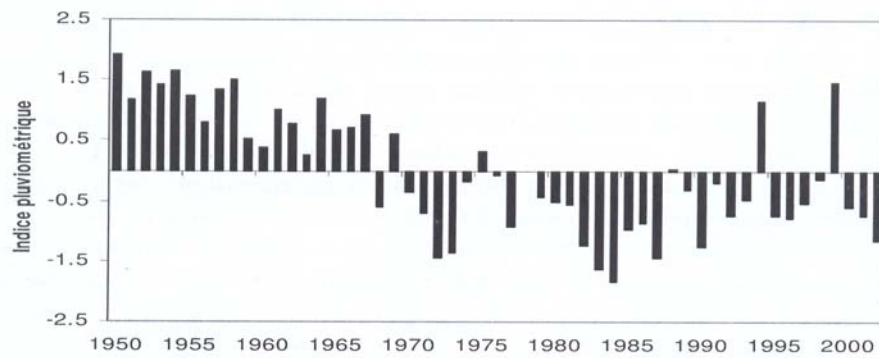
$$I(i) = \frac{P_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_j}{\sigma} \quad (3.1)$$

avec  $P_i$  la pluviométrie moyenne de l'année  $i$  obtenue par krigeage sur la zone,  $N$  le nombre total d'années considérées, et  $\sigma$  l'écart type associé à la série des moyennes  $P_i$ . Notons que l'estimation des pluies moyennes par krigeage a été réalisée avec le variogramme climatologique de type exponentiel avec une pépite de 0.2, un palier à 1.2 et une portée de 90 km initialement déterminé par Varado (2004).

Le régime pluviométrique est caractérisé par une forte variabilité des précipitations sur l'ensemble de la période (FIG. 3.5.a). Contrairement au Sahel où on observe une franche alternance de longues périodes sèches et humides comme l'indique la figure 3.5.b (Balme, 2004), sur l'OHHVO cette alternance est plutôt bruitée par des fluctuations interannuelles. Toutefois, la figure 3.5.a met en évidence deux périodes très différentes : 1980-1987 particulièrement sèche et 1994-1999 particulièrement humide. Ce qui montre que la région soudanienne n'est pas affectée de la même façon que le Sahel par la variabilité pluviométrique régionale. Les huit dernières années présentent seulement deux années humides (1999 et 2003) et six années sèches (2000, 2001, 2002, 2004, 2005 et 2006). L'année 2000 semble être le début d'une phase sèche.



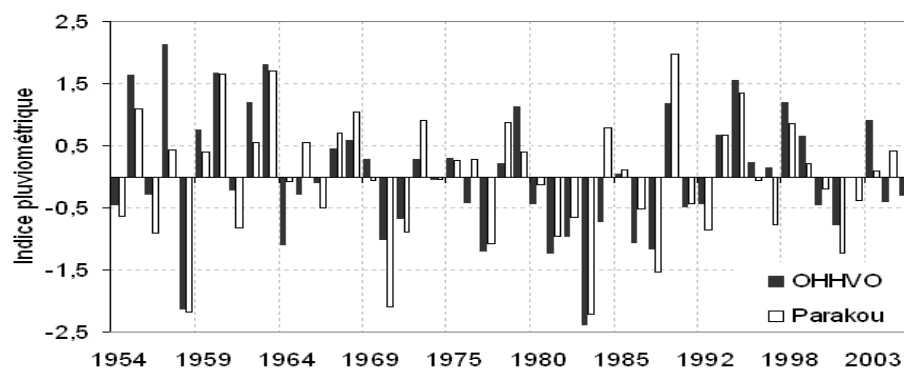
(a) Indice pluviométrique du site AMMA-CATCH Bénin de 1954 à 2006



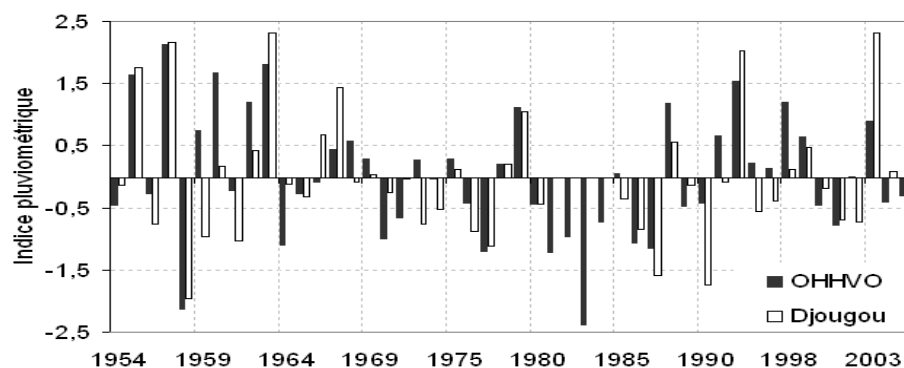
(b) Indice pluviométrique du Sahel de 1950 à 2002 (d'après Balme, 2004)

FIG. 3.5: Indices pluviométriques du site AMMA-CATCH Bénin et du Sahel. Sur l'OHHVO les indices sont représentés avec une moyenne de 1182 mm et un écart type de 188 mm tandis qu'au Sahel, ils sont représentés avec une moyenne de 470 mm et un écart type de 80 mm.

La comparaison des indices pluviométriques déterminés pour l'OHHVO avec ceux de la station synoptique de Parakou à l'Est ( $2.6^{\circ}\text{E}$ ,  $9.4^{\circ}\text{N}$ ) ou de la station de Djougou à l'Ouest ( $1.7^{\circ}\text{E}$ ,  $9.7^{\circ}\text{N}$ ) suggère de rester prudent quant au caractère sec (déficitaire) ou humide (excédentaire) d'une année qui dépend de l'échelle spatiale considérée. Une année excédentaire à l'échelle de la zone peut se révéler déficitaire à l'échelle locale et vice-versa. En effet, durant les deux dernières décennies (Fig. 3.6.a), les années 1984 et 2004, déficitaires à l'échelle de la région sont excédentaires à la station de Parakou. Par contre, la saison 1997 moyennement humide sur l'OHHVO est très déficitaire à Parakou. De même, les années 1959, 1973 1996 et 1997 excédentaires à l'échelle du site AMMA-CATCH Bénin sont déficitaires à la station de Djougou (FIG. 3.6.b) tandis que, au cours des cinq dernières années, les saisons 2004 et 2005 déficitaires à l'échelle de l'OHHVO sont excédentaires à la station de Djougou.



(a) Comparaison de l'indice pluviométrique du site AMMA-CATCH Bénin avec celui de la station de Parakou



(b) Comparaison de l'indice pluviométrique du site AMMA-CATCH Bénin avec celui de la station de Djougou

FIG. 3.6: Comparaison de l'indice pluviométrique du site AMMA-CATCH Bénin (barres pleines) et des stations de Parakou et Djougou (barres creuses). Les indices sont représentés de 1954 à 2005. Pour la station synoptique de Parakou, la moyenne interannuelle sur cette période est de 1152 mm et l'écart type est de 229 mm. A la station de Djougou, la moyenne vaut 1324 mm et l'écart type est de 220 mm pour la même période.

L'analyse de l'indice pluviométrique de la station de Niamey Aéroport (FIG. 3.7), au regard de l'indice pluviométrique régional sahélien (FIG. 3.5.b) permet de montrer que tout comme sur l'OHHVO, à l'échelle locale, la variabilité du signal pluviométrique est également influencée par une fluctuation interannuelle dans le contexte sahélien. Par exemple, l'année 1998 légèrement déficitaire à l'échelle du Sahel est très pluvieuse à Niamey Aéroport et l'année 1999, très pluvieuse à l'échelle de l'ensemble du Sahel n'est que légèrement humide dans la région de Niamey.

Ainsi, en région soudanienne comme au Sahel, il existe une extrême variabilité pluviométrique selon l'échelle spatiale considérée.

En se plaçant à l'échelle locale uniquement, on observe que l'amplitude du déficit ou de l'excédent pluviométrique dépend du lieu comme l'indique la figure 3.8 où nous comparons

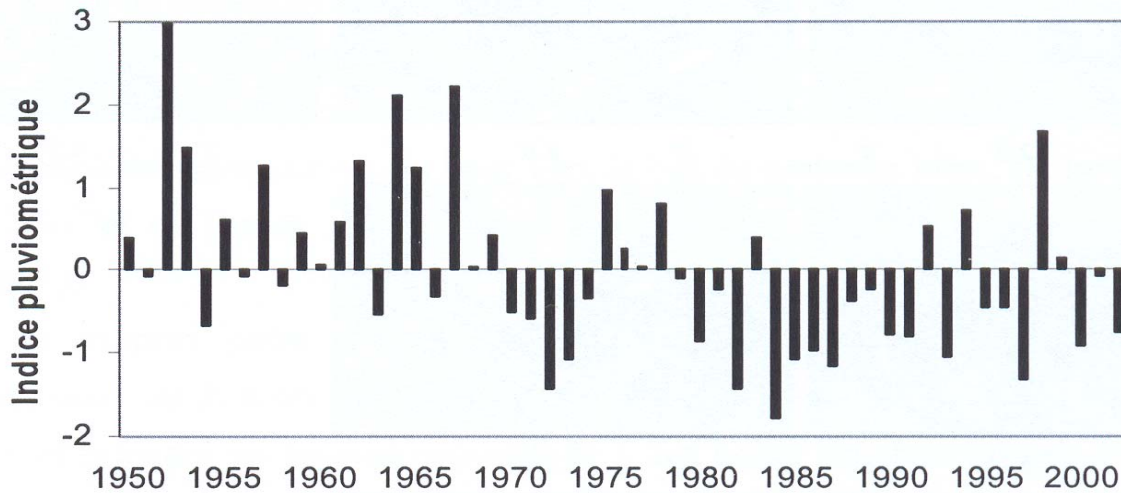


FIG. 3.7: Indice pluviométrique de la station de Niamey Aéroport (13.48°N, 2.18°E) de 1950 à 2002. La moyenne interannuelle vaut 550 mm et l'écart type 145 mm.

les indices pluviométriques des deux stations précédemment considérées, dont l'une est située à l'Est du domaine d'étude (Parakou) et l'autre à l'Ouest (Djougou). Par exemple, en 1990 (Année déficitaire sur la région du site AMMA-CATCH Bénin), le déficit est de 8% à la station de Parakou tandis qu'il est de 29% à la station de Djougou. Par contre, en 2003 (année excédentaire) l'excédent n'est que de 2% à Parakou contre un excédent de 39% à la station de Djougou.

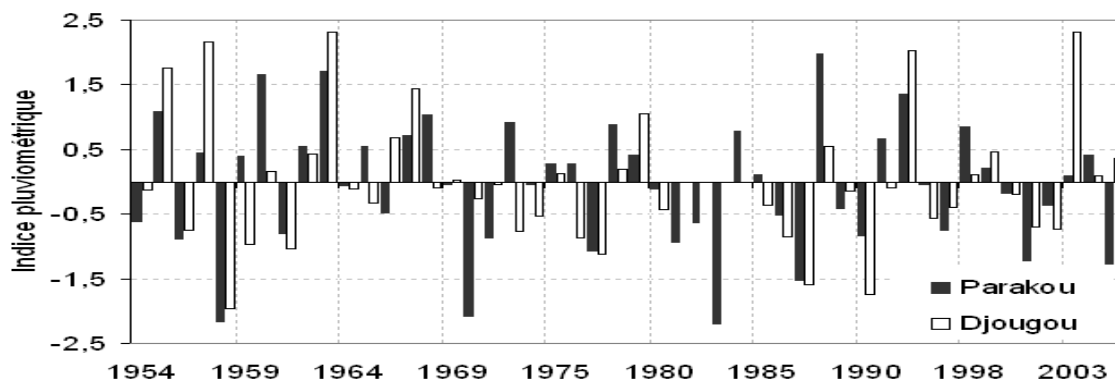


FIG. 3.8: Comparaison des indices pluviométriques des stations de Parakou et Djougou sur l'OHHVO.

Le cycle saisonnier du cumul moyen mensuel (FIG. 3.9) montre un régime unimodal avec le pic qui est toujours atteint en août, indépendamment du caractère sec ou humide de la période considérée. La figure 3.9 montre également que les années sèches (1970-1989) se caractérisent par un déficit pluviométrique prononcé en fin juin ; c'est à dire au moment du

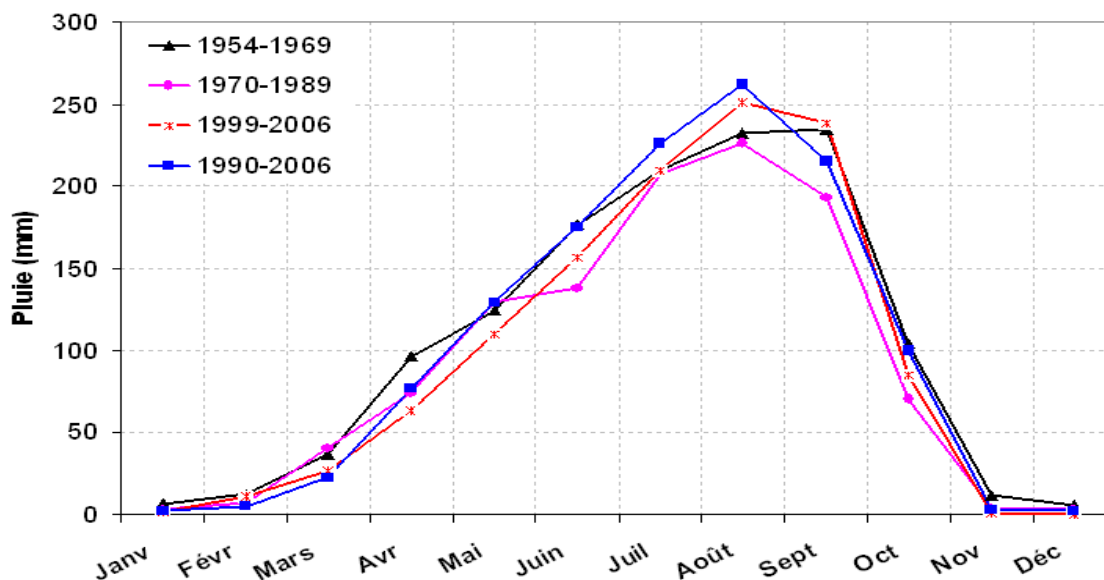


FIG. 3.9: Pluviosité moyenne mensuelle (mm) sur l'OHHVO pour les sous-périodes :1954-1969 ; 1970-1989 ; 1990-2006 et la période récente 1999-2006.

saut de mousson. Concernant l'installation des pluies, on constate que pour les années 1970 à 1989, elles s'installent pratiquement au même moment que pendant les années avant 1970. En revanche, quant au retrait de la mousson, il semble s'effectuer précocement au cours de la période 1970-1989 par rapport aux années avant 1970. Ce résultat mérite d'être vérifié à une échelle temporelle plus fine. Nous l'aborderons dans la section 3.3.

### 3.2.2 Analyse de la variabilité du cumul annuel

Pour explorer les paramètres qui modulent la variabilité du cumul annuel en un point du domaine d'observation, nous avons analysé en chacune des 12 stations considérées sur le réseau RPN, les liaisons éventuelles entre l'indice du cumul annuel et les indices de Lamb des paramètres suivants (FIG. 3.10) :

- la pluie moyenne journalière ;
- le nombre de jours de pluie dans l'année ;
- le cumul maximum journalier ;
- la pluie moyenne par jour pluvieux ;
- la séquence sèche la plus longue considérée au cours de la période allant du 15 mars au 26 juin (c'est-à-dire avant le "saut de mousson" dont nous parlerons plus loin à la section 3.3 en page 41) ; puis au cours de la période allant du 1<sup>er</sup> juillet au 30 septembre.

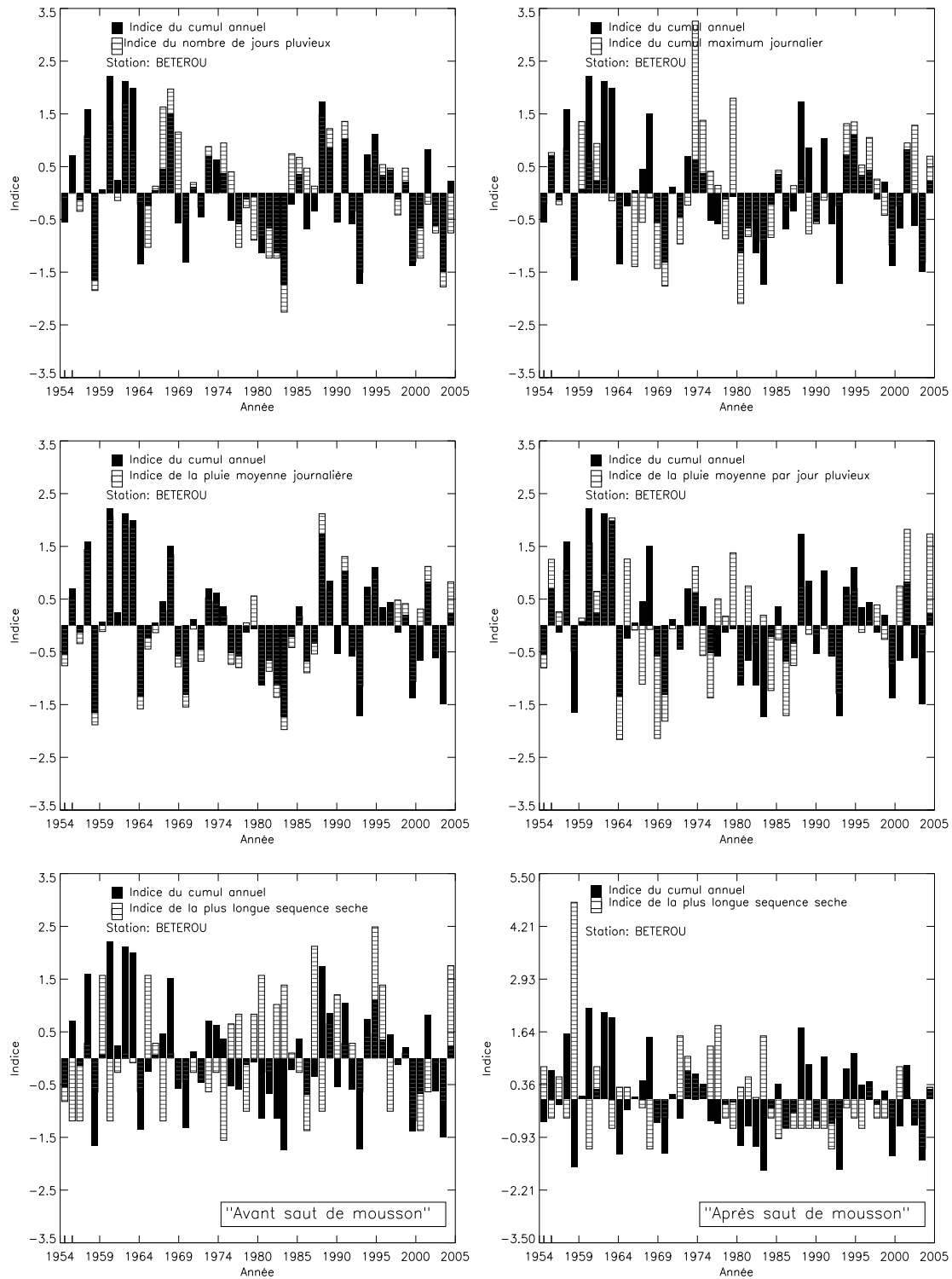


FIG. 3.10: Indice de Lamb des paramètres considérés à la station de Bétérou.

On constate sur toutes les stations que l'indice de la pluie moyenne journalière est très bien corrélé à celui du cumul annuel. Ce résultat est normal puisque la pluie moyenne journalière à une station est le rapport du cumul annuel au nombre de jours d'observations qui est de 365 jours si la station n'est pas tombée en panne au cours de l'année. Ces deux variables sont donc corrélées ; d'où la corrélation entre leurs indices.

Par contre, comme l'illustre la figure 3.11 aux stations de Bétérou et Bembéréké où l'indice de la plus longue séquence sèche représenté est celui de la période après le saut de mousson, un résultat important à noter ici concerne la corrélation entre l'indice du cumul annuel et celui du nombre de jours pluvieux qui rappelle le nombre de systèmes pluvieux qui sont passés au dessus de la station et qui ont produit une certaine quantité d'eau au sol. En dehors des stations de Parakou et Kouandé où la corrélation est très peu significative, on observe sur toutes les autres stations des coefficients de corrélation variant entre 0.6 et 0.8.

Concernant la plus longue séquence sèche, que ce soit avant ou après le saut de mousson, on ne note aucune corrélation significative entre son indice et celui du cumul annuel. De même, les maxima journaliers ne semblent pas influencer les totaux annuels. Par ailleurs, en dehors des stations de Kouandé et Ina puis dans une certaine mesure, les stations de Bétérou et Parakou, il n'existe pas une corrélation significative entre la pluie moyenne par jour pluvieux et le cumul annuel (FIG. 3.12).

En somme, la variabilité interannuelle des totaux annuels s'explique mieux par l'occurrence des systèmes pluvieux que par leur pluviosité.

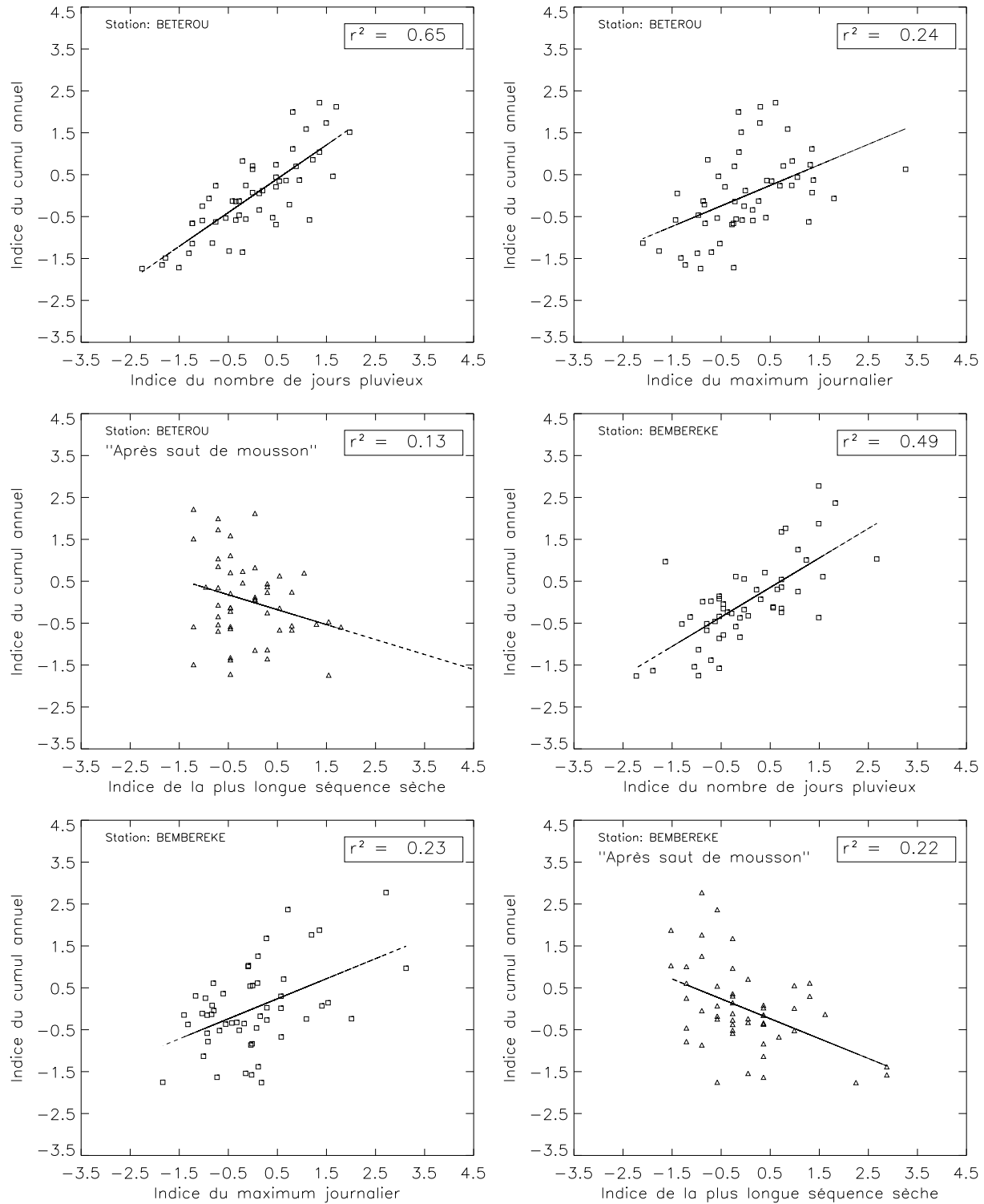


FIG. 3.11: Corrélation entre l'indice du cumul annuel et l'indice de quelques paramètres aux stations de Bétérou et Bembéréké. On a représenté l'indice de la plus longue séquence sèche après le saut de mousson.

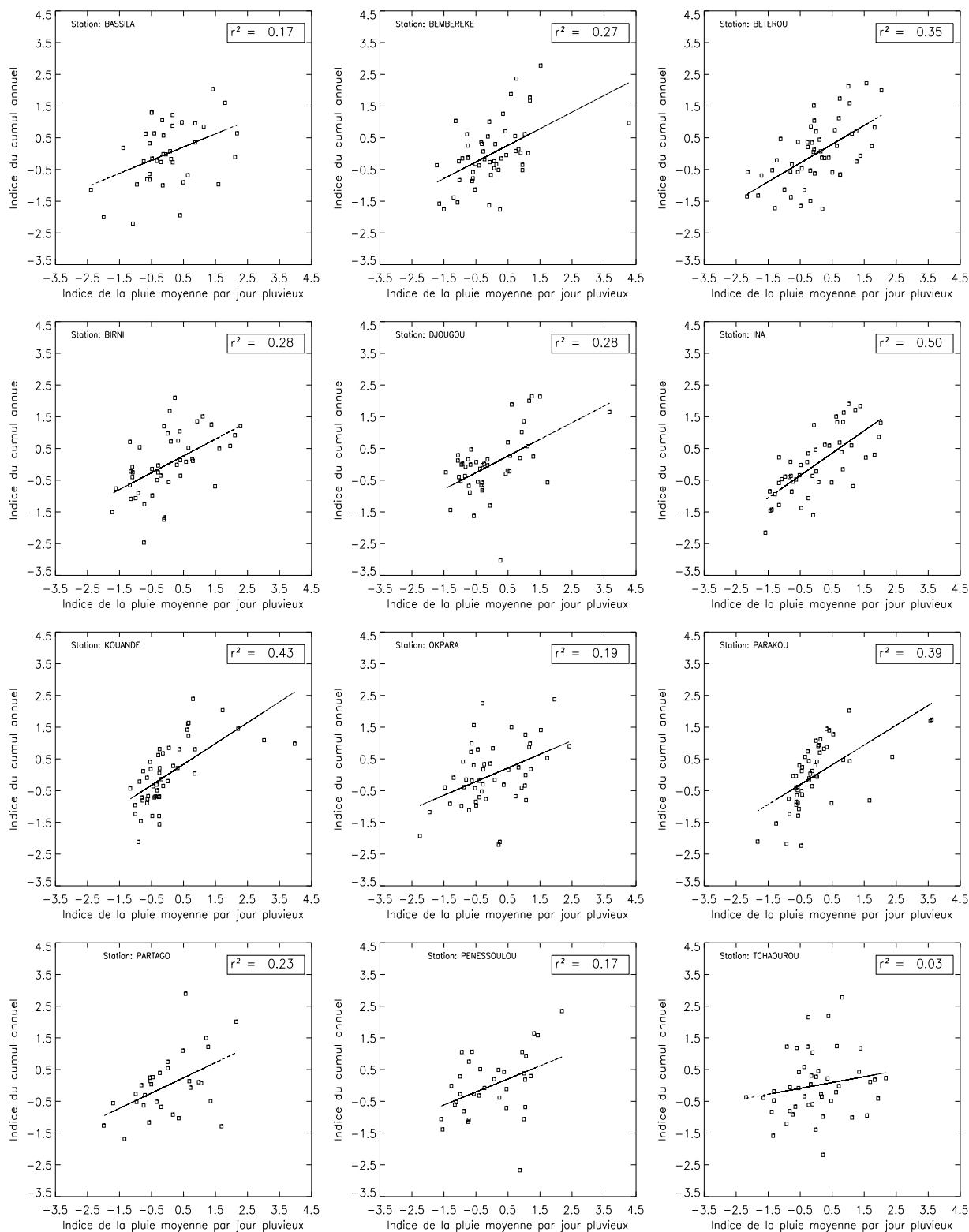


FIG. 3.12: Indice du cumul annuel en fonction de l'indice de la pluie moyenne par jour pluvieux.

### 3.2.3 La variabilité récente : 1999 - 2006

L'analyse des cumuls annuels observés sur la période récente (1999-2006) à l'aide du réseau dense AMMA-CATCH montre une extrême variabilité interannuelle sur l'ensemble de la zone d'étude. La pluviométrie moyenne interannuelle est de 1170 mm avec un écart type associé de 117 mm sur cette période ; soit un coefficient de variation de 10%. Le minimum observé sur l'ensemble de la période en une station du domaine d'étude est de 528 mm (observé à la station de Goubono). Le maximum est de 1839 mm et est observé à la station de Djougou. Le tableau 3.1 et la figure 3.13 montrent les fluctuations du signal pluviométrique saisonnier et de ses extremums. On remarque dans le tableau 3.1 que le rapport entre le maximum et le minimum saisonnier semble être de 3 pour les années humides et de 2 pour les années sèches. L'écart entre le maximum et le minimum est plus élevé au cours des saisons excédentaires. En comparant les valeurs du rapport entre le maximum et le minimum ponctuel annuel déterminé avec le réseau AMMA-CATCH et celles déterminées avec le réseau RPN (Cf. figure 3.4 à la page 30), on constate une légère augmentation des valeurs déterminées avec le réseau AMMA-CATCH par rapport à celles déterminées avec le réseau RPN.

TAB. 3.1: Quelques statistiques sur les cumuls saisonniers

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Moyenne ( $P$ )	1167	994	984	1016	1286	1105	1122	1036
Écart type ( $\sigma$ )	339	148	110	161	240	139	185	132
Maximum ( $P_{max}$ )	1596	1283	1479	1437	<b>1839</b>	1403	1471	1356
Minimum ( $P_{min}$ )	566	747	679	887	598	793	<b>528</b>	765
$P_{max}/P_{min}$	2.8	1.7	2.2	1.6	3.1	1.8	2.8	1.8
$(P_{max} - P_{min})/P$	0.88	0.54	0.8	0.54	0.97	0.55	0.84	0.57

L'organisation spatiale des extrêmes saisonniers montre (FIG. 3.14) que le maximum saisonnier se réalise plus fréquemment au Nord-Ouest du domaine d'étude. On a cherché à savoir si les stations où le maximum s'observe correspondent aux stations qui ont le maximum de nombre d'événements définis au sens "spatial" plus loin au chapitre 4 ( voir page 65). Mais on a constaté que les stations où sont réalisés les maxima saisonniers ne correspondent pas aux stations ayant le plus grand nombre d'événements. Par conséquent, on peut en déduire, a priori, que les maxima observés au Nord-Ouest sont dûs à la convection locale puisque, comme on le verra à la section 4.4.3 du chapitre 4 (voir page 106), la pluie moyenne par événement ne dépend pas de la position des stations. En ce qui concerne les minima saisonniers, ils ne présentent aucune organisation spatiale particulière. Car au

cours des huit saisons, le minimum annuel a été observé 4 fois à l'Est et 4 fois aussi à l'Ouest.

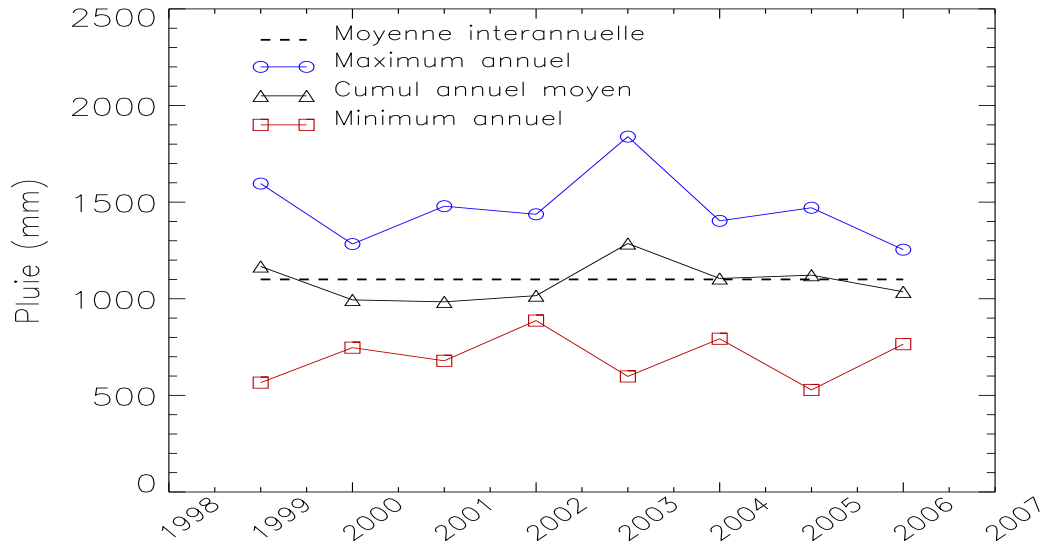


FIG. 3.13: Pluviométries moyennes annuelles des saisons 1999 à 2006 et extrêmes saisonniers enregistrés sur l'OHHVO. Les extrêmes saisonniers sont déterminés sur les stations ayant plus de 90% d'observations sur la saison.

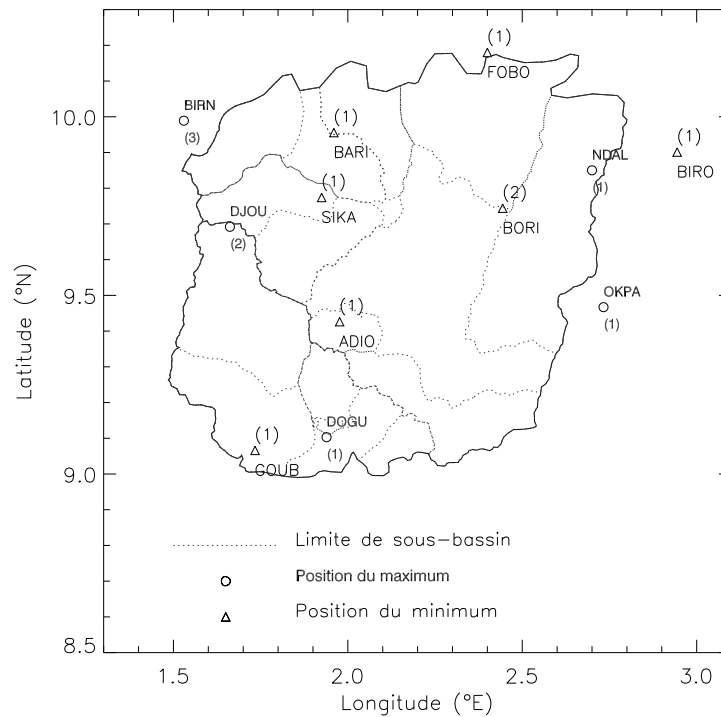


FIG. 3.14: Positions des extrêmes saisonniers. En gras, ce sont les positions du maximum. Le chiffre entre parenthèses indique le nombre de fois que l'extremum est observé à la station considérée.

### 3.3 Cycle saisonnier des précipitations

Nous abordons l'analyse du cycle saisonnier des précipitations à travers deux échelles spatiales : dans un premier temps, l'ensemble de la zone d'étude qui permet d'avoir une vision sur la variabilité à méso-échelle, puis l'échelle locale (échelle ponctuelle) qui permet d'aborder une analyse plus fine du cycle saisonnier des précipitations. Pour cette dernière échelle, nous avons considéré la station synoptique de Parakou qui dispose d'une série d'observations très longue de 1921 à 2005. Les pluies moyennes journalières ont été déterminées en considérant dans un premier temps des fenêtres glissantes sur 3 jours, 5 jours, 7 jours et 11 jours (FIG. 3.15). Puis, pour toute la suite nous avons considéré la fenêtre glissante sur 11 jours. Dans ce cas, la valeur affectée au jour  $J$  est la moyenne des valeurs journalières de  $J-5$  à  $J+5$ .

#### *A l'échelle du site AMMA-CATCH Bénin*

La figure 3.15 montre une forte variabilité remarquable sur toutes les fenêtres glissantes considérées. L'évolution de la pluie moyenne journalière peut être résumée en quatre phases distinctes, visibles sur toutes les fenêtres considérées. La description suivante concerne la fenêtre glissante de 11 jours.

Au cours de la première phase, on assiste à la montée progressive de la lame d'eau de mi-mars à début mai. Puis entre le 2 mai et le 24 mai, la lame d'eau semble atteindre un palier à 4 mm/jour avant de remonter vers la mi-juin où elle atteint un premier pic (Pic1 de 6 mm/jour atteint le 17 juin). Ensuite, la lame décroît vers un premier minimum (5 mm/jour) atteint le 27 juin. Cette première phase constitue la pré-installation de la mousson (ou "pre-onset").

A partir du 27 juin, les pluies augmentent brusquement vers un deuxième pic (Pic2 de 8 mm/jour) qui est atteint le 24 juillet et diminuent rapidement vers un second minimum de 6.5 mm/jour (atteint le 05 août) : c'est la deuxième phase (FIG. 3.15). Ce saut brusque de la pluviométrie journalière le 27 juin, également observable plus loin à la page 51 sur le signal du nombre de jour pluvieux (FIG. 3.23), correspond au phénomène de saut de mousson décrit par Sultan et Janicot (2003). On trouve ici un écart de 3 jours entre la date du saut de mousson et la date moyenne déterminée par Sultan et Janicot (2003) qui est le 24 juin. Mais la date déterminée ici reste dans l'intervalle défini par l'écart type de 8 jours indiqué par Sultan et Janicot (2003).

Au cours de la troisième phase, on observe une nouvelle remontée rapide de la lame d'eau à partir du 05 août vers son troisième pic (Pic3 de 8.8 mm/jour) qui est atteint le 27 août. La deuxième phase et la troisième phase constituent la période où la mousson est établie (ou "onset").

La dernière phase est caractérisée par une chute brusque et rapide de la lame d'eau à partir de mi-septembre jusque vers la fin du mois d'octobre. Cette phase correspond au retrait de la mousson.

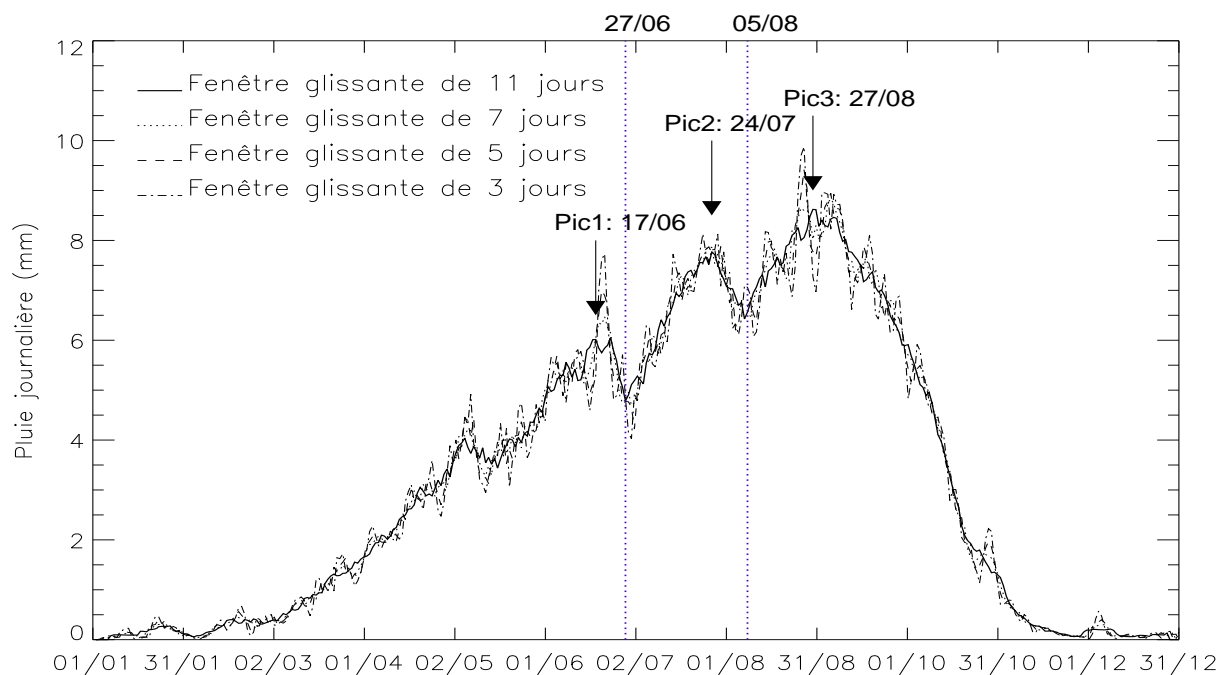


FIG. 3.15: Cycle saisonnier moyen des pluies observées sur l'OHHVO de 1954 à 2005. Les moyennes sont calculées sur des fenêtres glissantes de 3 jours, 5 jours, 7 jours et 11 jours.

Pour analyser les modifications du cycle saisonnier, nous avons considéré dans un premier temps, deux composites : un composite sec constitué des saisons déficitaires au regard de l'indice pluviométrique, et un composite humide constitué des saisons excédentaires. Sur la figure 3.16 montrant les cycles saisonniers des deux composites considérés, nous avons porté, à titre comparatif, la saison 2006 que nous analyserons plus en détail plus loin à la page 46. Cette figure 3.16 montre que la dynamique saisonnière des années humides et sèches est pratiquement identique car les dates des trois pics de pluies ainsi que la date du saut de mousson sont identiques. Mais le retrait de la mousson est plus précoce pour le composite sec. Par ailleurs, on constate sur cette figure que le déficit pluviométrique se creuse surtout dans la seconde partie de la saison des pluies ; c'est-à-dire après le saut de mousson.

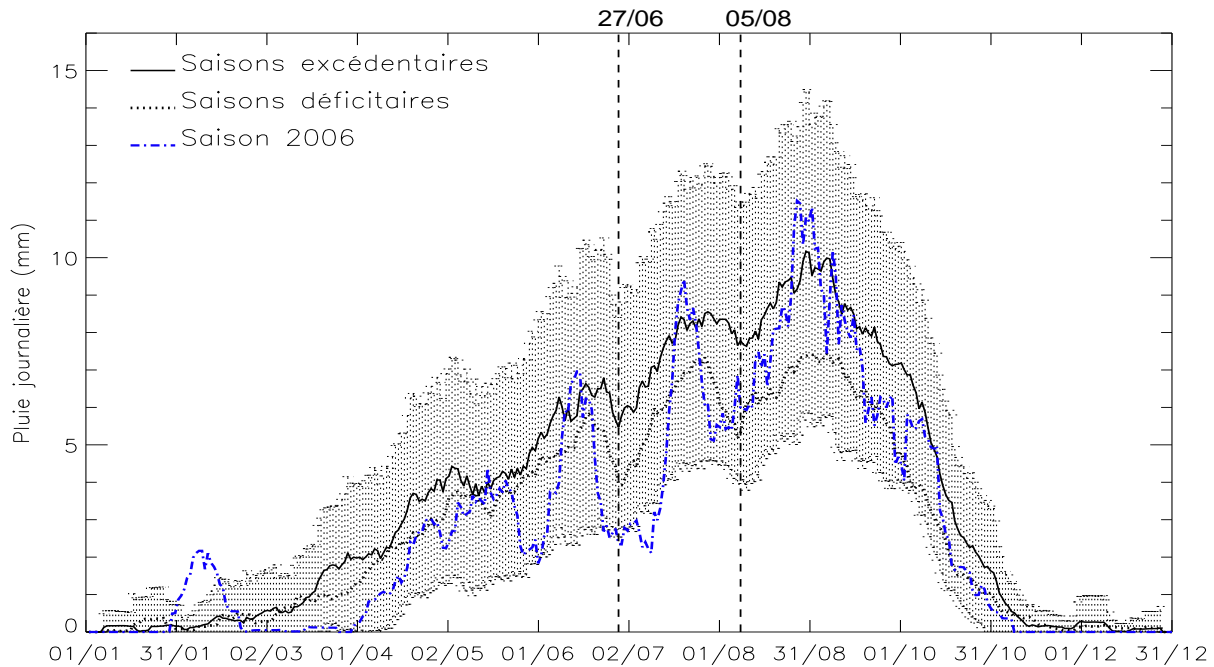


FIG. 3.16: Cycle saisonnier moyen des composites sec et humide sur la région AMMA-CATCH Bénin pour la période 1954-2005. On a superposé le cycle saisonnier de l'année 2006 à titre comparatif par rapport aux saisons déficitaires et aux saisons excédentaires. Précisons que les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. Les barres verticales en pointillés représentent les écarts types du composite humide. On a marqué en dessus la date du saut de mousson et la date du second minimum

Par la suite, nous avons considéré les sous-périodes avant et après 1970 par rapport auxquelles on situe la période d'étude 1999-2005. Sur la figure 3.17, où on a fait figurer la date du saut de mousson et la date du second minimum, les trois signaux montrent qu'on retrouve bien les quatre phases précédemment décrites avec le saut de mousson autour du 27 juin. Le signal de la période 1999-2005 semble identique à celui de la période 1970-2005, sauf deux anomalies fortes, présentes en mai et fin juin et une faible anomalie vers fin octobre. En mai, contrairement à la période 1970-2005 où le signal pluviométrique semble se stabiliser autour de 4 mm/jour, on observe une chute brusque du signal de la période 1999-2005 de 2 mm/jour. Par contre vers fin juin, on assiste plutôt à la montée brusque du signal 1999-2005 à 7 mm/jour pendant que le signal de 1970-2005 semble stable à 5 mm/jour. Vers la fin d'octobre, l'anomalie observée traduit un retrait beaucoup plus précoce de la mousson sur la période 1999-2005 par rapport à 1954-1969 et 1970-2005. Des tests d'identification de la saison qui serait éventuellement à la base de ces anomalies ont été faits. Mais on a constaté que ces anomalies ne sont pas liées à une saison particulière.

Les saisons après 1970 se caractérisent par non seulement une chute du troisième pic mais également son décalage d'environ 12 jours. Ce qui tend à entraîner la fin précoce de la saison

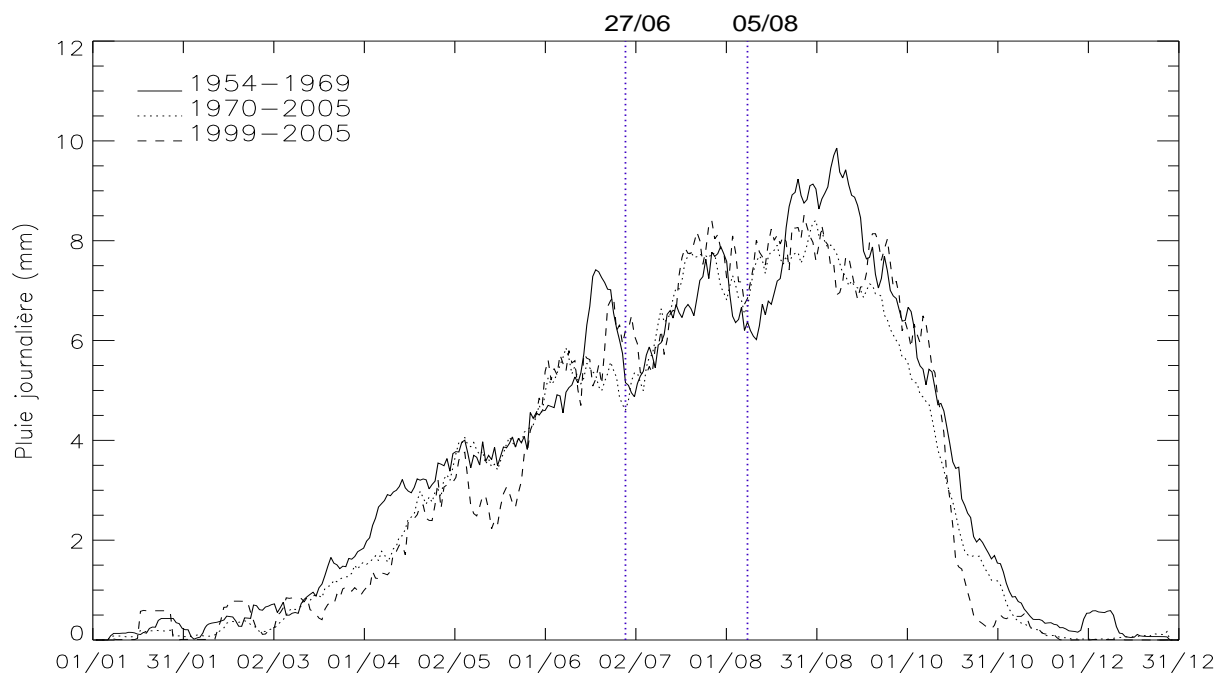


FIG. 3.17: Cycle saisonnier moyen des saisons avant et après 1970 sur la région AMMA-CATCH Bénin et cycle saisonnier moyen de la période récente 1999-2005. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. On a marqué en dessus la date du saut de mousson et la date du second minimum

des pluies. Notons que ce résultat confirme la tendance mise en évidence à l'échelle mensuelle dans la section 3.2.1 (cf. FIG. 3.9 à la page 34). Ce fait a été souligné également par Lelay et Galle (2005) qui ont analysé les modifications du cycle saisonnier sur la période 1954-2002 en constituant deux composites humides (les sept saisons les plus humides avant 1970 : P1H puis après 1970 : P2H) et deux composites secs (les sept saisons les plus sèches avant 1970 : P1S puis après 1970 : P2S). Ils ont noté qu'après 1970, que ce soit pour le composite sec ou le composite humide, il apparaît un décalage du troisième pic et de la fin de la saison d'une quinzaine de jours. Nous avons repris ici les composites qu'ils ont considérés sur la période 1954-2002, en rajoutant les données des saisons 2003, 2004 et 2005. La figure 3.18 montre que :

- concernant les composites humides (P1H et P2H), il existe un décalage de 9 jours du premier pic qui est atteint plus tôt sur la période après 1970 (le 08 juin au lieu du 17 juin). De même, le deuxième et le troisième pic sont atteints environ 10 jours plus tôt sur la période après 1970 par rapport aux années avant 1970. Ainsi, le troisième pic est atteint le 25 août (pour P2H) au lieu du 04 septembre ;

- pour les composites secs (P1S et P2S), la date du premier pic semble être identique, mais avec une baisse notable du pic du composite P2S. Le deuxième pic et le troisième pic sont systématiquement décalés de 8 jours environ entre P1S et P2S ;
- le retrait de la mousson est plus précoce à partir de 1970, que le composite considéré soit sec ou humide, mais plus marqué pour le composite sec.
- l'installation de la saison est tardive après 1970 surtout pour le composite humide ; ce qui tend à raccourcir la saison des pluies vu le retrait précoce de la mousson en fin de saison.

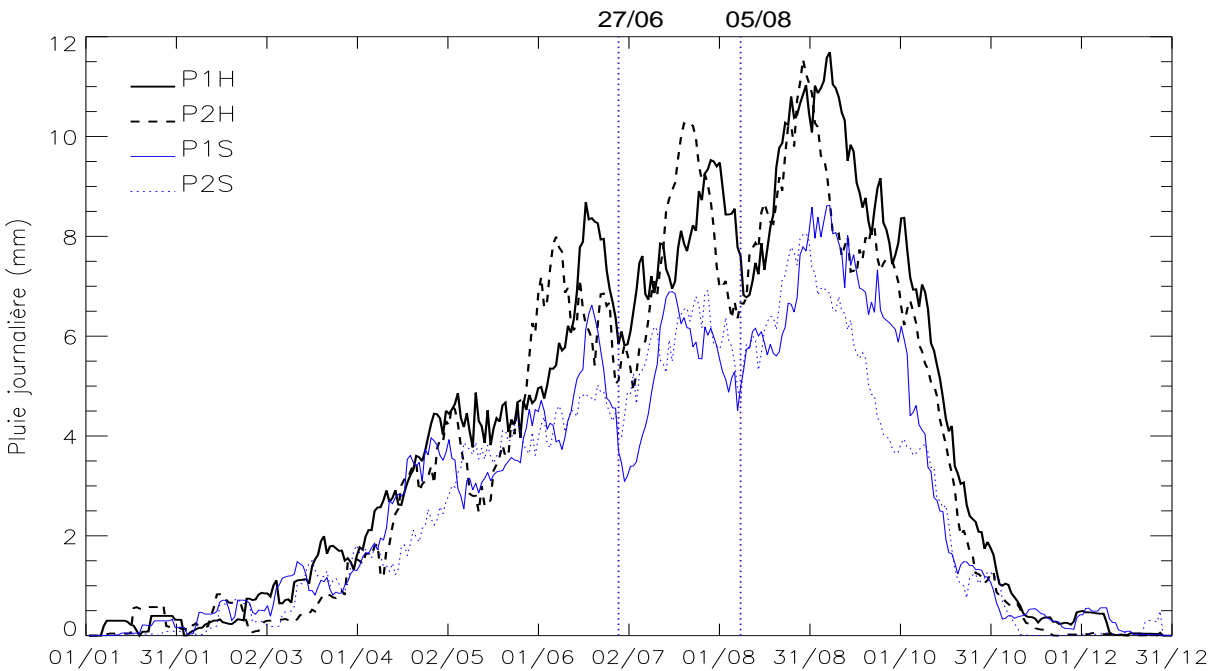


FIG. 3.18: Cycle saisonnier moyen des précipitations pour les composites d'années humides (P1H : avant 1970 et P2H : après 1970) et sèches (P1S : avant 1970 et P2S : après 1970). Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours. On a marqué en dessus les dates du saut de mousson et du second minimum

Ces résultats confirment que les années après 1970 connaissent un décalage du pic de précipitation et de la fin de la saison des pluies. Ce retrait précoce de la mousson semble se poursuivre de nos jours comme le montre la figure 3.17 et plus marqué pour les saisons déficitaires. Ce phénomène a été également souligné pour les pluies au Sahel par Balme (2004). En effet, en analysant la variabilité interannuelle du régime pluviométrique sahélien sur la période 1990 - 2002, Balme, 2004 montre que les années sèches se distinguent des années humides par un déficit pluviométrique très marqué en coeur de saison des pluies et un retrait plus rapide de la mousson. Ces traits caractéristiques de la climatologie sahélienne sont confirmés par l'analyse de la longue série des pluies journalières de Niamey Aéroport

(de 1950 à 2002). Les années sèches se caractérisent donc dans les régions soudanienne et sahélienne par l'effet combiné de la chute des pics de précipitation entraînant un déficit pluviométrique important après le saut de mousson et du retrait précoce de la mousson surtout au cours de la période après 1970.

#### *La saison 2006 : Une année particulière*

La saison 2006 est l'année qui a connu des observations intensives. Ainsi, les réseaux d'observations ont été renforcés par le déploiement de nouveaux appareils de mesures. La densité du réseau pluviographique a sensiblement augmenté. Le cumul pluviométrique annuel est de 1036 mm. Nous n'avons pas pu avoir les données pluviométriques des stations gérées par la DMN (réseau RPN). Par conséquent, pour la saison 2006, nous utilisons ici les données du réseau AMMA-CATCH pour situer la saison par rapport à la période de référence définie plus haut. Au regard de son index pluviométrique, la saison 2006 est déficitaire. La dynamique d'installation de la mousson est toute particulière en 2006. Elle est différente de celle des saisons excédentaires et aussi de celle des saisons déficitaires. Sur la figure 3.16 à la page 43 en effet, on observe d'abord quelques pluies dans la première quinzaine de février puis un arrêt, et le démarrage réel de la saison qui vient très tardivement avec les premières pluies significatives à partir du 15 avril. Ceci est une particularité car le petit pic de pluie (2 mm par jour) observé début février n'est pas habituel sur l'observatoire comme on peut le constater sur la figure 3.16.

On retrouve les trois pics caractéristiques des précipitations de la région AMMA-CATCH Bénin. Mais les dates de ces pics ne sont pas identiques à celles déterminées plus haut. En effet, seule la date du dernier pic de pluie (27 août) reste inchangée. Les deux premiers pics de pluie interviennent plus précocement, respectivement le 13 juin (au lieu du 17 juin), pour le premier pic et le 18 juillet (au lieu du 24 juillet), pour le deuxième pic. Le signal pluviométrique semble se stabiliser à 3 mm/jour entre le 24 juin et le 7 juillet. Par ailleurs, le saut de mousson intervient tardivement le 7 juillet ; soit avec 13 jours d'écart par rapport à la date moyenne (24 juin) déterminée par Sultan et Janicot (2003). Cette date sort donc de l'intervalle de 7 jours déterminé par Sultan et Janicot (2003) sur la période 1968-2002.

Quant au retrait de la mousson, il s'effectue précocement comme pendant les saisons déficitaires. Mais, on assiste (FIG. 3.16) à l'arrêt brusque des précipitations à partir du 31 octobre alors qu'après cette date on observe encore généralement, quelques pluies aussi bien pendant les saisons humides que pendant les saisons déficitaires.

En somme, la saison 2006 présente une dynamique toute particulière qu'il importe d'analyser également à l'échelle de l'événement pluvieux.

### *A l'échelle locale : Station synoptique de Parakou*

La station synoptique de Parakou dispose, comme nous le disions plus haut, d'une longue série d'observations journalières à partir de laquelle nous analysons ici le cycle saisonnier des précipitations à l'échelle ponctuelle. En effet, cette série homogène nous donne la possibilité de comparer le cycle saisonnier des précipitations sur différentes périodes : notamment les périodes "sèches" et les périodes "humides". Nous avons également ici l'occasion de confirmer ou infirmer à l'échelle ponctuelle, les résultats précédemment obtenus à l'échelle du domaine d'étude.

On rappelle que sur toutes les figures de ce paragraphe, nous avons pointé d'un trait vertical en pointillés, la date du saut de mousson déterminée plus haut, à l'échelle de l'ensemble de la région AMMA-CATCH Bénin (le 27 juin). Nous rappelons par ailleurs que n'ayant pas pu obtenir les données de la saison 2006 à la station DMN synoptique de Parakou, et en raison de la panne toute l'année de la station AMMA-CATCH de Parakou, nous n'avons pas pu situer la saison 2006 par rapport aux périodes antérieures à Parakou.

Les signaux correspondant au cumul journalier déterminé sur une fenêtre glissante de 11 jours pour les périodes avant 1970 (1954-1969) et après 1970 (1970-2005) sont représentés sur la figure 3.19 qui situe également la période récente 1999-2005 par rapport à la période avant 1970 puis après 1970.

On constate que la préinstallation de la mousson s'effectue de façon assez similaire, quelle que soit la période considérée, à la différence que le premier pic de pluie est moins marqué pour les périodes après 1970 (6mm/jour) par rapport à la période avant 1970 (8mm/jour). Les trois pics de pluie observés à l'échelle du site AMMA-CATCH Bénin se retrouvent également ici mais on note, pour la période 1999-2005, un décalage des deux derniers pics qui sont atteints plus tôt. Les pluies de cette période semblent se stabiliser autour d'un palier à 7mm/jour pendant le mois de septembre avant de décroître très rapidement en octobre. Le saut de mousson semble être décalé ici de six jours et se produit plus tard vers le 2 juillet au lieu du 27 juin. Quant au retrait précoce de la mousson, il s'observe aussi bien sur le signal de la période 1970-2005 que sur celui de 1999-2005 mais, il est beaucoup plus marqué sur la période 1999-2005.

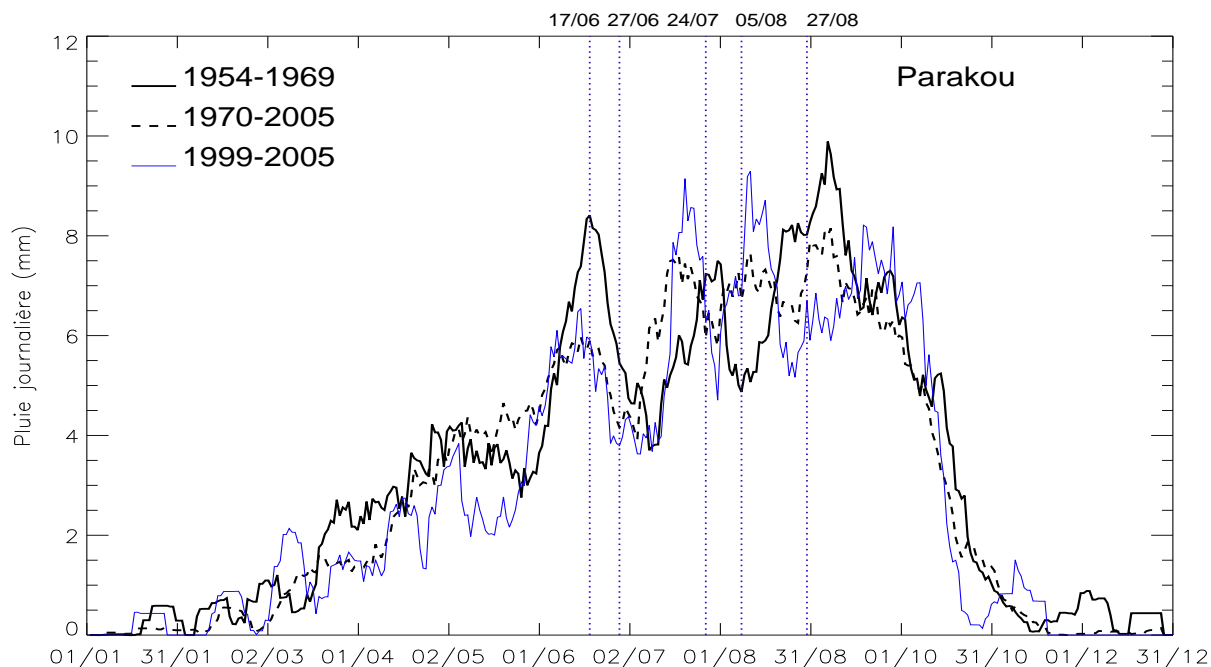


FIG. 3.19: Cycle saisonnier moyen des composites avant et après 1970 à la station de Parakou. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005.

En groupant les années excédentaires d'une part, puis les années déficitaires sur la période globale (1954-2005) d'autre part, ou en considérant les quatre composites décrits plus haut (P1H, P2H, P1S, P2S), les figures 3.20 et 3.21 montrent que le retrait précoce de la mousson est beaucoup plus marqué au cours des saisons déficitaires pendant que sa préinstallation ne semble pas dépendre de la nature de la saison. Par ailleurs le saut de mousson intervient plus tard pour les saisons sèches. Le saut de mousson tardif et le retrait précoce de la mousson semblent donc être des caractéristiques typiques des saisons "sèches" à Parakou. On note sur la figure 3.21 un décalage systématique des dates d'occurrence des trois pics de précipitation pour les composites humides pendant que ces dates restent inchangées pour les composites secs.

La comparaison des résultats obtenus ici avec ceux mis en évidence à l'échelle du site AMMA-CATCH Bénin permet de conclure que le retrait précoce de la mousson caractérise les pluies des saisons "sèches" sur l'observatoire. Par ailleurs, on note que ce retrait précoce a démarré depuis les années 1970.

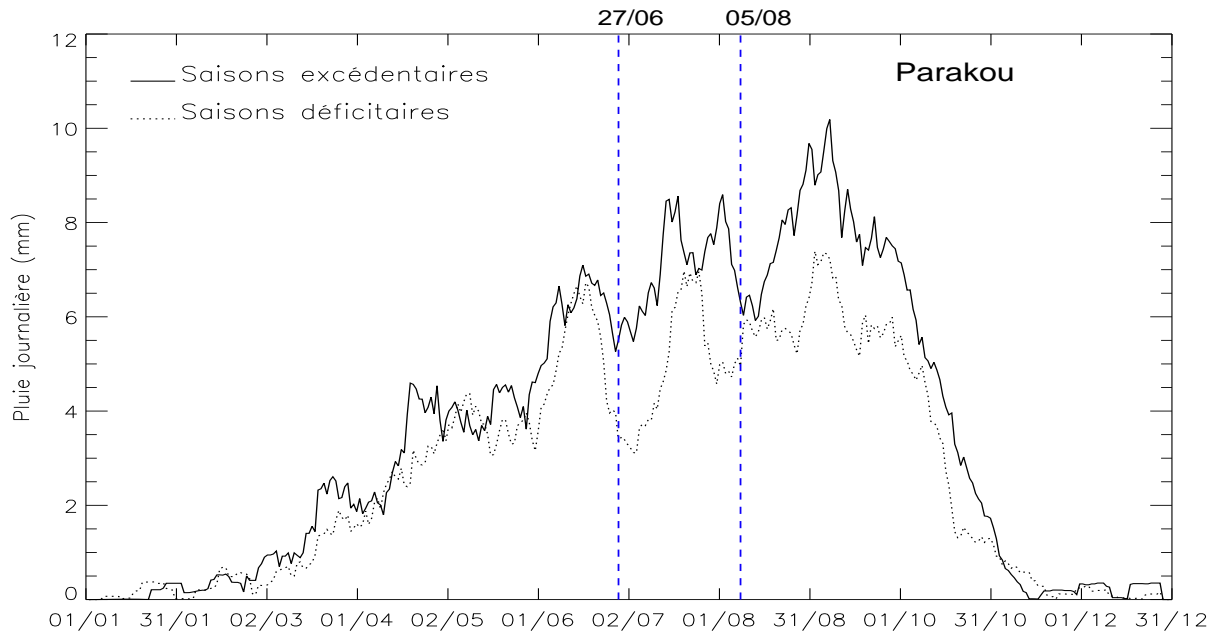


FIG. 3.20: Cycle saisonnier moyen des composites d'années humides et d'années sèches à la station de Parakou. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005.

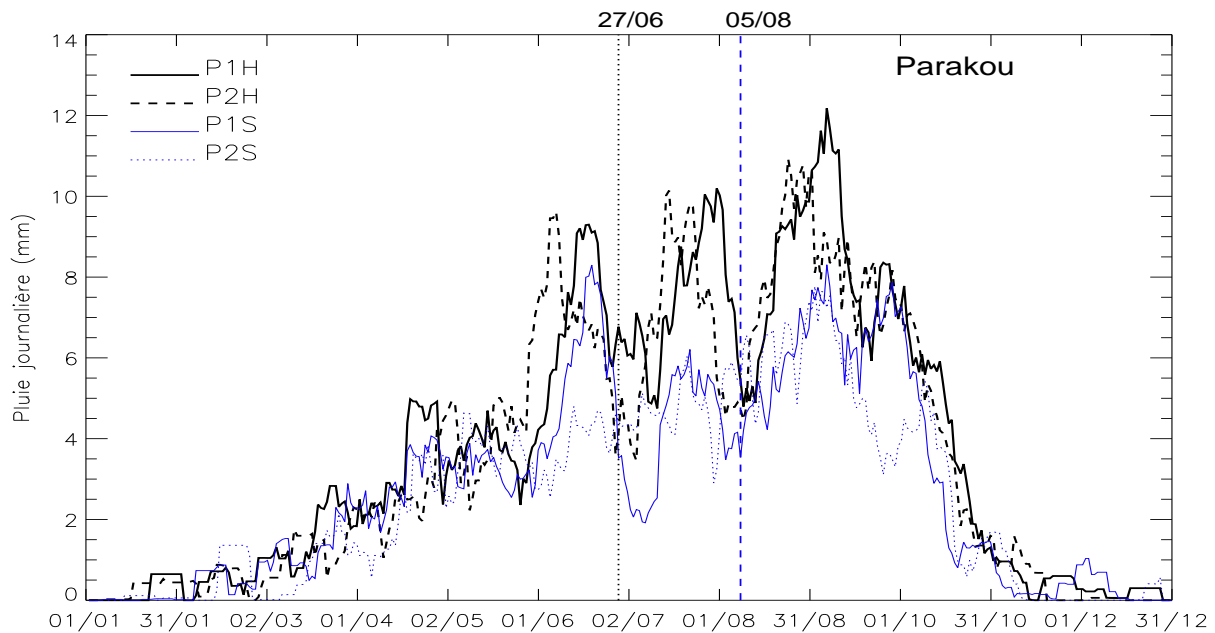


FIG. 3.21: Cycle saisonnier moyen des précipitations pour les composites d'années humides (P1H : avant 1970 et P2H : après 1970) et sèches (P1S : avant 1970 et P2S : après 1970) à la station de Parakou. Les moyennes sont calculées sur une fenêtre glissante de 11 jours.

### 3.3.1 Variabilité temporelle

A partir de la série longue de 1954 à 2005, nous décomposons le signal pluviométrique en deux composantes : la hauteur moyenne de pluie par jour pluvieux et le nombre moyen de jours pluvieux. Nous analysons d'abord l'évolution de la hauteur moyenne de pluie par jour pluvieux au cours de la saison des pluies, ensuite le signal du nombre de jours pluvieux. Comme le montre la figure 3.22, la pluie moyenne par jour pluvieux n'est pas stationnaire au cours de la saison. Elle croît en début de saison, fluctue assez au coeur de la saison avant de décroître assez rapidement en fin de saison. Ce constat est valable tant pour le composite des saisons sèches que pour le composite des années humides (FIG. 3.22). On note également que l'écart entre le composite sec et le composite humide est plus marqué au coeur de la saison.

Le signal du nombre de jours pluvieux croît assez rapidement de début mars à mi-juin avant de décroître vers un minimum atteint le 27 juin (date du saut de mousson). Puis, on observe le saut brusque qui est moins marqué ici par rapport au signal de la pluie moyenne par jour pluvieux. Le nombre moyen de jours pluvieux semble se stabiliser autour de 0.9 entre le 05 août et le 30 septembre avant de chuter brusquement et très rapidement à partir de 1<sup>er</sup> octobre vers la fin de la saison (FIG. 3.23). Sur la figure 3.23 on constate également, comme dans le cas de la pluie moyenne par jour pluvieux, que le déficit des années sèches est surtout prononcé au coeur de la saison des pluies. En effet, la figure 3.23 montre une bonne superposition des trois signaux avant le 27 juin puis une séparation des composites secs et humides après cette date. Cette séparation est associée au déficit du composite sec. Mais, le déficit entre les deux composites semble plus important en ce qui concerne la hauteur de pluie par jour pluvieux (FIG. 3.22) par rapport au nombre moyen de jours pluvieux.

En résumé, on note que le signal du nombre moyen de jour pluvieux plafonne assez rapidement pendant que le signal de la hauteur moyenne de pluie continue de subir des fluctuations. Or le signal saisonnier résulte du produit de ces deux signaux. Par conséquent, les fluctuations observées du signal saisonnier s'expliquent bien par le signal de la hauteur moyenne de pluie par jour pluvieux.

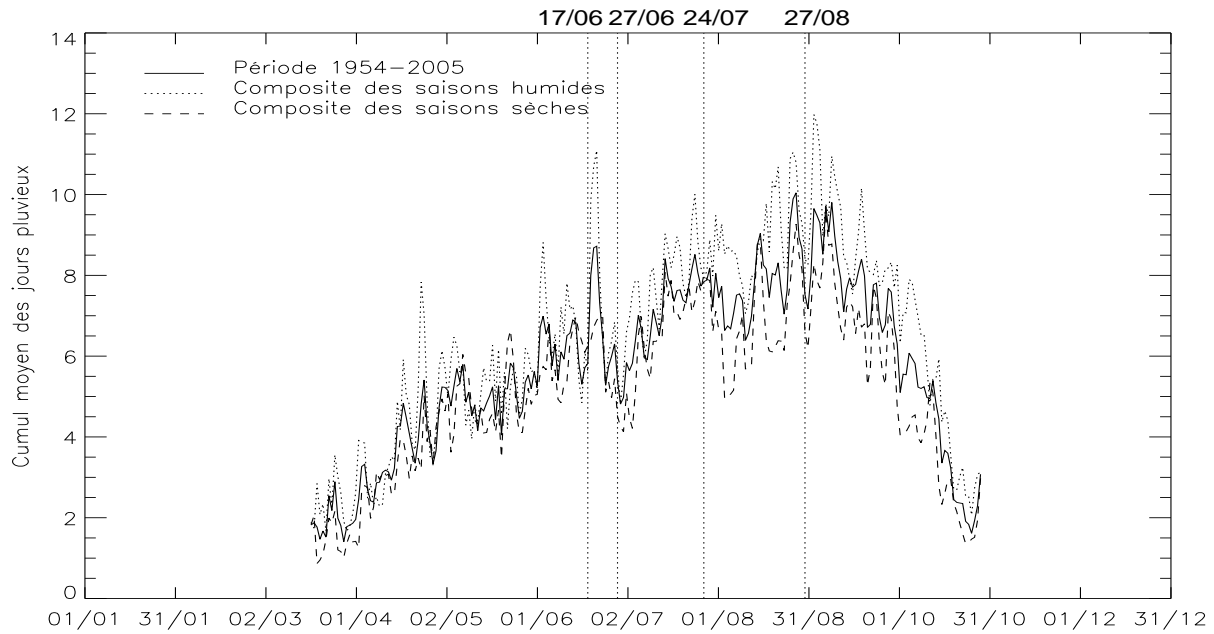


FIG. 3.22: Cycle saisonnier du cumul des jours pluvieux : moyenne sur une fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005 et des composites des saisons humides et sèches

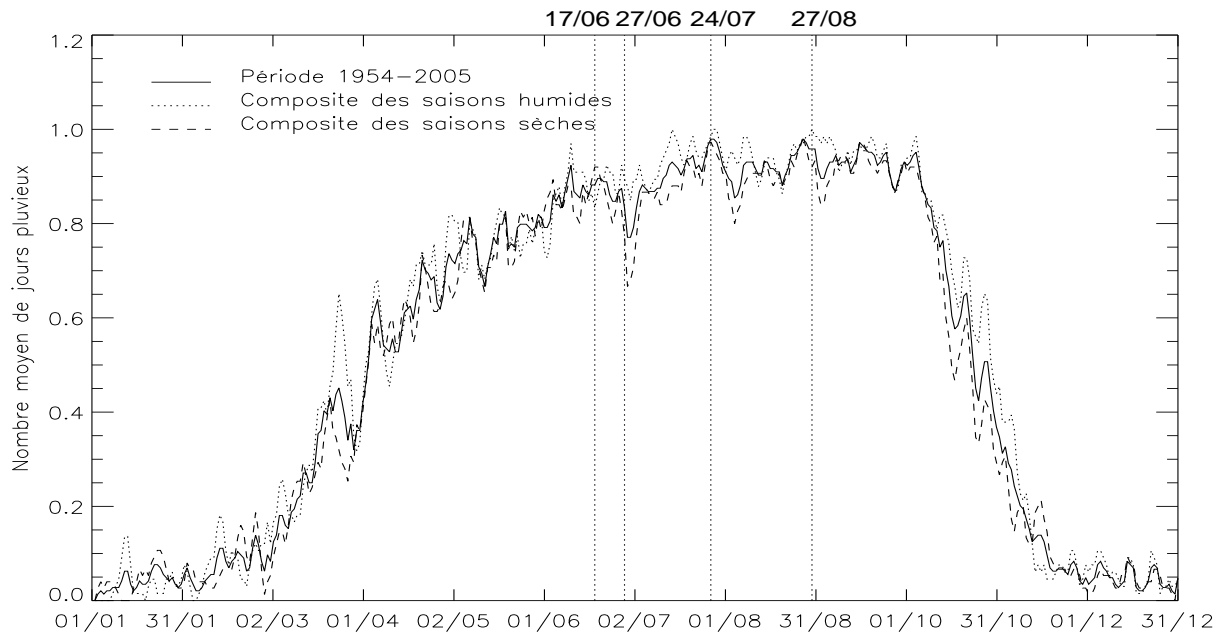


FIG. 3.23: Cycle saisonnier du nombre de jours pluvieux : fenêtre glissante de 11 jours sur la période 1954-2005 et des composites des saisons humides et sèches

### 3.4 Conclusion du chapitre 3

Les données historiques disponibles sur l'observatoire ont permis d'analyser la variabilité interannuelle et décennale des précipitations et de mettre en évidence quelques nuances en ce qui concerne les caractéristiques du régime pluviométrique régional. Le régime pluviométrique est caractérisé par une seule saison des pluies qui va de la mi-mars/début avril à fin octobre. On note une forte variabilité interannuelle qui se superpose à la variabilité décennale.

La dynamique saisonnière des années humides ne semble pas différente de celle des années sèches à l'exception du retrait précoce de la mousson au cours des saisons déficitaires. L'analyse du cycle saisonnier de la pluviométrie moyenne journalière a montré que la date moyenne du saut de mousson sur la région est le 27 juin, et ce indépendamment du caractère excédentaire ou déficitaire de la saison. Les saisons sèches semblent se différencier des saisons humides par un déficit pluviométrique marqué après le saut de mousson et le retrait précoce de la mousson. Il apparaît donc, comme le souligne Lebel *et al.* (2003) pour le régime pluviométrique sahélien, que ce sont les modifications qui interviennent au cours de la seconde phase de la mousson (phase continentale) qui déterminent la nature de la saison. Ce fait déjà signalé par Le Barbé *et al.* (2002) sur le site AMMA-CATCH Bénin sur la période 1950-1990 se confirme donc avec des données d'une longueur temporelle plus grande.

L'analyse des signaux correspondant à la hauteur de pluie par jour pluvieux et au nombre de jours pluvieux montre que ces signaux ne sont pas stationnaires au cours de la saison. Par ailleurs, on observe qu'au coeur de la saison, la hauteur de pluie par jour pluvieux fluctue beaucoup plus que le nombre de jours pluvieux qui atteint très rapidement un palier.

La saison 2006, déficitaire par rapport à la période de référence 1954-2005, présente une dynamique toute particulière en ce qui concerne l'installation de la mousson ainsi que la date du saut de mousson qui intervient tardivement par rapport à la date moyenne déterminée pour la région ouest-africaine par Sultan et Janicot (2003). Cette saison se caractérise également, comme les saisons déficitaires, par le retrait précoce de la mousson.

A l'échelle ponctuelle, l'analyse de la série pluviométrique homogène de la station synoptique de Parakou a permis de confirmer que le retrait précoce de la mousson est une caractéristique des saisons déficitaires.

Jusqu'à présent, nous avons analysé la variabilité des précipitations du site AMMA-CATCH Bénin à l'échelle temporelle la plus fine que permettent d'atteindre les données historiques utilisées ; à savoir l'échelle journalière. Dans le chapitre suivant, nous poursuivons cette analyse et compléterons la climatologie des systèmes précipitants de la région à de nouvelles échelles auxquelles les données récentes du programme AMMA-CATCH per-

---

mettent d'accéder. Il s'agit des échelles de l'événement pluvieux et celle des intensités de précipitation. Dans un premier temps, il s'agira de définir et de caractériser les événements pluvieux OHHVO et Ensuite d'étudier les relations entre leurs caractéristiques et celles de la saison globale mises en évidence dans le présent chapitre.



# Chapitre 4

## Caractérisation événementielle des précipitations sur le haut bassin de l’Ouémé

Nous utilisons dans ce chapitre, les données à pas de temps fins disponibles actuellement sur le site AMMA-CATCH Bénin (l’OHHVO) pour une analyse des caractéristiques des précipitations à des échelles spatio-temporelles non accessibles par le réseau de données historiques (réseau RPN) dont la résolution temporelle la plus fine est la journée. L’échelle clé d’intérêt ici est celle de l’événement pluvieux. On s’intéresse principalement à cette échelle pour trois raisons fondamentales : *i*) du point de vue hydrologique, la compréhension de l’impact de la variabilité des précipitations sur les ressources en eau nécessite une analyse des champs de pluie à des échelles fines, pertinentes pour l’hydrologie, puisque les processus hydrologiques (ruissellement, infiltration, écoulement, etc. . .) ne se développent pas à des pas de temps fixes arbitraires ; *ii*) une bonne connaissance des caractéristiques des précipitations à l’échelle de l’événement pluvieux est d’une grande importance pour les applications comme le suivi des systèmes pluvieux par télédétection ou la désagrégation spatio-temporelle des champs de pluie ; *iii*) on dispose de l’opportunité de vérifier si les résultats récemment établis pour le Sahel par d’Amato (1998) et Balme (2004) à l’échelle de l’événement pluvieux sont valables dans un contexte climatique soudanien.

Dans ce qui suit, on donne à la section 4.1 un bref aperçu sur la notion d’événement pluvieux et l’approche suivie pour échantillonner les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin dont les caractéristiques seront étudiées dans ce chapitre. Nous avons constitué une liste d’événements sur la période 1999-2005 à l’aide du réseau RM1. Mais nous analyserons également la période 2001-2005 qui a été choisie du fait que d’une part, l’année 2001 corres-

pond au début de la phase d'observation à long terme (LOP) de AMMA et que d'autre part, les stations ont peu de lacunes sur cette période par rapport aux saisons 1999 et 2000.

A la section 4.2, on présente quelques caractéristiques générales des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin. Ces caractéristiques comprennent les aspects temporels puis quelques grandeurs et relations caractéristiques des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin, notamment la relation entre le cumul annuel et le nombre d'événements pluvieux. La section 4.3 est consacrée à l'analyse des caractéristiques statistiques moyennes des événements pluvieux sélectionnés. Une analyse comparative de ces caractéristiques est faite entre les périodes "avant saut de mousson" et "après saut de mousson". Par ailleurs, on compare les statistiques déterminées pour les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin à celles bien connues des événements pluvieux AMMA-CATCH Niger, mises en évidence par Lebel *et al.* (1996); Le Barbé et Lebel (1997); d'Amato (1998) et confirmées récemment par Balme (2004). Les comparaisons effectuées permettent de relever les similarités et les différences entre les systèmes précipitants sahéliens et ceux observés sur notre région d'étude. La distribution des cumuls événementiels et l'analyse du cycle saisonnier moyen des événements pluvieux font l'objet des sections 4.4 et 4.5 respectivement. L'intermittence temporelle des événements pluvieux a été étudiée et les résultats obtenus sont analysés à la section 4.6. Enfin la section 4.7 présente la synthèse des principaux résultats du chapitre.

Nous rappelons que des décalages temporels au niveau de certaines stations ont été signalés à un moment où les corrections nécessaires n'étaient plus possibles pour que nous puissions introduire la saison 2006 dans le cadre du présent travail. Nous avons donc décidé d'utiliser uniquement les données des saisons 1999 à 2005 compte tenu du fait que les décalages signalés amplifient l'intermittence des événements pluvieux.

## 4.1 Quelle définition pour l'événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin ?

Les précipitations en Afrique de l'Ouest sont en grande partie liées aux Systèmes Convectifs de Mésos-échelle (SCM)(Gamache et Houze, 1983, cité par Mathon, 2001). Les SCM ont pour caractéristique essentielle d'être des structures convectives mobiles d'échelle spatiale supérieure à  $5000 \text{ km}^2$ . L'essentiel de la pluie sous les tropiques étant lié aux SCM, l'autre partie est liée aux orages locaux. Ainsi, pour relier les pluies mesurées au sol aux structures pluviogènes, on utilise généralement la notion d'événements pluvieux. Mais, la notion d'événement, quoique importante pour comprendre la relation entre les systèmes précipitants et la pluie mesurée au sol, n'est pas univoque. En effet, elle dépend non seulement du point de vue et des objectifs considérés, mais aussi de l'échelle d'observation et du type de données

disponibles. Par exemple, d'un point de vue météorologique, les images radar ou satellite permettent d'accéder à une vision globale du processus en associant à l'événement pluvieux une perturbation atmosphérique limitée dans le temps et dans l'espace. Par contre, du point de vue hydrologique, un réseau de mesures pluviométriques ou pluviographiques permet de définir l'événement pluvieux par sa trace au sol en lui associant une certaine quantité d'eau mesurée.

Le point de vue intéressant pour notre étude est le point de vue hydrologique. Dans ce cadre, la notion d'événement pluvieux revêt deux aspects : l'aspect "ponctuel" et l'aspect "spatial". Du point de vue "ponctuel", Smith et Schreiber (1973) et Bouvier (1986) caractérisent l'événement pluvieux par deux paramètres : un critère temporel associé à une durée minimum de non pluie ( $t_s$ ), permettant de considérer l'événement antérieur comme distinct du suivant et un critère quantitatif ( $q$ ) associé à un minimum d'eau tombée, au-dessous duquel la pluie est considérée comme nulle.

Mais, la notion d'événement pluvieux devrait permettre de relier la dynamique atmosphérique (systèmes convectifs) à l'hydrologie. Il importe donc de tenir compte de l'aspect "spatial" de l'événement pluvieux. Dans ce cadre, lors des études sur la climatologie des événements pluvieux sahéliens à l'aide d'un réseau pluviographique dense, aux deux paramètres définis par Smith et Schreiber (1973) et Bouvier (1986), il a été ajouté un critère d'extension spatiale du champ de pluie ( $p$ ) représenté par un pourcentage minimum du réseau touché, de sorte que l'événement pluvieux est défini par trois critères. Cette définition de l'événement pluvieux au sens "spatial" est donc bien adaptée au type de données pluviographiques sur un réseau de plusieurs postes. Après des investigations de sensibilité de ces trois critères, d'Amato et Lebel (1998) ont défini les événements pluvieux AMMA-CATCH Niger en zone sahélienne par les valeurs :  $t_s = 30 \text{ min}$ ,  $q = 1 \text{ mm}$  et  $p = 30\%$ .

Pour la présente étude, nous disposons du même type de données pluviographiques sur plusieurs postes comme ce fut le cas en région sahélienne. Nous avons donc choisi de définir l'événement pluvieux au sens "spatial" comme au Sahel. Dans ce contexte, les événements qui sont traités dans cette étude sont ceux qui ont une extension spatiale par opposition aux orages locaux. Ainsi, toutes les statistiques "ponctuelles" présentées dans ce travail sont celles calculées en une station pour la population d'événements "spatiaux" sélectionnés.

Sur la région AMMA-CATCH Bénin, n'existait pas jusqu'alors, des critères fixes bien définis pour échantillonner les événements. Dans les rapports de campagne établis à la fin de chaque saison, les événements sont sélectionnés par des critères qui ont évolué d'une année à l'autre, de 1997 (Bouchez *et al.*, 1997) à 2001 (Afouda *et al.*, 2001), et différentes valeurs ont été associées au paramètre  $q$  avant que les critères suivants ne soient adoptés à partir de 2001 :

- durée minimale entre deux événements :  $t_s = 1\text{heure}$
- intensité minimale observée pendant cette durée :  $2\text{mm/h}$
- pourcentage du réseau touché :  $p = 15\%$
- lame d'eau minimale sur les stations touchées :  $q = 5\text{mm}$

Pour pouvoir comparer les caractéristiques des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin à celles des événements pluvieux AMMA-CATCH Niger, nous avons choisi d'utiliser le même concept de définition de l'événement qu'au Sahel. Des tests ont été effectués afin de déterminer la sensibilité des résultats aux valeurs des paramètres utilisés pour définir l'événement pluvieux. La comparaison des caractéristiques événementielles des pluies sur les deux régions se justifie de deux points de vue : *i*) nous disposons des mêmes types de données sur les deux zones, situées sur une même fenêtre d'observation du programme AMMA (le site AMMA-CATCH Niger étant situé au Nord du site AMMA-CATCH Bénin), dont les superficies sont du même ordre :  $16.000\text{ km}^2$  pour AMMA-CATCH Niger et  $15.000\text{ km}^2$  pour AMMA-CATCH Bénin ; *ii*) cette comparaison des résultats permet de mettre en évidence les similarités et les différences de caractéristiques des systèmes précipitants sur les deux zones.

#### 4.1.1 Tests de sensibilité des critères de définition de l'événement pluvieux

Rappelons d'abord que :

- $t_s$  est la durée minimale au cours de laquelle on ne doit observer aucune pluie sur l'ensemble du réseau. Ainsi, si après un temps  $t_s$  la pluie réapparaît en n'importe quel point du domaine, on considère que c'est le début d'un nouvel événement.
- $q$  est le cumul minimum de pluie que doit réaliser l'événement à une station quelconque au moins du réseau.
- $p$  est le pourcentage minimum de stations en fonctionnement touchées. Ce paramètre exprime l'étendue spatiale de l'événement et permet de ne pas prendre en compte les événements très localisés spatialement.

##### *Valeurs des paramètres testées*

Les tests de sensibilité ont pour objectif de déterminer les valeurs adéquates de ces paramètres permettant d'échantillonner les événements en évitant d'une part de sélectionner les systèmes locaux et, d'autre part, d'amalgamer des épisodes distincts, ou de scinder certains événements importants en plusieurs épisodes. N'ayant pas a priori de raison fondamentale de choisir une valeur particulière de  $t_s$ , nous avons choisi de tester la valeur  $t_s = 30\text{min}$  adoptée au Sahel, et la valeur  $t_s = 1\text{heure}$  utilisée dans les rapports de campagne. En ce qui concerne

le cumul minimum de pluie ( $q$ ), destiné à seuiller les événements, nous avons choisi de tester trois valeurs à savoir  $1mm$ ,  $2.5mm$ , et  $5mm$ . Nous avons fait varier le pourcentage minimum du réseau touché ( $p$ ) par pas de 10, à partir de 10 jusqu'à 100%.

Pour réaliser les tests, nous avons considéré le jeu de données pluviographiques disponibles sur la période 1999 à 2005. Il n'existe pas de norme définie en ce qui concerne le nombre de listes d'événements à considérer pour les analyses de sensibilité. Mais, pour ne pas avoir à comparer un trop grand nombre de listes, nous avons constitué pour chaque année, quatre listes d'événements en utilisant le réseau total disponible avec les valeurs suivantes des trois paramètres pour chaque liste :

- liste 1 :  $t_s = 30min$ ,  $q = 1mm$  et  $p \geq 10\%$
- liste 2 :  $t_s = 1heure$ ,  $q = 1mm$  et  $p \geq 10\%$
- liste 3 :  $t_s = 30min$ ,  $q = 2.5mm$  et  $p \geq 10\%$
- liste 4 :  $t_s = 1heure$ ,  $q = 5mm$  et  $p \geq 10\%$

Rappelons que pour chaque liste, la proportion du réseau touché varie de 10 en 10 jusqu'à 100.

### ***Résultats des tests***

Après la sélection des événements, on compare les listes obtenues en analysant les dates de début et de fin des événements, le nombre d'événements sélectionnés, la lame d'eau par événement, le cumul événementiel conditionné à zéro et la durée moyenne de l'événement en fonction de l'étendue spatiale de l'événement. Les comparaisons effectuées montrent que :

- pour chaque année, les listes 1 et 3 se confondent (FIG. 4.1 à la page 61) pour les valeurs de  $p$  supérieures ou égale à 30%. Donc le cumul minimum de pluie à au moins une station n'est pas déterminant dans la sélection des événements pour  $p \geq 30\%$  ;
- la liste 2 contient deux à trois événements ou 4 à 6 événements de plus que la liste 1 selon l'année pour  $p \geq 30\%$ . Notons que cette observation a aussi été faite par d'Amato (1998), au sujet des listes établies avec les valeurs 30min et 1heure du critère  $t_s$  où la liste obtenue avec la valeur 1heure comporte par an, 1 à 2 événements de plus que la liste obtenue avec la valeur 30min de  $t_s$ . Ceci peut paraître surprenant, mais s'explique par le fait que dans la liste 1, certains événements séparés de plus de 30min produisant moins de  $q$  mm à au moins une station du réseau sont intégrés lorsqu'on considère le critère  $t_s = 60min$ , de sorte qu'ils réalisent la valeur  $q$  et ainsi il sont comptés dans la liste 2 ; d'où cette liste compte plus d'événements que la liste 1. ;
- la lame d'eau événementielle (FIG. 4.2-a : page 62) ainsi que le cumul moyen conditionné à zéro (FIG. 4.2-b) ont une évolution linéaire (pour les valeurs de  $p$  comprise

entre 30% et 80%). La figure 4.3 (page 63) montre, pour chaque année, le comportement linéaire du cumul moyen conditionnel à zéro avec le pourcentage du réseau touché, pour les pourcentages allant de 30% à 80%. On s'est limité dans cette analyse à 80% pour éviter l'influence des nombres trop faibles d'événements aux grandes étendues spatiales. En chaque point figure l'écart-type calculé sur la série des cumuls conditionnels à zéro des événements pluvieux séparés de  $30min$  au moins et touchant la proportion correspondante sur l'axe des abscisses. On peut constater que les valeurs restent assez dispersées ;

- le cumul moyen événementiel est supérieur à 5 mm sur toute la période considérée ;
- la durée moyenne inter-événement est supérieure à 45 minutes tandis que la durée moyenne événementielle (FIG. 4.4 à la page 64) est supérieure à 4 heures à partir de 30% du réseau touché ;
- les différences sont minimales entre les listes au delà de 60% du domaine touché. Les déviations observées sur les figures 4.2 et 4.3 sont dues aux faibles nombres d'événements aux pourcentages du réseau touché correspondants. Ce qui signifie que les gros systèmes sont toujours détectés par le réseau indépendamment des valeurs prises par les critères temporel et quantitatif.

En somme, les différences entre les listes sont minimales à partir de  $p \geq 30\%$  sauf pour la saison 1999.

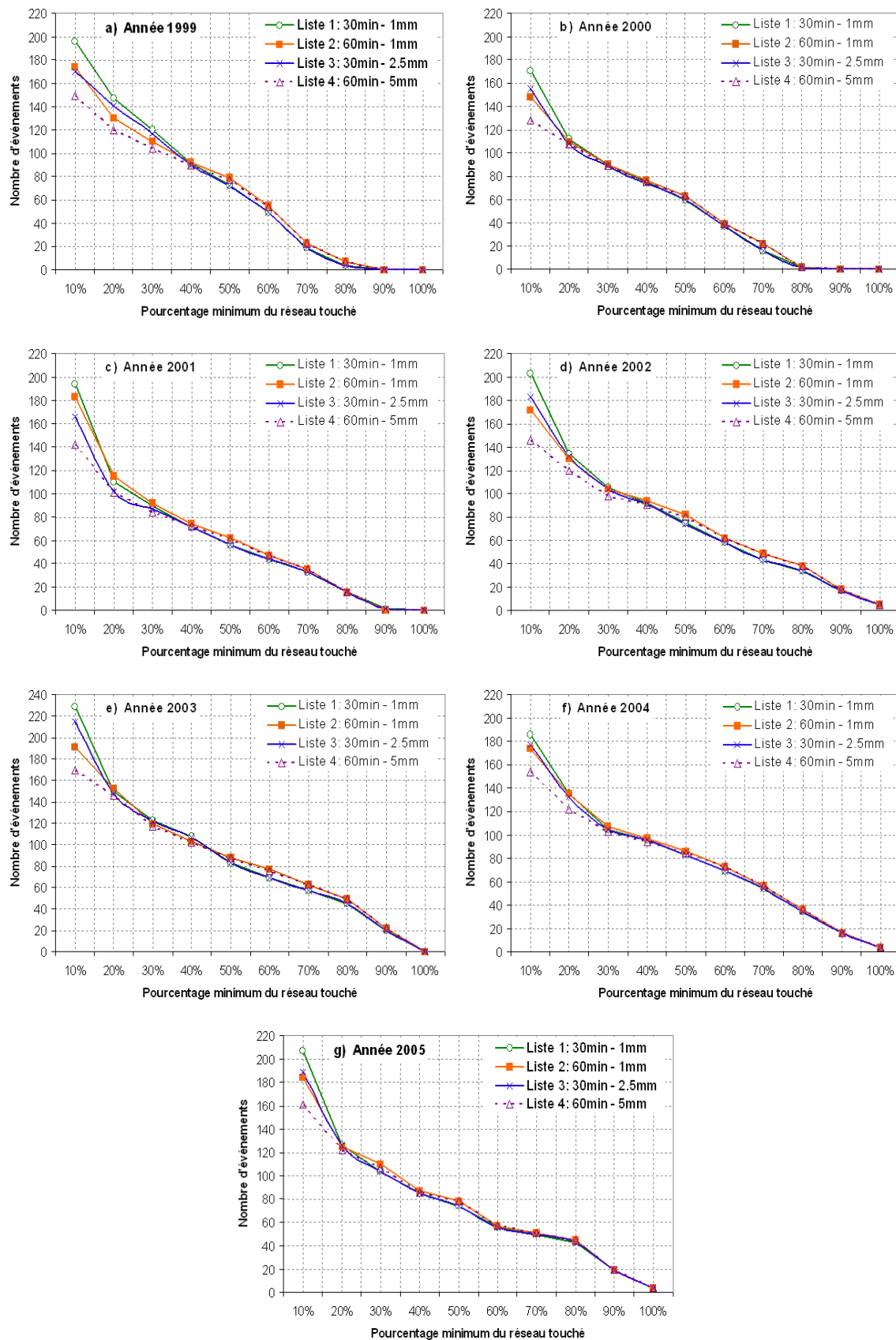
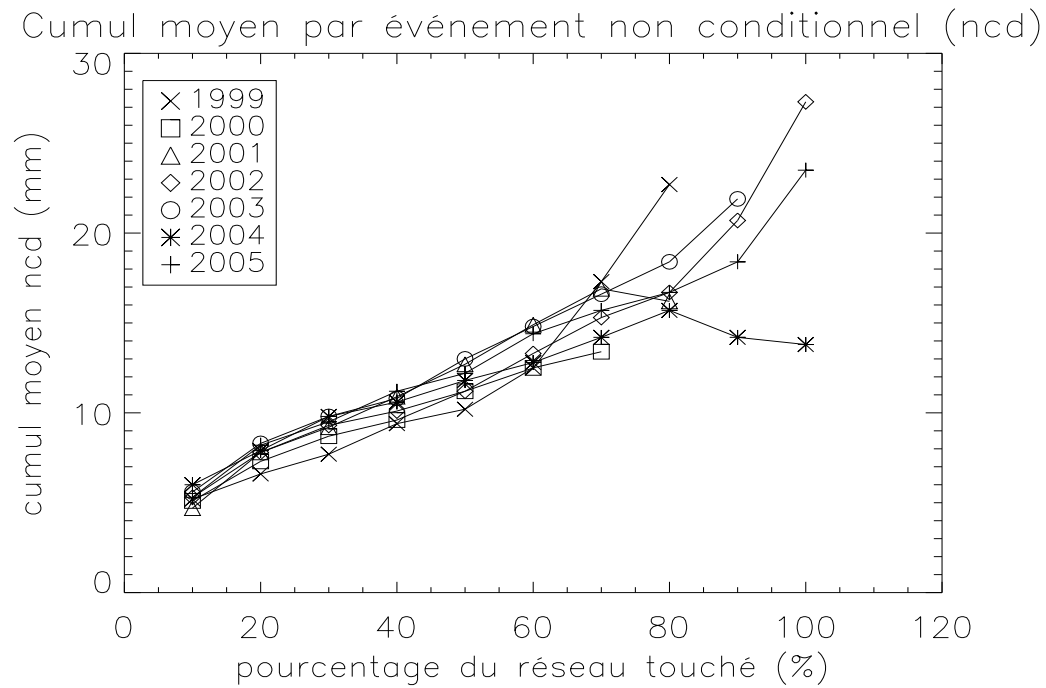
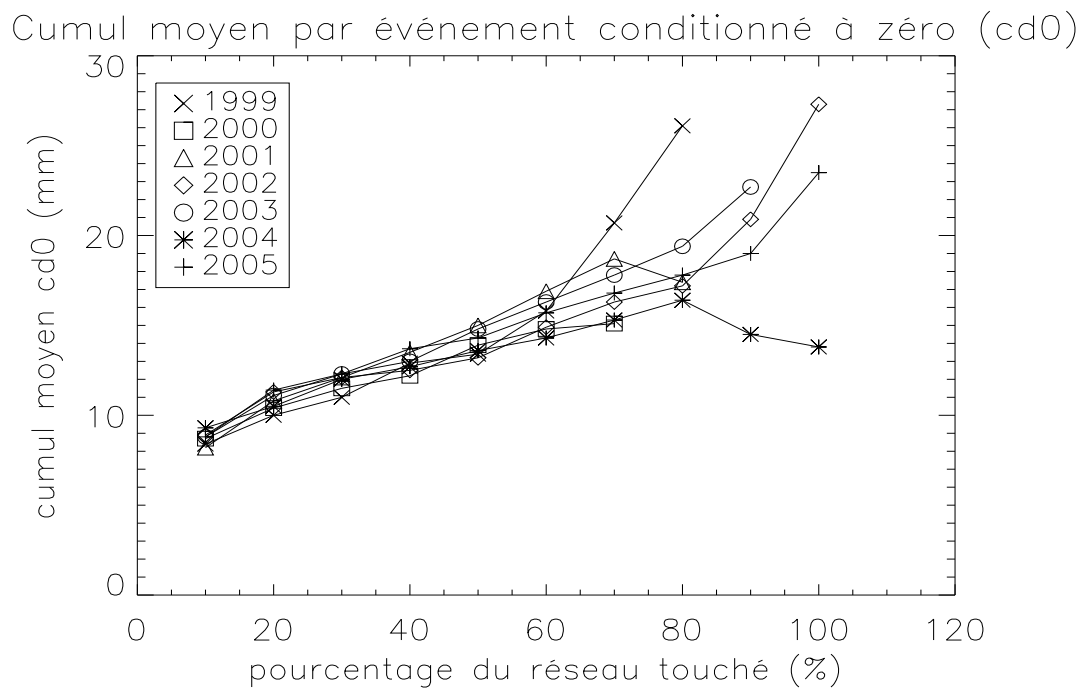


FIG. 4.1: Comparaison des listes d'événements établies pour les années 1999 à 2005.



(a)



(b)

FIG. 4.2: Évolution des cumuls événementiels non conditionnel, puis conditionnel à zéro en fonction du pourcentage minimum du réseau touché. La durée minimale de séparation des événements est de 30 minutes et le cumul minimum à une station est 1 mm. La dispersion observée en queue de courbe est due au faible nombre d'événements pour les pourcentages supérieurs à 80%.

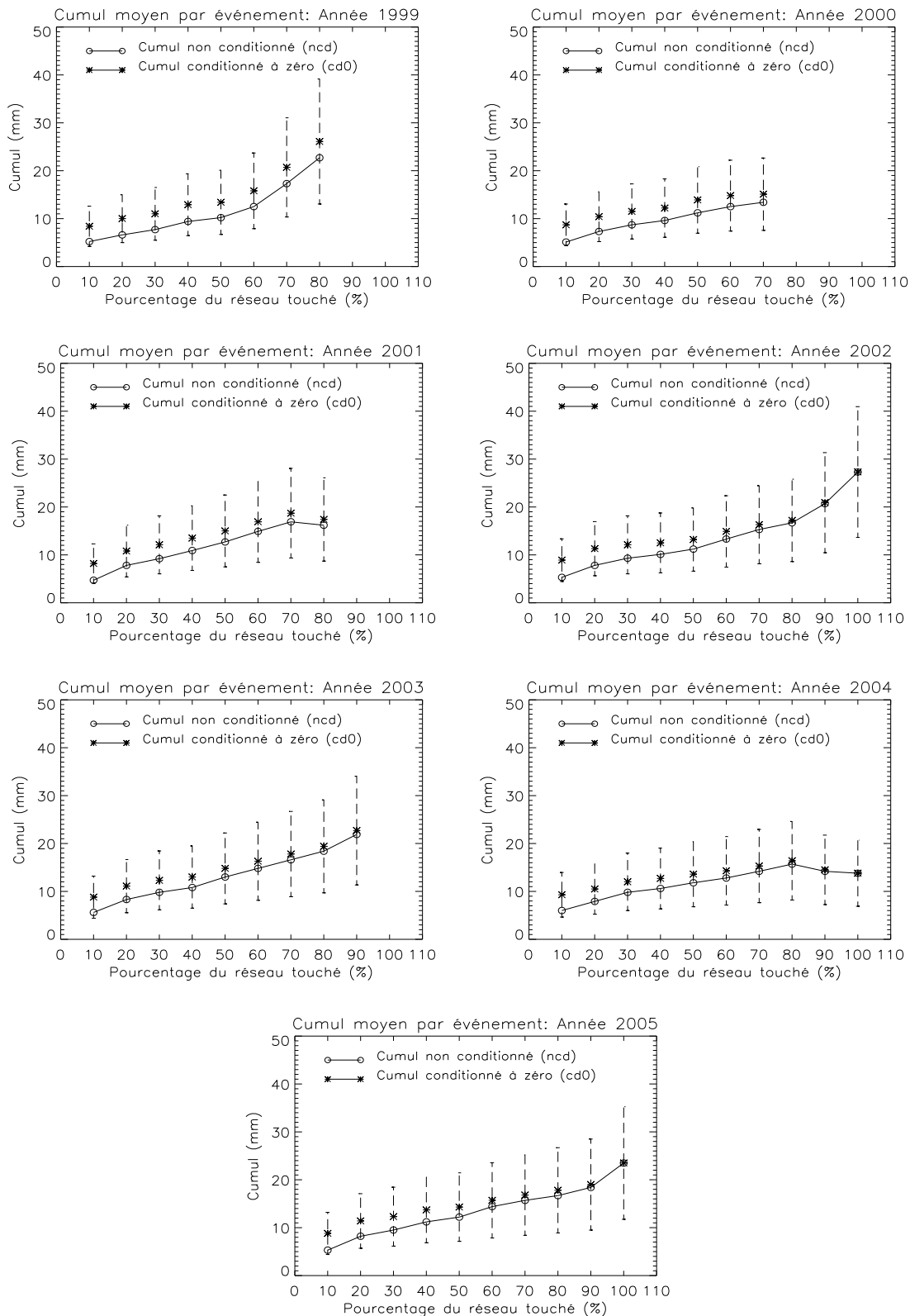


FIG. 4.3: Comportement linéaire du cumul moyen événementiel pour les pourcentages du réseau touché allant de 30% à 80% pour les événements séparés de 30min au moins. Chaque barre verticale représente l'écart-type de la série de cumuls conditionnés à zéro des événements correspondant au pourcentage associé sur l'axe des abscisses.

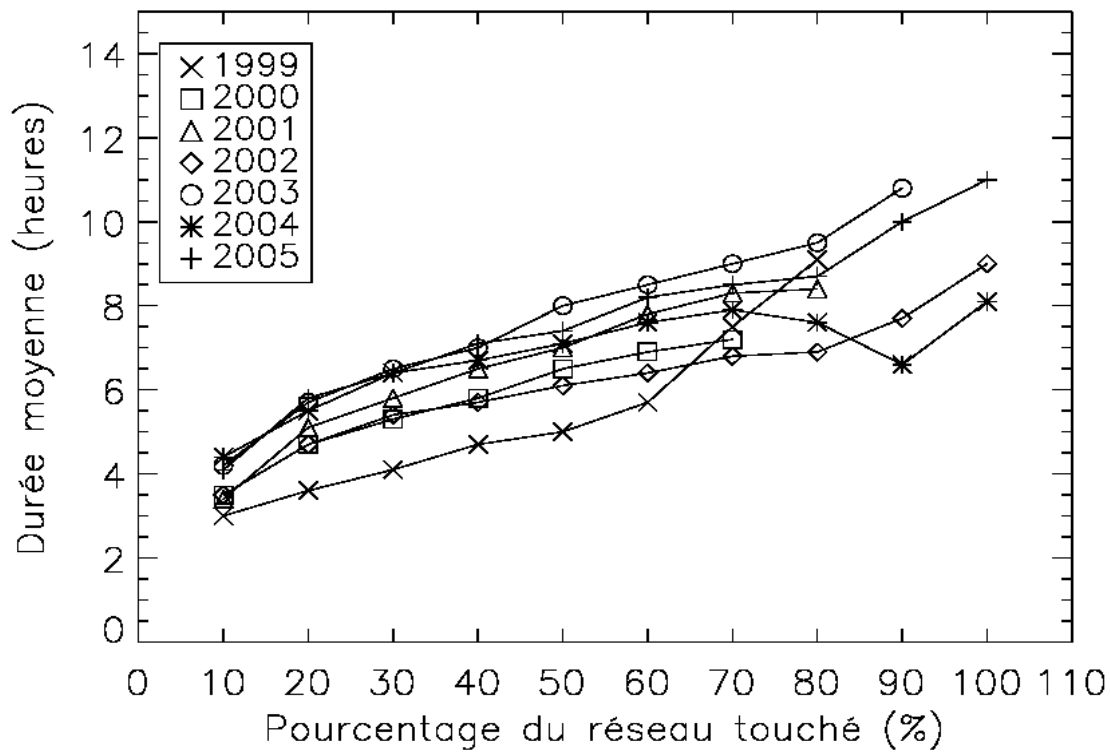


FIG. 4.4: Relation durée moyenne événementielle - étendue spatiale de l'événement pour les événements échantillonnés avec les critères  $t_s = 30 \text{ min}$  et  $q = 1 \text{ mm}$

#### 4.1.2 Valeurs des paramètres adoptés

Au vu des observations précédentes, et compte tenu des comparaisons que nous aurons à faire avec les caractéristiques des événements au Sahel, nous avons adopté les valeurs suivantes pour identifier les événements pluvieux (FIG. 4.5) :

- $t_s = 30 \text{ min}$  : on admet qu'il n'y a pas d'interruption de pluie de plus de 30 minutes sur l'ensemble du domaine,
- $q = 1 \text{ mm}$  : au moins  $1 \text{ mm}$  de pluie enregistrée à une station au moins du réseau,
- $p = 30\%$  : au moins 30% de stations en fonctionnement touchées (c'est-à-dire station ayant enregistré un cumul de pluie non nul).

Nous rappelons que dans tout ce qui va suivre, nous utilisons ces événements définis au sens "spatial" du terme.

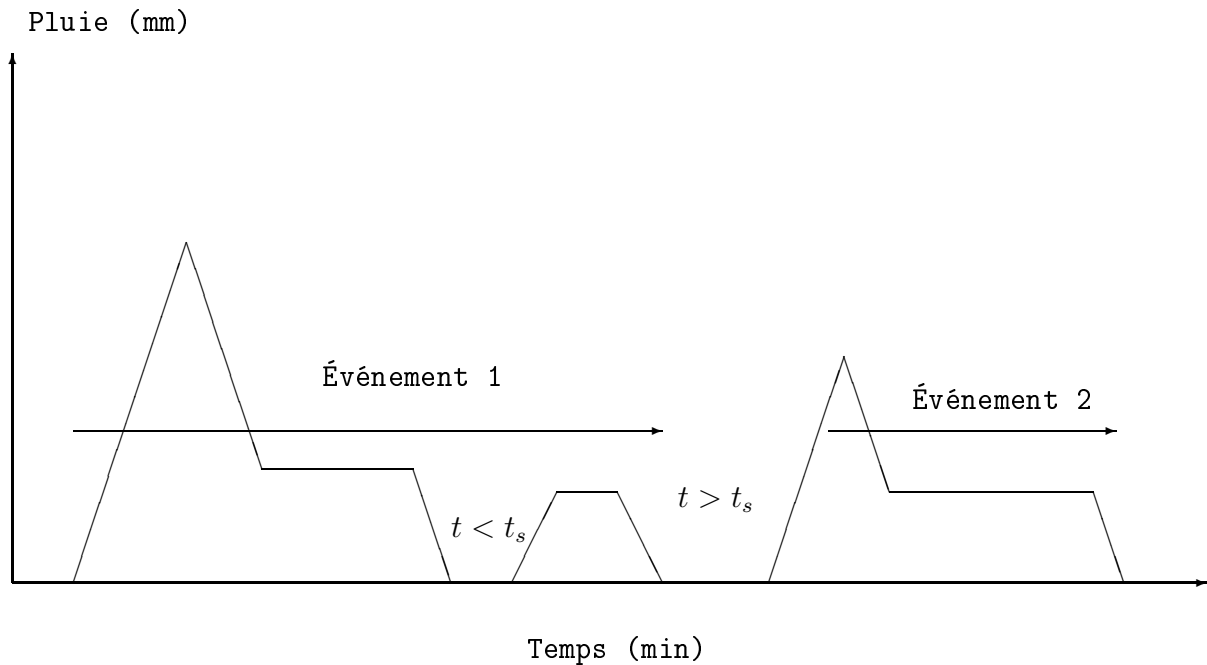


FIG. 4.5: Échantillonnage des événements pluvieux.

## 4.2 Caractéristiques générales des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin

On s'intéresse ici aux caractéristiques générales temporelles et spatiales des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin. Dans ce cadre, on utilise le réseau global de chaque année pour échantillonner les événements. Les caractéristiques statistiques de chacun des 737 événements sélectionnés sont données en Annexe A. On considérera dans les analyses, la classification des événements selon leurs dates d'occurrence, avant ou après le saut de mousson (le 27 juin) déterminé pour la zone d'étude au chapitre 3.

### 4.2.1 Caractéristiques temporelles

Pour analyser les caractéristiques de la durée des événements sur la région d'étude, nous avons considéré deux échelles spatiales : l'échelle de tout le domaine d'étude puis l'échelle ponctuelle ou stationnelle.

#### 4.2.1.1 A l'échelle du domaine d'observation

On résume dans le tableau 4.1, la moyenne et les extremums de la durée de l'événement pluvieux sur le site AMMA-CATCH dont la largeur caractéristique du réseau en fonction des saisons (TAB. 4.2) est stable à partir de l'année 2000.

TAB. 4.1: Caractéristiques temporelles des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur la période 1999-2005.  $\sigma$  représente l'écart-type associé aux valeurs moyennes.

Année	Cumul annuel	Nbre Evé.	durée minimale ( $d_{min}$ )	durée maximale ( $d_{max}$ )	durée moyenne et écart-type ( $d_{moy} \pm \sigma$ )
1999	1167	120	0h :30	14h :40	4h :08 $\pm$ 2h :30
2000	994	90	1h :24	11h :40	5h :22 $\pm$ 2h :17
2001	984	90	1h :15	14h :55	5h :48 $\pm$ 3h :11
2002	1016	105	1h :45	12h :45	5h :27 $\pm$ 2h :20
2003	1286	123	1h :35	21h :55	6h :33 $\pm$ 3h :52
2004	1105	105	1h :35	30h :45	6h :27 $\pm$ 4h :00
2005	1122	104	1h :54	17h :05	6h :25 $\pm$ 3h :24

TAB. 4.2: Quelques caractéristiques du réseau en fonction des saisons. La largeur caractéristique du réseau est la distance longitudinale séparant la station la plus à l'Est et la station la plus à l'Ouest.

Saison	Nombre de stations	Largeur caractéristique du réseau (Km)	Station la plus à l'Est	Station la plus à l'Ouest
1999	21	97.69	Bori	Copargo
2000	24	154.97	Biro	Birni
2001	28	154.97	Biro	Birni
2002	27	154.97	Biro	Birni
2003	35	154.97	Biro	Birni
2004	34	154.97	Biro	Birni
2005	36	151.50	Sirarou	Birni

L'analyse de ces tableaux permet de constater que les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin ont une durée minimale de 1 heure 30 minutes environ. La durée moyenne varie entre 4 heures et 7 heures. Les fortes valeurs des écarts-types associés aux valeurs moyennes montrent que ces valeurs sont assez dispersées. On observe par ailleurs que la durée moyenne des événements semble croître d'une année à l'autre. Cette évolution est due à la densification progressive du réseau (TAB. 4.2).

Les durées moyennes et maximales des événements pluvieux observés "avant le saut de mousson" (le 27 juin) puis "après le saut de mousson" sont résumées dans le tableau 4.3. On observe que les valeurs minimales sont similaires ou identiques. En revanche, les événements qui durent le plus longtemps s'observent lorsque la mousson est bien installée. Par conséquent, les événements pluvieux "après saut de mousson" durent en moyenne plus que les événements "avant saut de mousson".

TAB. 4.3: Durée moyenne et ses extremums pour les événements observés "avant" puis "après" le saut de mousson.

Année	Durée min.		Durée Max.		Durée Moy. et Ect.	
	Av. S.M.*	Apr. S.M.**	Av. S.M.	Apr. S.M.	Av. S.M.	Apr. S.M.
1999	1h :05	0h :30	9h :35	14h :42	3h :55 ± 2h :18	4h :10 ± 2h :32
2000	1h :25	1h :25	8h :25	11h :42	4h :29 ± 2h :07	5h :43 ± 2h :16
2001	1h :55	1h :15	11h :30	14h :55	5h :47 ± 2h :36	5h :49 ± 3h :25
2002	1h :45	2h :00	10h :30	12h :45	5h :13 ± 2h :04	5h :33 ± 2h :28
2003	1h :35	1h :35	19h :06	21h :55	6h :21 ± 3h :52	6h :39 ± 3h :55
2004	1h :35	1h :35	19h :06	30h :45	5h :49 ± 3h :22	6h :44 ± 4h :15
2005	1h :55	1h :55	16h :18	17h :05	5h :53 ± 3h :12	6h :44 ± 3h :31

\* Av. S.M. : Avant le Saut de Mousson

\*\* Apr. S.M. : Après le Saut de Mousson

#### *Évènements les plus longs et leur influence sur la durée moyenne*

Les caractéristiques des événements les plus longs (en terme de durée) de chaque saison sont résumées dans le tableau 4.4. On constate que ces événements les plus longs sont observés en général en Juillet-Août; soit au moment où la mousson est bien installée. Par ailleurs, on note en comparant le tableau 4.4 au tableau 4.7 plus loin (page 80), que ce ne sont pas toujours les événements qui durent le plus longtemps qui produisent les plus forts cumuls ponctuels ni la plus forte lame d'eau. En effet, comme le montrent les tableaux 4.4 et 4.7, c'est uniquement en 2000, 2003 et 2004 que l'événement le plus long de la saison correspond à l'événement qui a produit le cumul maximal et la plus forte lame d'eau. Pour les autres saisons, les événements les plus longs produisent une lame d'eau inférieure à la lame d'eau événementielle maximale de la saison.

Pour analyser l'influence des événements les plus longs de la saison sur la durée moyenne de l'événement, nous avons retiré de la liste des événements de chaque saison, les dix événements les plus longs. Alors, le tableau 4.5 montre que la durée moyenne de l'événement diminue de 30 minutes à 1 heure selon l'année, sans que cette diminution ne soit liée à la nature sèche ou humide de l'année. Mais cette diminution montre que la valeur de la durée moyenne de

l'événement est fortement tributaire de la durée de seulement quelques longs événements de l'année.

TAB. 4.4: Caractéristiques des événements pluvieux Ohhvo les plus longs observés sur la période 1999-2005.  $\tau$  est le pourcentage du réseau touché par chaque événement. Maxi. ponct. est le cumul maximum réalisé en un point. L'état de la saison est défini en rapport avec le signe de l'indice pluviométrique de la saison.

Année	État saison	Date Événement le plus long	Durée	$\tau$ (%)	Maxi. ponct. (mm)	lame d'eau (mm)
1999	humide	02/08 à 21h :20 au 03/08 à 12h :00	14h :40	88.9	61.9	22.6
2000	sec	24/07 à 15h :50 au 25/07 à 03h :30	11h :40	61.9	131.4	24.3
2001	sec	27/08 à 01h :50 au 27/08 à 16h :45	14h :55	96.2	62.7	24.7
2002	sec	28/08 à 20h :45 au 29/08 à 09h :30	12h :45	100.0	75.8	38.4
2003	humide	30/07 à 15h :40 au 31/07 à 13h :35	21h :55	100.0	182.8	70.0
2004	sec	22/08 à 02h :05 au 23/08 à 08h :50	30h :45	100.0	125.7	39.6
2005	sec	02/07 à 13h :20 au 03/07 à 06h :25	17h :05	97.1	94.0	28.5

TAB. 4.5: Durée moyenne des événements après retrait des dix événements les plus longs de chaque saison.

Année	État de la saison	Durée minimale ( $d_{min}$ )	Durée maximale ( $d_{max}$ )	Durée moyenne et écart-type ( $d_{moy} \pm \sigma$ )
1999	Humide	0h :30	8h :05	3h :33 $\pm$ 1h :37
2000	sec	1h :25	8h :05	4h :52 $\pm$ 1h :53
2001	sec	1h :15	10h :18	4h :57 $\pm$ 2h :11
2002	sec	1h :45	8h :25	4h :57 $\pm$ 1h :49
2003	humide	1h :35	11h :54	5h :37 $\pm$ 2h :23
2004	sec	1h :35	11h :48	5h :28 $\pm$ 2h :04
2005	sec	1h :55	11h :12	5h :35 $\pm$ 2h :12

#### *Distribution des événements par classes de durée*

La répartition des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin par classes de durée est présentée à la figure 4.6 pour chacune des saisons considérées. On constate que la distribution des événements dans chacune des classes fluctue assez d'une année à une autre. Par ailleurs, la répartition du nombre d'événements par classes de durée au sein des saisons humides (FIG. 4.6.a) n'est pas identique. Ce qui montre que les saisons humides ne sont pas pareilles. Par exemple, au cours de la saison humide 1999 ce sont les événements de durée comprise entre 2

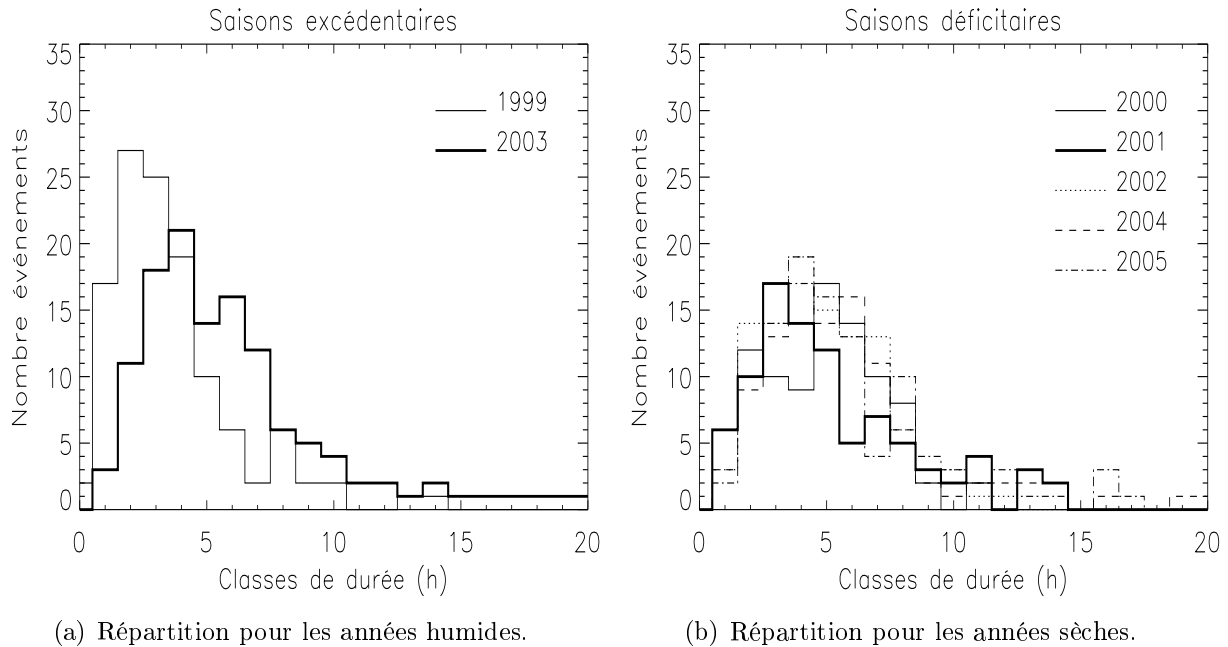


FIG. 4.6: Répartition des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin par classes de durée pour chacune des saisons de 1999 à 2005. Le trait continu épais indique l'année la plus humide sur la figure de gauche et l'année la plus sèche sur la figure de droite.

heures et 3 heures qui sont les plus nombreux ; tandis qu'au cours de la saison humide 2003, ce sont plutôt les événements de durée comprise entre 3 heures et 4 heures qui sont les plus nombreux.

Ces constats sont aussi valables pour les saisons déficitaires (FIG. 4.6.b). En effet, pour les saisons déficitaires 2000 et 2001 par exemple, bien que le maximum du nombre d'événements par classes de durée soit identique pour ces deux saisons (17 événements), il n'est pas observé dans les mêmes classes. En 2000, le maximum est observé dans la classe 5 heures à 6 heures tandis que pour la saison 2001, il est observé dans la classe 2 heures à 3 heures.

On présente sur la figure 4.7, la synthèse de la distribution du nombre d'événements et de la lame d'eau moyenne par événement, pour chaque classe de durée, sur la période 1999-2005. Sur la figure 4.7.a, on constate que 98% des événements ont une durée de moins de 15 heures et 78% des événements ont une durée comprise entre 2 heures et 8 heures. Seulement 6% des événements ont une durée de 2 heures au plus.

Concernant la pluie moyenne par événement, on observe sur la figure 4.7.b qu'elle croît régulièrement jusqu'à 22 mm pour la classe 10 heures - 11 heures. Après 11 heures de durée, la pluie moyenne semble atteindre un palier de 22 mm jusqu'à la dernière classe. Les fluctuations observées pour certaines classes sont certainement liées à l'échantillonnage c'est-à-dire aux faibles effectifs des classes concernées (FIG. 4.7.a)

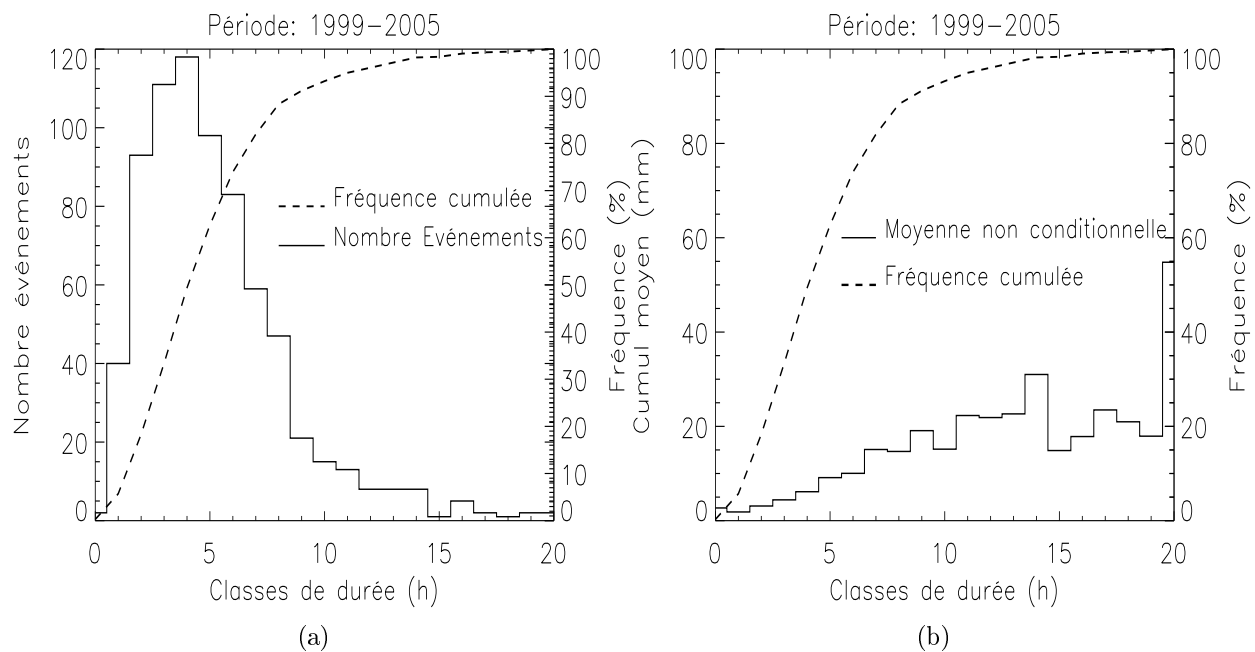


FIG. 4.7: Répartition des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et de la pluie moyenne par événement, selon les classes de durée pour la période 1999-2005.

Nous avons analysé le composite humide, constitué des deux saisons humides (1999 et 2003) et le composite sec formé des saisons sèches (2000, 2001, 2002, 2004 et 2005). La distribution du nombre moyen d'événements par classe de durée (FIG. 4.8.a) montre que l'occurrence des événements dont la durée est inférieure à 5 heures est plus élevée pour le composite humide par rapport au composite sec. Mais, entre 5 heures et 15 heures, le nombre d'événements est plus élevé pour le composite sec par rapport au composite humide. Au delà de 15 heures, il n'y a pas de différence notable entre les deux composites. Il y a donc plus d'événements qui durent plus de 5 heures au cours des saisons déficitaires que pendant les saisons excédentaires. Mais en analysant la pluviosité des événements par classes de durée, on s'aperçoit (FIG. 4.8.b) que ce qui pourrait différencier les saisons excédentaires des saisons déficitaires est que les événements qui durent plus de 10 heures produisent plus de cumul durant les saisons excédentaires que pendant les saisons déficitaires. La différence est minimale pour les événements qui durent moins de 10 heures.

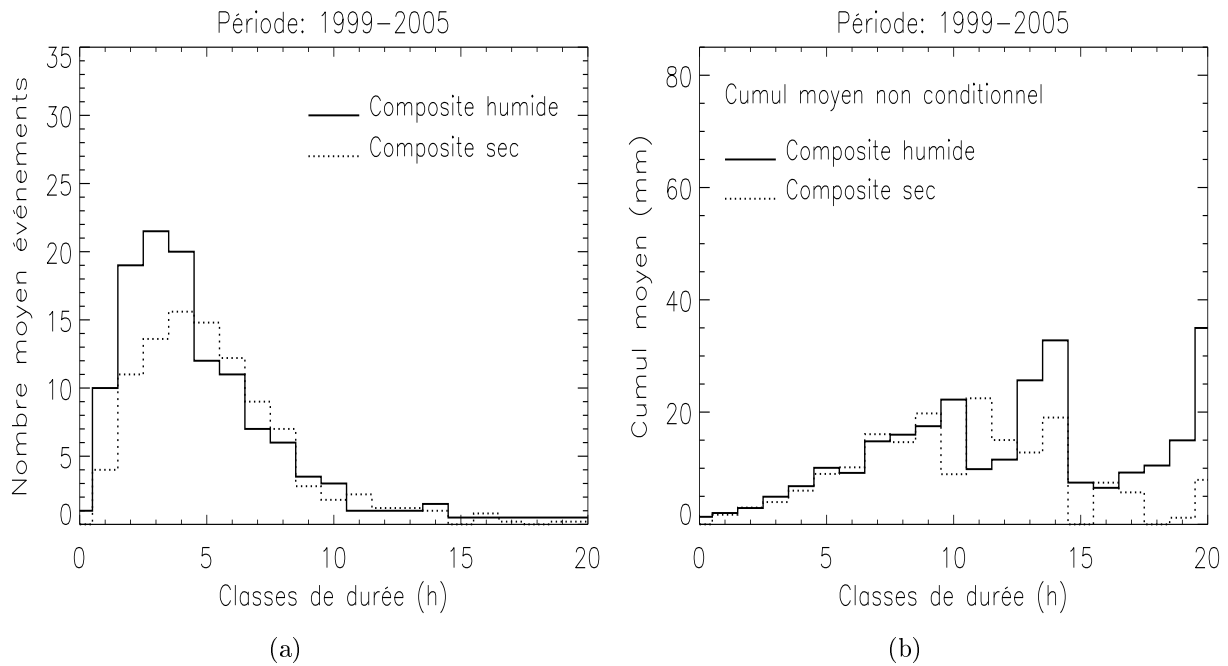


FIG. 4.8: Répartition du nombre d'événements et du cumul moyen non conditionnel par événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin selon les classes de durée pour les composites sec et humide de la période 1999-2005. Le composite sec est constitué des années sèches (2000,2001,2002,2004 et 2005) et le composite humide comprend les deux années humides (1999 et 2003).

#### 4.2.1.2 A l'échelle ponctuelle

La durée minimale d'un événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin à une station qui est touchée est de 5 minutes, compte tenu du type de données utilisées pour l'échantillonnage des événements. La durée moyenne de l'événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin à une station est bien inférieure à sa durée sur le domaine d'étude. Cette observation est liée à la définition même de l'événement qui, dans le dernier cas, intègre sa dimension spatiale. Par conséquent, l'événement peut s'arrêter à une station donnée pendant qu'il continue de pleuvoir à d'autres stations du réseau. Comme le montre le tableau 4.6, pour les stations du réseau RM1, la durée moyenne stationnelle de l'événement pluvieux est de 2 heures 30 minutes environ avec un écart type de 2 heures 38 minutes. Elle varie très peu d'une station à une autre. La durée maximale de l'événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin à une station est comprise entre 17 heures et 28 heures.

TAB. 4.6: Durée maximale ( $t_{max}$ ) et durée moyenne ( $t_{moy}$ ) des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur chacune des stations du réseau RM1. Les moyennes ont été établies à partir des durées des événements ayant touché chacune des stations sur la période 1999-2005. Les écarts-types ( $\sigma$ ) de ces séries sont associés aux valeurs moyennes. Les stations ont été classées d'Est en Ouest.

Stations	Longitude (UTM)	durée maximale ( $t_{max}$ )	durée moyenne et écart-type ( $t_{moy} \pm \sigma$ )
Ina-ceta	469.682	20h :09	2h :24 $\pm$ 2h :38
Bembereke	464.243	17h :35	2h :27 $\pm$ 2h :37
Parakou	457.462	24h :09	2h :26 $\pm$ 2h :36
Gori-bouyerou	450.667	18h :00	2h :24 $\pm$ 2h :34
Bori	438.973	18h :09	2h :25 $\pm$ 2h :34
Fo-Boure	434.199	27h :50	2h :29 $\pm$ 2h :36
Koko	429.656	22h :15	2h :30 $\pm$ 2h :43
Tobre	405.090	22h :20	2h :29 $\pm$ 2h :34
Wewe	402.937	23h :24	2h :32 $\pm$ 2h :49
Affon	400.627	19h :05	2h :18 $\pm$ 2h :40
Adiangdia-oues	387.643	16h :39	2h :22 $\pm$ 2h :32
Gaounga	384.612	25h :05	2h :24 $\pm$ 2h :42
Dogue	383.276	19h :30	2h :23 $\pm$ 2h :44
Tebou	375.101	26h :30	2h :20 $\pm$ 2h :37
Momongou	374.851	25h :15	2h :29 $\pm$ 2h :52
Sarmanga	365.284	19h :20	2h :19 $\pm$ 2h :33
Djougou	353.169	18h :30	2h :16 $\pm$ 2h :33
Pelebina	350.473	23h :20	2h :30 $\pm$ 2h :43
Copargo	341.285	23h :24	2h :23 $\pm$ 2h :48
Birni	338.873	19h :45	2h :29 $\pm$ 2h :42

Du point de vue spatial, on a recherché une liaison éventuelle entre la durée moyenne des événements à la station et la situation géographique des stations. Dans la direction Nord-Sud, comme le montre la figure 4.9 à la page 73, seule la saison 2002 semble montrer une diminution du Sud vers le Nord. Mais le coefficient de détermination  $R^2$  est très faible (environ 30%) pour permettre de conclure à un gradient significatif. Dans la direction Est-Ouest (FIG. 4.10 à la page 74), aucun gradient significatif ne se dégage. Par ailleurs, même en groupant les événements sélectionnés sur la période globale (1999-2005), les régressions effectuées avec le réseau homogène RM1 (FIG. 4.11-a et 4.11-b à la page 75) montrent qu'il n'existe pratiquement aucune corrélation significative entre la durée moyenne des événements pluvieux à la station et la position des stations sur le domaine d'étude. Par contre, le nombre d'événements touchant la station au cours de la saison semble avoir un rôle important dans

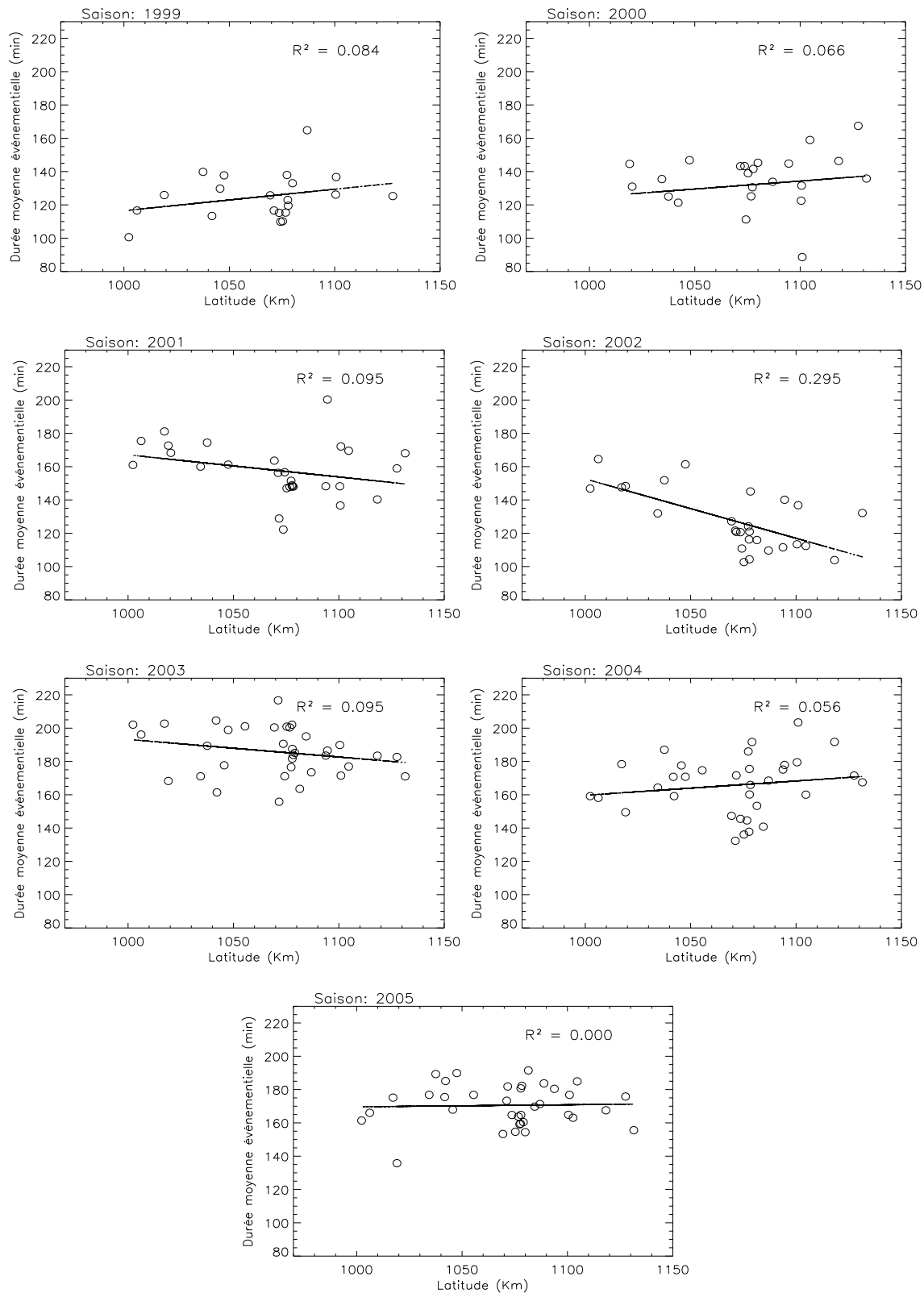


FIG. 4.9: Distribution latitudinale de la durée moyenne stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur le réseau de chacune des saisons 1999 à 2005.

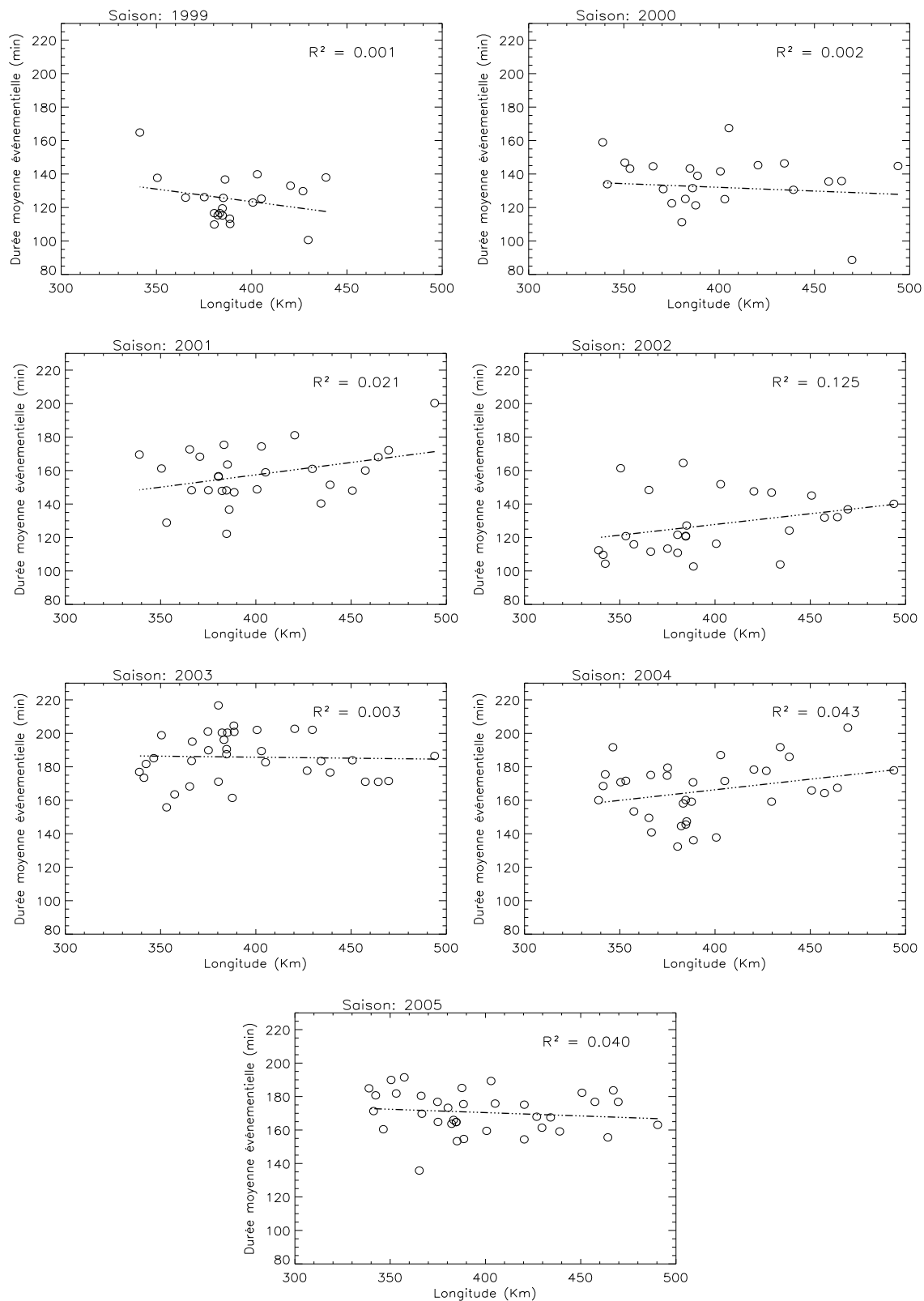
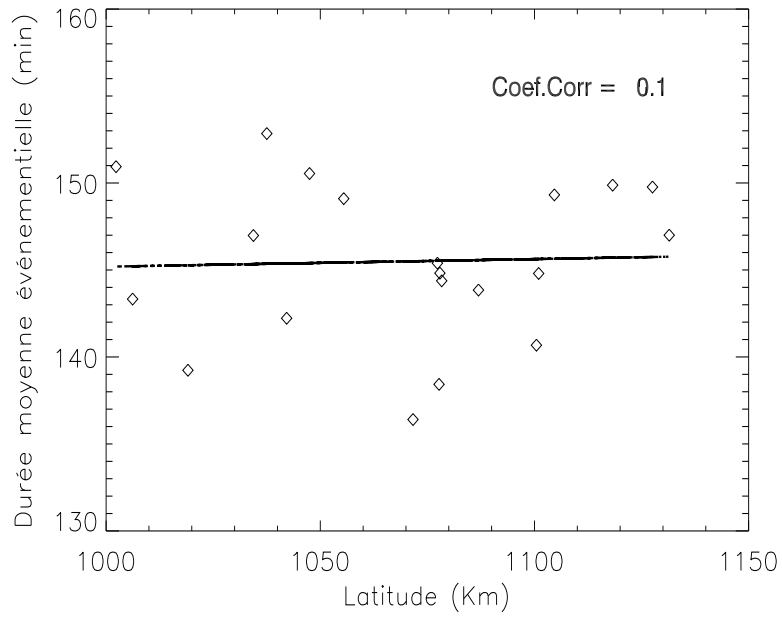
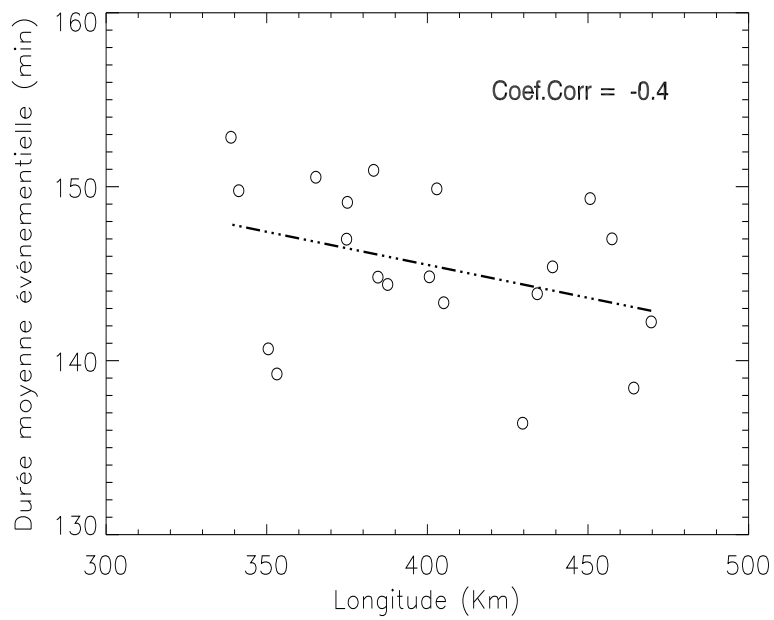


FIG. 4.10: Distribution longitudinale de la durée moyenne stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sur le réseau de chacune des saisons 1999 à 2005.



(a)



(b)

FIG. 4.11: Régression entre la durée moyenne stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et les coordonnées des stations. **Coef.Corr** indique le coefficient de corrélation.

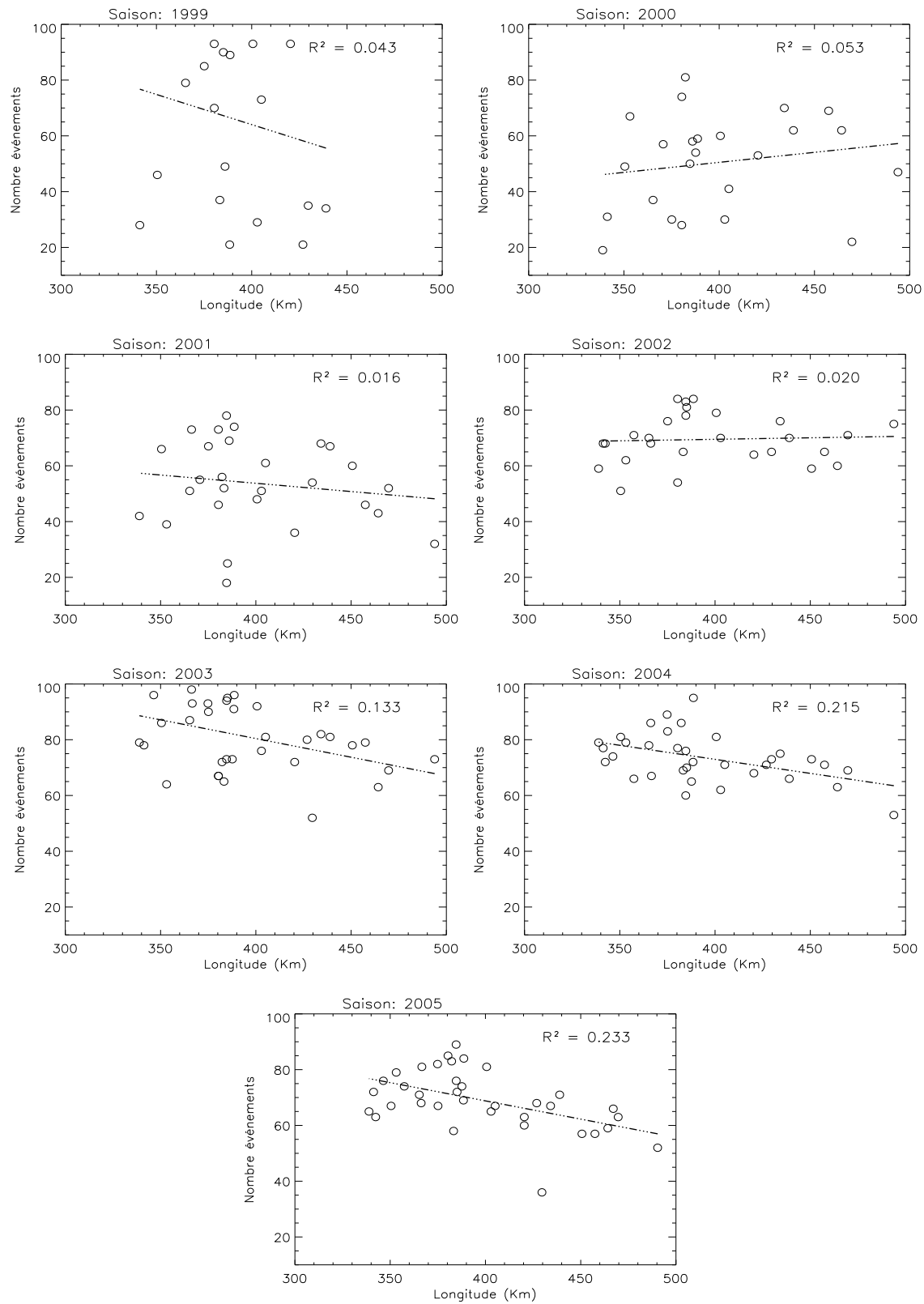


FIG. 4.12: Distribution longitudinale du nombre d'événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin touchant chaque station au cours des saisons 1999 à 2005.

la variabilité du cumul annuel. En effet, comme le montre la figure 4.12 à la page 76, le nombre d'événements présente, pour certaines saisons, une tendance à l'augmentation d'Est en Ouest qui implique un léger gradient Est-Ouest du cumul annuel. La corrélation entre le cumul annuel et le nombre d'événement sera mieux analysée à la section 4.2.2 en considérant le cumul annuel spatial obtenu par krigeage et le nombre d'événements pluvieux touchant le domaine d'étude.

### 4.2.2 Quelques grandeurs et relations caractéristiques des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin

Dans un premier temps, on analyse la distribution des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin par classes de cumul moyen puis on compare les composites sec (constitué des années déficitaires) et humide (constitué des années excédentaires). La figure 4.13 montre la distribution des événements pluvieux en fonction du cumul moyen non conditionnel pour chaque saison considérée. On constate, concernant les saisons excédentaires, que la saison est d'autant plus humide qu'elle comporte plus d'événements pluvieux dont le cumul moyen non conditionnel est supérieur à 5 mm. Par contre, pour ce qui concerne les saisons déficitaires, la distribution est plutôt contrastée, de sorte qu'il n'est pas possible de tirer une conclusion semblable à ce qui est observé au niveau des saisons excédentaires. En effet, la saison la plus déficitaire de la période (la saison 2001) comporte par exemple plus d'événements que la saison la moins déficitaire (2002) dans la classe des événements dont le cumul est compris entre 20 mm et 25 mm. Ce constat est également valable pour d'autres classes de cumul où des saisons moins déficitaires ont moins d'événements que des saisons plus déficitaires qu'elles. En regroupant toutes les saisons, on observe (FIG. 4.14) que 41% des événements pluvieux ont un cumul moyen non conditionnel inférieur ou égal à 5 mm. Environ 25% des événements produisent un cumul compris entre 5 mm et 10 mm. En outre, les événements dont le cumul est inférieur ou égal à 10 mm font 66% de l'échantillon et ceux dont le cumul est inférieur ou égal à 20 mm représentent 89% de l'échantillon total.

La distribution des composites sec et humide (FIG. 4.15 à la page 79) montre, que la différence fondamentale entre les deux composites concerne les événements pluvieux dont le cumul moyen non conditionnel est inférieur ou égal à 10 mm et ceux dont le cumul moyen non conditionnel est supérieur à 30 mm ; le composite humide comportant plus d'événements pluvieux que le composite sec.

On s'intéresse en suite dans cette section, aux maxima annuels du cumul par événements, à l'extension spatiale des événements ainsi qu'à leur contribution au cumul annuel. Le tableau 4.7 (page 80), résume pour chaque année, ainsi que pour la période considérée, les valeurs

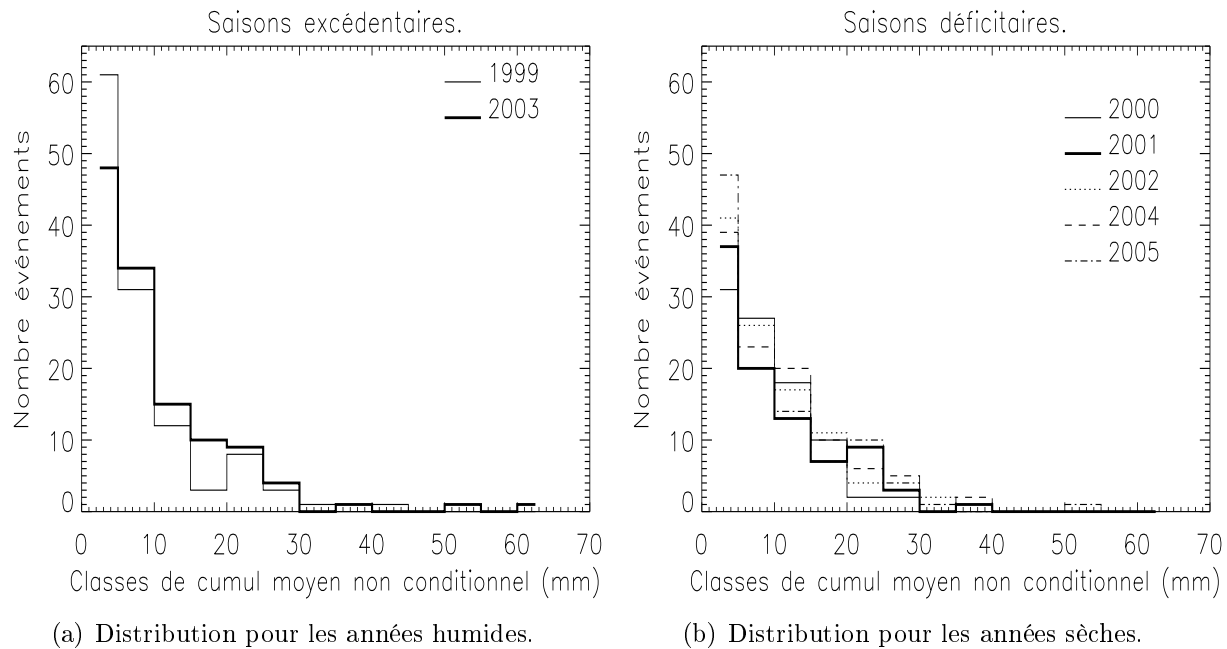


FIG. 4.13: Distribution des événements par cumul moyen non conditionnel pour chacune des années de 1999 à 2005. La saison la plus excédentaire de la période 1999-2005 est identifiée par le trait continu épais sur la figure de gauche et la saison la plus déficitaire est marquée en trait continu épais sur la figure de droite.

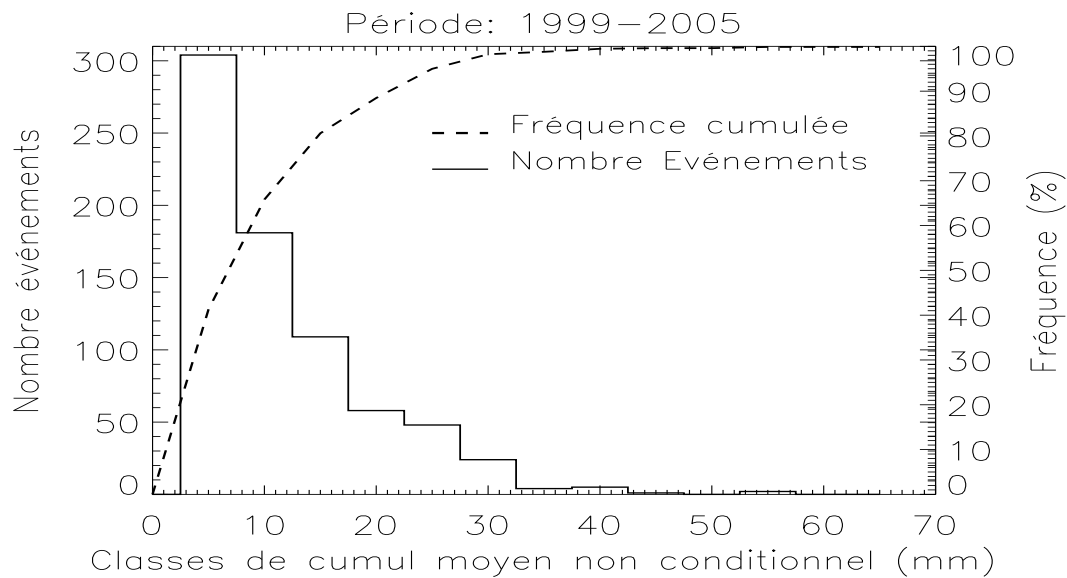


FIG. 4.14: Synthèse de la distribution des événements par cumul moyen non conditionnel sur la période 1999-2005.

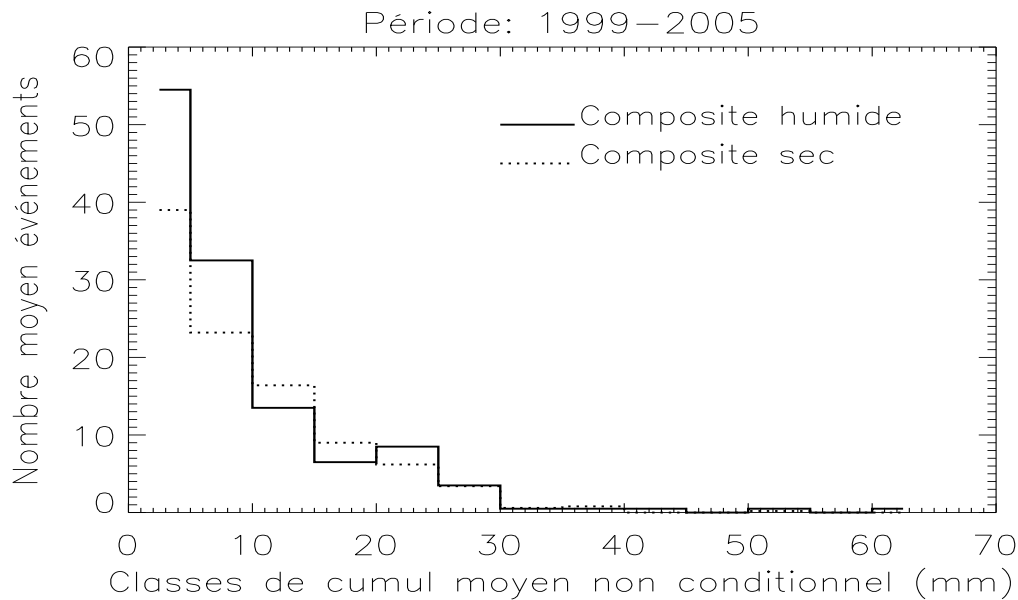


FIG. 4.15: Distribution du nombre moyen d'événements par classe de cumul moyen non conditionnel pour les composites sec et humide de la période 1999-2005.

maximales du cumul événementiel en un point du domaine et les valeurs maximales du cumul moyen spatial établi sur le domaine avec les stations touchées uniquement. Nous présentons dans le tableau 4.8 (page 80), l'extension spatiale des événements (c'est-à-dire le pourcentage moyen du réseau touché, établi à partir des pourcentages du réseau touché par chaque événement). Ce tableau comporte aussi, le cumul pluviométrique saisonnier ( $P_S$ ) établi à partir des cumuls journaliers et le cumul total de tous les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin ( $P_E$ ) de la saison. Ce qui permet d'établir l'apport des événements Ohhvo dans le cumul saisonnier ( $P_E/P_S$ ).

A l'échelle ponctuelle, on constate que les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin produisent des maxima très élevés indépendamment de la pluviosité de l'année. En effet, contrairement à ce qu'on pourrait attendre, la saison 2001 qui est la plus déficitaire enregistre un cumul maximal de 143.8 mm (à la station de Copargo) contre 97.9 mm (à la station de Donga) pour la saison humide 1999. Le plus fort cumul maximal observé sur la période 1999-2005 est de 182.8 mm et il est réalisé à la station de Babayaka en 2003. Bien que la saison 2003 soit plus pluvieuse que 2005, leurs cumuls maximaux ne sont pas pour autant très différents.

L'analyse de la date d'occurrence des maxima et leur localisation sur le domaine d'étude a été faite. En ce qui concerne la période où on observe ces maxima, le tableau 4.7 montre que c'est généralement en Juillet-Août ; soit après le saut de mousson. La figure 4.16 indique que ces maxima ponctuels sont plus fréquemment observés au Nord-Ouest de la zone d'étude.

TAB. 4.7: Valeurs maximales ponctuelles et spatiales du cumul par événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin et leurs dates d'occurrence sur la période 1999-2005.

Année	cumul maximal en un point (mm)	Date du cumul maximum en un point	Cumul maximal sur l'OHHVO (mm)	date du cumul maximum sur l'OHHVO
1999	97.9	15/07	49.3	20/09
2000	131.4	24/07	39.2	24/07
2001	143.8	21/08	42.3	21/08
2002	110.3	29/07	30.4	29/07
2003	182.8	30/07	70.0	30/07
2004	125.7	22/08	39.6	22/08
2005	180.0	12/07	54.1	12/07
1999 - 2005	182.8	30/07/2003	70.0	30/07/2003

TAB. 4.8: Caractéristiques spatiales des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et leur apport dans le cumul annuel.

Année / période	proportion moyenne du réseau touché (%) ( $\tau$ )	Cumul annuel ( $P_S$ ) en mm	Cumul global des événements ( $P_E$ ) en mm	Rapport $P_E/P_S$
1999	68.7	1167	1018	87.2
2000	71.1	994	846	85.1
2001	69.3	984	848	86.2
2002	73.2	1016	944	92.9
2003	72.2	1286	1161	90.5
2004	75.6	1105	970	87.8
2005	68.5	1122	1008	89.9
1999 - 2005	71.2	1096.3	970.7	88.5

Ceci peut s'expliquer, entre autres, par l'influence de la chaîne de l'Atacora (Onibon, 2001).

A l'échelle spatiale, les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin touchent en moyenne 70% de l'observatoire (TAB. 4.8) et apportent quantitativement, en moyenne 88% du cumul saisonnier contre une proportion comprise entre 84% et 90% pour les événements AMMA-CATCH Niger (Balme, 2004).

L'analyse des événements "avant saut de mousson" et "après saut de mousson" (TAB. 4.9) montre qu'en dehors de la saison 1999, les événements pluvieux avant le saut de mousson apportent entre 20 et 30% du cumul annuel tandis que les événements pluvieux observés

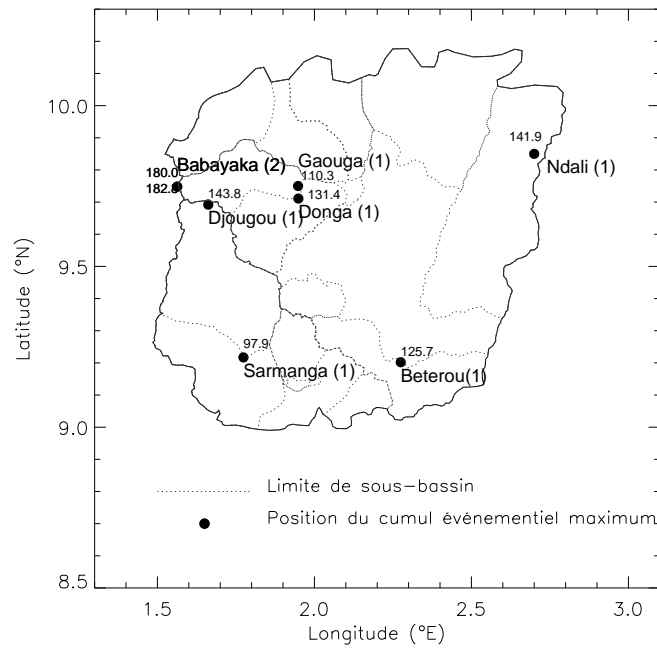


FIG. 4.16: Position du maximum ponctuel du cumul événementiel. On a placé les valeurs des maxima pour chaque position. Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de fois que le cumul maximal est observé à cette station.

TAB. 4.9: Contribution des événements observés avant puis après le saut de mousson au cumul annuel.

Année	Cumul annuel ( $P_S$ )	Cumul global Evt. ( $P_E$ )		Rapport ( $P_E/P_S$ )	
		Av. S.M.*	Apr. S.M.**	Av. S.M.	Apr. S.M.
1999	1167	115.8	902.1	9.9	77.3
2000	994	205.7	640.1	20.7	64.4
2001	984	237.5	611.1	24.1	62.1
2002	1016	303.3	640.0	29.9	63.0
2003	1286	387.3	776.7	30.1	60.4
2004	1105	341.7	628.7	30.9	56.9
2005	1122	319.6	688.9	28.5	61.4

\* Av. S.M. : Avant le Saut de Mousson

\*\* Apr. S.M. : Après le Saut de Mousson

après le saut de mousson contribuent à environ 60% au cumul annuel. Ainsi, bien que la grande partie du cumul annuel soit apportée par les événements pluvieux "après saut de mousson", la part des événements pluvieux "avant saut de mousson" n'est pas négligeable.

Les relations entre le cumul annuel et le nombre d'événements, d'une part, puis entre le cumul annuel et la pluie moyenne par événement, d'autre part, ont été étudiées. Les

figures 4.17.a et 4.17.b montrent que la pluviométrie annuelle s'explique mieux par le nombre d'événements que par la pluie moyenne par événement. La variabilité du cumul annuel semble donc ne pas dépendre de l'activité des événements.

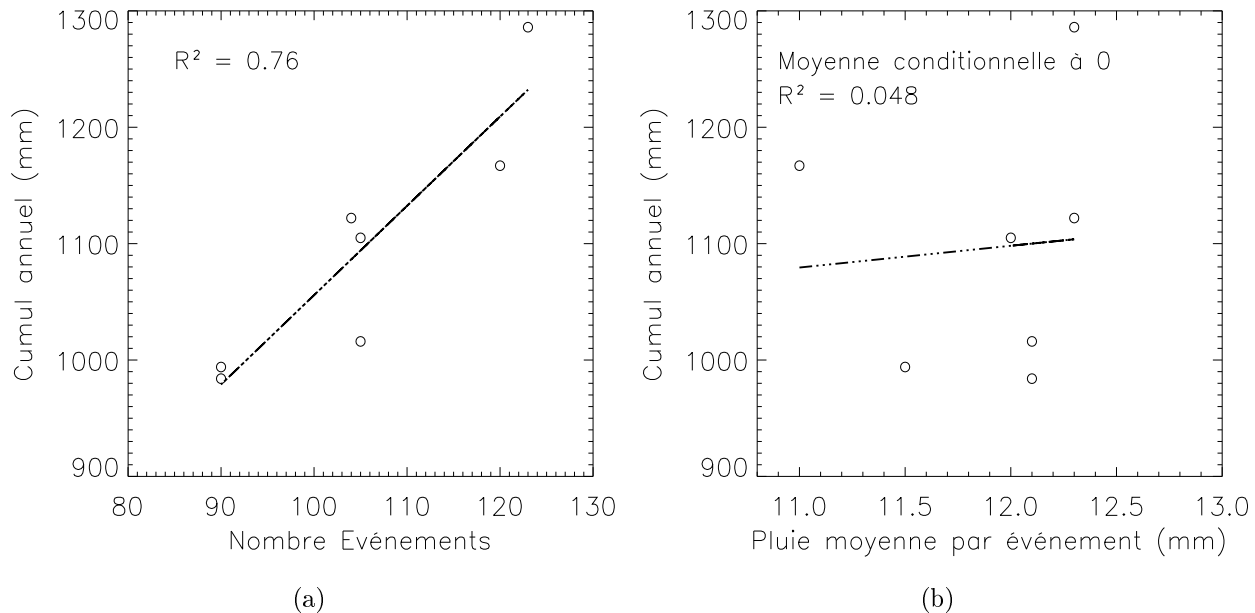


FIG. 4.17: Corrélation entre le cumul annuel et le nombre d'événements puis la pluie moyenne par événement pour la période 1999-2005.

### 4.3 Caractéristiques statistiques moyennes des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin

Dans cette section, on analyse quelques paramètres statistiques caractérisant les événements pluvieux sur l'observatoire. Pour cela, on considère l'échantillon constitué de  $N_1 = 730$  événements sélectionnés sur la période 1999-2005 que nous analyserons avec le réseau RM1. Plusieurs travaux ont mis en évidence des caractéristiques propres aux systèmes précipitants sahéliens. Dans ce cadre, Lebel *et al.* (1996), d'Amato (1998), puis Balme (2004) mettent en évidence la stationnarité temporelle et spatiale, ainsi que la distribution exponentielle de la pluie moyenne par événement au Sahel. Aucun résultat de ce genre n'est encore disponible sur les systèmes précipitants de la région soudanienne. Grâce aux données pluviométriques à fine échelle spatio-temporelle dont nous disposons actuellement sur l'OHHVO, nous cherchons ici à savoir si les systèmes pluvieux observés ont des caractéristiques intrinsèques que l'on peut analyser à la lumière de celles bien connues sur les systèmes pluvieux sahéliens. Pour ce faire, nous considérons quatre paramètres relatifs à la hauteur de pluie par événement et un

paramètre traduisant l'importance des événements. Il s'agit de la moyenne et l'écart-type non conditionnels ; la moyenne et l'écart-type conditionnels à zéro et l'intermittence. Deux échelles d'analyse sont considérées : l'échelle stationnelle et l'échelle de l'événement pluvieux. Les cinq paramètres considérés sont définis dans le paragraphe suivant pour chaque échelle.

### 4.3.1 Définition des paramètres statistiques

#### Paramètres analysant la variabilité temporelle (Paramètres stationnels)

A l'échelle ponctuelle, pour chaque station  $i$  du réseau RM1, on détermine pour chacune des saisons et pour la période globale, les paramètres suivants :

- la moyenne stationnelle non conditionnelle ( $\overline{P}_{si}$ ) et l'écart-type non conditionnel associé ( $\sigma_{si}$ ), calculés en considérant tous les cumuls de pluie par événement enregistrés à la station  $i$ , y compris les valeurs nulles.

$$\overline{P}_{si} = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} p_{ij} \quad (4.1)$$

$$\sigma_{si} = \sqrt{\left( \frac{1}{N_i - 1} \sum_{j=1}^{N_i} (p_{ij} - \overline{P}_{si})^2 \right)} \quad (4.2)$$

avec :

$p_{ij} \geq 0$  : le cumul de pluie enregistré à la station  $i$  pour l'événement  $j$

$N_i$  : le nombre total d'événements observés par la station  $i$  sur l'échantillon  $N$  considéré ( $N$  étant le nombre d'événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin de la période considérée, on observe que  $N_i$  n'est pas toujours égal à  $N$  à cause des lacunes éventuelles à la station  $i$ , mais surtout à cause de l'intermittence externe des événements pluvieux qui est très difficile à dissocier de leur intermittence interne)

- la moyenne conditionnelle à zéro ( $\overline{P}_{si}^*$ ) et l'écart-type conditionnel à zéro associé ( $\sigma_{si}^*$ ), calculés en prenant en compte uniquement les cumuls de pluie par événement strictement supérieurs à zéro enregistrés à la station  $i$ ,

$$\overline{P}_{si}^* = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} \quad \text{avec } p_{ij} > 0 \quad (4.3)$$

$$\sigma_{si}^* = \sqrt{\left( \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (p_{ij} - \overline{P}_{si}^*)^2 \right)} \quad \text{avec } p_{ij} > 0 \quad (4.4)$$

où  $n_i$  désigne le nombre total d'événements ayant touché la station  $i$  avec une pluie

supérieure à 0 parmi les  $N_i$  événements observés à cette station.

- l'intermittence  $F_{0s}(i)$ , qui est le pourcentage de cumuls de pluie nuls enregistrés à la station  $i$ , sur l'ensemble des événements pluvieux qui sont passés sur l'OHHVO.

$$F_{0s}(i) = \frac{N_i - n_i}{N_i} \quad (4.5)$$

### Paramètres analysant la variabilité spatiale (Paramètres événementiels)

A l'échelle de l'événement, on caractérise chacun des 730 événements sélectionnés par les paramètres suivants :

- sa hauteur moyenne et l'écart-type non conditionnels ( $\overline{P}_{ej}$ ,  $\sigma_{ej}$ ), calculés à partir des cumuls enregistrés à chacune des 20 stations du réseau (lorsqu'il n'y a pas de lacune), y compris les valeurs nulles,

$$\overline{P}_{ej} = \frac{1}{M_j} \sum_{i=1}^{M_j} p_{ij} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{ej} = \sqrt{\left( \frac{1}{M_j - 1} \sum_{i=1}^{M_j} (p_{ij} - \overline{P}_{ej})^2 \right)} \quad (4.7)$$

- sa moyenne et son écart type conditionnels à zéro ( $\overline{P}_{ej}^*$ ,  $\sigma_{ej}^*$ ), établis à partir des cumuls strictement supérieurs à zéro enregistrés sur le réseau ,

$$\overline{P}_{ej}^* = \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} p_{ij} \quad \text{avec } p_{ij} > 0 \quad (4.8)$$

$$\sigma_{ej}^* = \sqrt{\left( \frac{1}{m_j - 1} \sum_{i=1}^{m_j} (p_{ij} - \overline{P}_{ej}^*)^2 \right)} \quad \text{avec } p_{ij} > 0 \quad (4.9)$$

- le pourcentage de cumuls nuls observés sur le réseau pour l'événement considéré (la proportion de surface non touchée), caractérisant son intermittence spatiale,

$$F_{0e}(j) = \frac{M_j - m_j}{M_j} \quad (4.10)$$

avec les notations suivantes :

$j$  : indice de l'événement considéré,

$i$  : indice de la station considérée,

$p_{ij}$  : le cumul de pluie enregistré par la station  $i$  pour l'événement  $j$

$M_j$  : le nombre de stations en fonctionnement au cours de l'événement  $j$  sur l'ensemble des  $M = 20$  stations du réseau ( $M_j$  n'est pas toujours égal à  $M$  à cause des lacunes éventuelles sur le réseau)

$m_j$  : le nombre de stations touchées, par l'événement  $j$ , sur les  $M_j$  stations en fonctionnement.

### 4.3.2 Analyse comparative des paramètres déterminés

#### *Comparaison des paramètres stationnels et événementiels*

Le tableau 4.10 présente pour les événements échantillonnés, le nombre d'événements touchant chacune des stations ainsi que les paramètres stationnels des événements sur le réseau RM1. Ensuite, on résume dans le tableau 4.11 (page 87) les valeurs moyennes de tous les paramètres statistiques définis précédemment, pour chaque année et pour les périodes globales 1999-2005 et 2001-2005. On présente plus loin, dans la sous-section 4.4.3 (FIG. 4.26 à la page 106), la distribution spatiale du champ moyen de cumul événementiel.

L'analyse du tableau 4.11 montre, pour chaque année, ainsi que pour chaque période, que concernant :

#### **- Les valeurs des moyennes non conditionnelles**

Les valeurs stationnelles et événementielles sont très voisines dans les cas où elles ne sont pas identiques. Comme il s'agit de moyennes des moyennes de tableaux à 20 colonnes ( correspondant aux 20 stations) et N lignes (nombre d'événements de la période considérée), on s'attend que ces valeurs soient égales. Mais la présence de lacunes sur le réseau, influence la moyenne stationnelle. C'est ce qui explique que la moyenne stationnelle soit légèrement inférieure à la moyenne événementielle dans certains cas. De façon générale, la pluie moyenne événementielle est stable autour de 9.0 mm d'une année à l'autre.

#### **- Les valeurs des moyennes conditionnelles à zéro**

*Note :*

Les valeurs stationnelles ( $\overline{P}_s^*$ ) sont toujours supérieures à celles événementielles ( $\overline{P}_e^*$ ). Ceci

TAB. 4.10: Paramètres stationnels des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et coefficients de variation non conditionnel (Cv ncd) et conditionnel à zéro (Cv cd0) de la pluie par événement aux stations du réseau RM1. Les statistiques présentées sont établies sur 6 ans pour les stations marquées en gras qui n'ont pas fonctionné durant la saison 1999. Les stations sont classées d'Est en Ouest.

Stations	Nombre évts observés	Nombre cumuls non nuls	$\overline{P}_s$	$\sigma_s$	Cv (ncd)	$\overline{P}_s^*$	$\sigma_s^*$	Cv (cd0)	$F_{0s}$
Ina-ceta	667	400	7.7	12.3	1.6	12.8	13.7	1.1	40.0
<b>Bembereke</b>	592	358	8.1	13.5	1.7	13.4	15.1	1.1	39.5
<b>Parakou</b>	618	383	7.7	13.4	1.7	12.4	15.2	1.2	38.0
Gori-bouyerou	694	441	8.6	14.5	1.7	13.5	16.3	1.2	36.5
Bori	649	443	8.7	13.6	1.6	12.8	14.7	1.2	31.7
Fo-Boure	723	485	8.5	13.1	1.5	12.6	14.3	1.1	32.9
Koko	643	319	7.8	16.1	2.1	15.8	19.9	1.3	50.4
Tobre	640	409	8.7	13.8	1.6	13.6	15.3	1.1	36.1
Wewe	618	389	9.6	15.5	1.6	15.2	17.2	1.1	37.1
Affon	664	519	10.3	14.0	1.4	13.1	14.6	1.1	21.8
<b>Adiangdia-ouest</b>	602	405	9.2	14.8	1.6	13.7	16.3	1.2	32.7
Gaounga	642	498	9.5	14.0	1.5	12.3	14.8	1.2	22.4
Dogue	660	367	7.5	13.4	1.8	13.5	15.6	1.2	44.4
Tebou	679	482	9.1	13.7	1.5	12.8	14.7	1.1	29.0
Momongou	703	505	9.6	15.0	1.6	13.3	16.3	1.2	28.2
Sarmanga	660	466	9.3	14.9	1.6	13.2	16.2	1.2	29.4
Djougou	638	409	9.6	16.8	1.8	15.0	19.0	1.3	35.9
Pelebina	653	457	9.7	15.2	1.6	13.8	16.6	1.2	30.0
Copargo	640	386	8.8	15.6	1.8	14.6	17.9	1.2	39.7
<b>Birni</b>	521	341	9.6	14.7	1.5	14.6	16.0	1.1	34.5
Moyenne	645	423	8.9	14.4	1.6	13.6	16.0	1.2	34.5

s'explique par la façon dont on calcule ces deux paramètres. En effet, on a respectivement :

$$\overline{P}_s^* = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \overline{P}_{s_i}^* \quad \text{et} \quad \overline{P}_e^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \overline{P}_{e_j}^* \quad (4.11)$$

et en utilisant les équations 4.3 et 4.8 avec les mêmes notations que précédemment, on obtient :

$$\overline{P}_s^* = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left( \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} \right) \quad (4.12)$$

TAB. 4.11: Caractéristiques moyennes des paramètres stationnels et événementiels en mm des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin de 1999 à 2005 et sur les périodes 1999-2005 et 2001-2005 pour le réseau RM1.

Période	Type de saison	$\overline{P_s}$	$\overline{P_e}$	$\sigma_s$	$\sigma_e$	$\overline{P_s}^*$	$\overline{P_e}^*$	$\sigma_s^*$	$\sigma_e^*$	$F_{0s}$	$F_{0e}$
1999	humide	8.9	9.1	13.8	11.0	13.3	12.6	15.5	11.4	33.2	31.7
2000	sèche	8.6	8.6	13.4	11.1	14.7	11.9	15.0	11.7	34.1	33.4
2001	sèche	9.8	9.8	15.9	10.7	15.1	13.0	17.7	11.5	33.2	33.9
2002	sèche	8.6	8.7	13.6	10.0	13.5	12.1	14.9	11.1	35.8	35.9
2003	humide	8.4	8.4	14.7	9.9	13.6	11.4	16.8	11.0	38.1	38.4
2004	sèche	8.6	8.8	13.5	9.6	12.8	11.4	14.7	10.4	32.6	33.3
2005	sèche	9.2	9.3	13.8	10.2	13.9	12.7	15.0	11.3	33.9	34.0
1999-2005	-	8.9	9.0	14.1	10.4	13.8	12.1	15.7	11.2	34.4	34.4
2001-2005	-	8.9	9.0	14.3	10.1	13.8	12.1	15.8	11.1	34.7	35.0

$$\overline{P_e}^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left( \frac{1}{m_j} \sum_{i=1}^{m_j} p_{ij} \right) \quad (4.13)$$

$M$  et  $n_i$  (respectivement  $N$  et  $m_j$ ) étant indépendants des indices de sommation, on peut les introduire dans les sommations. On obtient alors :

$$\overline{P_s}^* = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{M} \times \frac{1}{n_i} \times p_{ij} \quad (4.14)$$

$$\overline{P_e}^* = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{m_j} \frac{1}{N} \times \frac{1}{m_j} \times p_{ij} \quad (4.15)$$

Les équations 4.14 et 4.15 montrent que chaque cumul non nul  $p_{ij}$  est pondéré par un coefficient ( $\beta$ ) qui s'écrit :

$$\beta_s = \frac{1}{M} \times \frac{1}{n_i} \quad \text{pour le paramètre stationnel} \quad (4.16)$$

$$\beta_e = \frac{1}{N} \times \frac{1}{m_j} \quad \text{pour le paramètre événementiel} \quad (4.17)$$

avec :

$M$  : le nombre de stations du réseau (*ici*  $M = 20$ ),

$n_i$  : le nombre de valeurs non nulles à la station  $i$ ,

$N$  : le nombre total d'événements sélectionnés sur la période considérée,

$m_j$  : le nombre de valeurs non nulles pour l'événement  $j$ .

Ce coefficient de pondération prend des valeurs différentes selon qu'il est calculé par rapport aux stations ou par rapport aux événements. Si nous considérons par exemple la période 1999-2005 où  $N = 730$ ,  $M = 20$  et qu'on prend un événement  $j$  d'intermittence  $F_{0e} = 40\%$  et une station  $i$  où l'intermittence ponctuelle vaut  $F_{0s} = 20\%$  alors on aura :  $n_i = 584$  cumuls non nuls enregistrés à cette station, et  $m_j = 12$  stations touchées par l'événement considéré. On obtient alors les valeurs suivantes :  $\beta_s = \frac{1}{11680}$  et  $\beta_e = \frac{1}{8760}$ . D'où la différence entre  $\overline{P}_s^*$  et  $\overline{P}_e^*$ . En outre, si pour ce même exemple, on considérait un événement plus intermittent ; par exemple  $F_{0e} = 50\%$ , on aurait  $m_j = 10$ ,  $\beta_s = \frac{1}{11680}$  et  $\beta_e = \frac{1}{7300}$ . Donc, plus l'événement est intermittent, plus  $m_j$  est petit et plus  $\beta_e$  est grand. Or les événements à forte intermittence sont ceux pour lesquels, en général, le cumul moyen est plus faible. Ainsi, On surpondère les faibles valeurs dans le calcul des moyennes événementielles ( $\overline{P}_e^*$ ). Ce biais n'existe pas dans le calcul des moyennes stationnelles ( $\overline{P}_s^*$ ). C'est ce qui explique que  $\overline{P}_s^*$  soit supérieur à  $\overline{P}_e^*$ .

#### - Les valeurs des écarts-types

Les valeurs stationnelles qui représentent la variabilité moyenne inter-événement sont systématiquement supérieures à celles événementielles, représentant la variabilité moyenne intra-événement. Ce résultats concernent aussi bien les valeurs non conditionnelles que les valeurs conditionnées à zéro. Ce qui signifie que la variabilité inter-événementielle est plus importante que la variabilité interne des événements. Mais vu la possibilité d'existence d'auto-corrélation sur le réseau considéré compte tenu de la taille du domaine, la valeur de l'écart-type événementielle est probablement sous-estimée.

#### *Comparaison des paramètres stationnels entre eux*

Dans ce paragraphe, on analyse les relations entre les paramètres stationnels sur chacune des deux périodes considérées. Pour cela, on les compare deux à deux afin de mettre en évidence des liaisons statistiques éventuelles entre eux par régression linéaire. Les tableaux 4.12 et 4.13 résument les coefficients de corrélation des régressions effectuées sur les périodes 1999-2005 et 2001-2005.

On constate que sur les deux périodes, la pluie moyenne stationnelle par événement conditionnée à zéro n'est pas corrélée avec l'intermittence des événements (coefficient de corrélation très faible). Le champ des moyennes non conditionnées est beaucoup plus déterminé par l'intermittence que par la moyenne conditionnée à zéro. On peut considérer que la moyenne

TAB. 4.12: Coefficient de corrélation  $r$  entre les paramètres stationnels sur la période 1999-2005.

Coefficient de corrélation $r$	$\overline{P}_s$	$\overline{P}_s^*$	$\sigma_s$	$\sigma_s^*$	$F_{0s}$
$\overline{P}_s$	1				
$\overline{P}_s^*$	0.25	1			
$\sigma_s$	0.60	0.76	1		
$\sigma_s^*$	0.27	0.84	0.89	1	
$F_{0s}$	0.71	0.40	0.08	0.27	1

TAB. 4.13: Coefficient de corrélation  $r$  entre les paramètres stationnels sur la période 2001-2005

Coefficient de corrélation $r$	$\overline{P}_s$	$\overline{P}_s^*$	$\sigma_s$	$\sigma_s^*$	$F_{0s}$
$\overline{P}_s$	1				
$\overline{P}_s^*$	0.50	1			
$\sigma_s$	0.83	0.74	1		
$\sigma_s^*$	0.66	0.84	0.95	1	
$F_{0s}$	0.60	0.30	0.26	0.02	1

stationnelle conditionnelle est stationnaire dans l'espace. Ceci sera confirmé plus loin à la page 106 (FIG. 4.26) par l'analyse de la distribution spatiale de ce paramètre.

### *Comparaison des paramètres événementiels entre eux*

On procède, comme dans le paragraphe précédent, à la comparaison des paramètres événementiels entre eux deux à deux par régression. Les tableaux 4.14 et 4.15 résument les valeurs des coefficients de corrélation des régressions entre paramètres pour les événements des périodes 1999-2005 et 2001-2005.

TAB. 4.14: Coefficient de Corrélation  $r$  des régressions linéaires entre paramètres événementiels sur la période 1999-2005.

Coefficient de corrélation $r$	$\overline{P}_e$	$\overline{P}_e^*$	$\sigma_e$	$\sigma_e^*$	$F_{0e}$
$\overline{P}_e$	1				
$\overline{P}_e^*$	0.94	1			
$\sigma_e$	0.87	0.92	1		
$\sigma_e^*$	0.75	0.85	0.97	1	
$F_{0e}$	0.78	0.54	0.50	0.34	1

TAB. 4.15: Coefficient de corrélation  $r$  des régressions linéaires entre paramètres événementiels sur la période 2001-2005.

Coefficient de corrélation $r$	$\overline{P_e}$	$\overline{P_e^*}$	$\sigma_e$	$\sigma_s^e$	$F_{0e}$
$\frac{\overline{P_e}}{\overline{P_e^*}}$	1				
$\frac{\overline{P_e^*}}{\overline{P_e}}$	0.93	1			
$\frac{\sigma_e}{\sigma_e^*}$	0.87	0.93	1		
$\frac{\sigma_e^*}{\sigma_e}$	0.75	0.86	0.97	1	
$\frac{F_{0e}}{F_{0e}}$	0.80	0.55	0.51	0.34	1

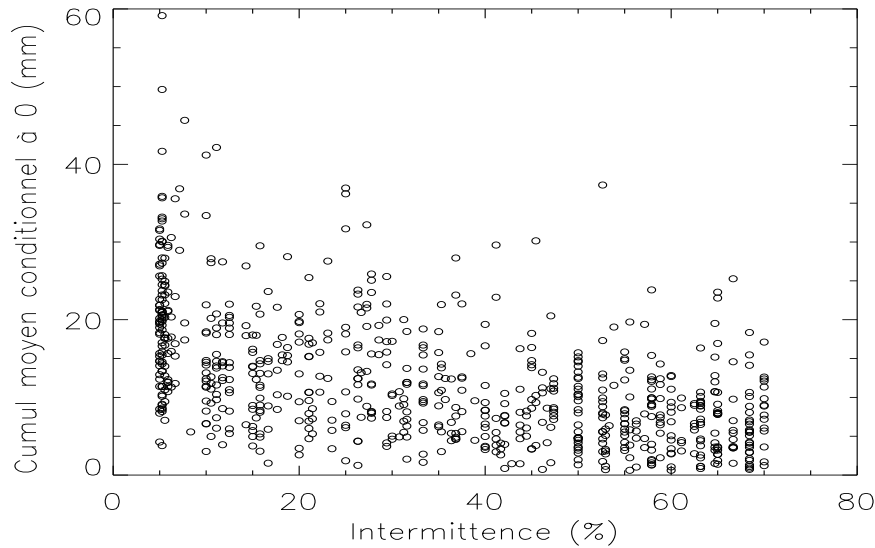


FIG. 4.18: Corrélation entre moyenne événementielle conditionnelle à zéro et intermittence.

Contrairement au cas stationnel, on constate ici une légère corrélation entre la moyenne conditionnelle événementielle et l'intermittence ( $r = 0.54$  pour la période 1999-2005 et  $r = 0.55$  pour la période 2001-2005). Comme l'indique la figure 4.18, les événements dont l'intermittence est inférieure à 5% ont une moyenne conditionnelle supérieure à 15 mm et tous les événements dont la moyenne est supérieure à 35 mm ont une intermittence inférieure ou égale à 5%. La corrélation est plus marquée entre l'intermittence et la moyenne événementielle non conditionnée à zéro.

*Caractéristiques statistiques des événements "avant saut de mousson" puis "après saut de mousson"*

On analyse maintenant les cinq paramètres précédemment définis en considérant les groupes d'événements "avant saut de mousson" puis "après saut de mousson". Les tableaux 4.16 et 4.17 montrent que les cumuls moyens (conditionnels ou non) "avant saut de mousson" sont nettement supérieurs aux valeurs "après saut de mousson" pour les saisons humides. Pour les saisons déficitaires, il n'y a pas de tendance systématique. Cependant, en dehors de la saison 2004, on observe que le cumul moyen non conditionnel semble plus faible avant le saut de mousson (TAB. 4.16). Mais l'écart entre les deux phases n'est pas très marqué comme dans le cas des saisons excédentaires.

Les écarts types sont caractérisés par une forte variabilité interannuelle ; qu'ils soient considérés avant ou après le saut de mousson. On note par ailleurs, qu'en général, les événements avant le saut de mousson sont moins intermittents qu'après le saut de mousson.

En résumé, la tendance globale qui se dégage de ces deux tableaux est que les événements "avant saut de mousson" semblent plus productifs et moins intermittents que ceux "après saut de mousson". Or comme on l'a fait remarquer plus haut à la section 4.2.2 (TAB. 4.9 à la page 81), l'essentiel du cumul annuel est apporté par les événements "après saut de mousson". Ceci s'explique par leur nombre qui représente en moyenne 72% du total des événements observés par saison.

TAB. 4.16: Moyenne et écart-type non conditionnels des cumuls événementiels avant puis après le saut de mousson.

Année	État de la saison	$\overline{P_e}$		$\sigma_e$	
		Av. S.M*	Apr. S.M**	Av. S.M	Apr. S.M
1999	humide	9.8	9.0	12.0	10.9
2000	sec	8.2	8.7	9.3	11.7
2001	sec	9.5	9.9	11.3	10.5
2002	sec	9.2	8.5	10.0	10.1
2003	humide	9.5	7.9	10.1	9.7
2004	sec	10.4	8.2	10.4	9.3
2005	sec	8.9	9.5	9.8	10.4

\* Av. S.M. : Avant le Saut de Mousson

\*\* Apr. S.M. : Après le Saut de Mousson

TAB. 4.17: Moyenne et écart-type conditionnels à zéro puis intermittence des événements avant puis après le saut de mousson.

Année	État de la saison	$\overline{P_e^*}$		$\sigma_e^*$		$F_{0e}$	
		Av. S.M	Apr. S.M	Av. S.M	Apr. S.M	Av. S.M	Apr. S.M
1999	Humide	13.8	12.5	11.9	11.3	31.4	31.6
2000	sec	10.4	12.4	9.5	12.5	25.2	35.5
2001	sec	13.4	12.8	11.9	11.3	33.4	33.2
2002	sec	12.7	11.8	10.5	11.4	33.2	35.9
2003	humide	13.1	10.7	11.0	11.0	38.9	37.8
2004	sec	13.1	10.7	11.3	10.1	29.1	33.8
2005	sec	12.1	13.0	10.4	11.8	34.7	33.0

### *Comparaison des paramètres déterminés sur l'OHHVO avec ceux des événements AMMA-CATCH Niger*

On résume dans le tableau 4.18 les moyennes des paramètres calculés sur les périodes 1999-2005 et 2001-2005 que l'on compare à ceux déterminés par Lebel *et al.* (1996), Lebel *et al.* (1997), d'Amato et Lebel (1998) et réactualisés par Balme (2004) en utilisant les données AMMA-CATCH Niger sur les périodes 1990-1995 et 1990-2002 (TAB. 4.18).

TAB. 4.18: Comparaison des valeurs moyennes (en mm) des paramètres stationnels (Stat.) et événementiels (Evt.) estimées sur l'OHHVO à celles déterminées sur la région AMMA-CATCH Niger.

Zone / Périodes	Moy ncd		Moy cdo		Ect ncd		Ect cd0	
	Stat.	Evt.	Stat.	Evt.	Stat.	Evt.	Stat.	Evt.
<b>OHHVO / 1999-2005</b>	8.9	9.0	13.8	12.1	14.1	10.4	15.7	11.2
<b>OHHVO / 2001-2005</b>	8.9	9.0	13.8	12.1	14.3	10.1	15.8	11.1
<b>EPSAT-Niger / 1990-2002**</b>	10.6	10.9	14.8	13.0	14.5	9.8	15.2	10.3
<b>EPSAT-Niger / 1990-1995*</b>	10.6	10.6	14.3	12.7	14.1	9.6	14.7	10.1

\* : d'après Lebel *et al.* (1997) et d'Amato et Lebel (1998)

\*\* : d'après Balme (2004)

On constate que s'agissant des moyennes non conditionnelles, les valeurs AMMA-CATCH Niger sont légèrement supérieures à celles de l'OHHVO. Par contre, les moyennes conditionnelles stationnelles sont du même ordre de grandeur tandis que les moyennes conditionnelles événementielles de l'OHHVO sont légèrement inférieures à celles d'AMMA-CATCH Niger. En ce qui concerne les écarts-types, on remarque que les valeurs non conditionnelles sta-

TAB. 4.19: Comparaison de quelques caractéristiques des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et AMMA-CATCH Niger.

<b>Zone / Périodes</b>	cumul moyen annuel (mm)	nombre moyen Evt. par an	Intermittence : $F_0$ (%)
<b>OHHVO / 1999-2005</b>	1096	105	34
<b>OHHVO / 2001-2005</b>	1103	105	35
<b>EPSAT-Niger / 1990-2002**</b>	515	42	28
<b>EPSAT-Niger / 1990-1995*</b>	508	43	26

\* : d'après Lebel et al. (1997) et d'Amato et Lebel (1998)

\*\* : d'après Balme (2004)

tionnelles sont du même ordre de grandeur sur les deux zones. Les valeurs conditionnelles à zéro de l'OHHVO sont légèrement supérieures à celles de la région AMMA-CATCH Niger, qu'elles soient calculées vis-à-vis des stations ou des événements. Par ailleurs, on note avec Lebel *et al.* (1997) ; d'Amato et Lebel (1998) puis Balme (2004), une stationnarité temporelle de tous les paramètres déterminés sur la zone AMMA-CATCH Niger par rapport aux deux périodes considérées. De même, pour les paramètres calculés sur l'OHHVO, la tendance est la même, de sorte qu'on pourrait conclure à une stationnarité temporelle de tous ces paramètres sur l'OHHVO. Mais compte tenu de la taille de notre échantillon, ce résultat mérite d'être vérifié avec des données d'observations plus longues.

Le cumul moyen interannuel de l'OHHVO est environ le double de celui de la région AMMA-CATCH Niger. Ce rapport semble s'expliquer, comme on l'observe sur le tableau 4.19, par le nombre d'événements pluvieux de l'OHHVO qui est environ le double du nombre d'événements pluvieux AMMA-CATCH Niger ; la pluviosité par événement étant sensiblement la même (12-13 mm) sur les deux zones (TAB. 4.18)

### 4.3.3 Variabilité interannuelle des paramètres stationnels

Les variations d'une année sur l'autre des paramètres stationnels estimés aux 20 stations du réseau RM1 font l'objet de ce paragraphe. On représente alors les valeurs moyennes de ces paramètres stationnels déterminés saison par saison en relation avec les valeurs statistiques des périodes globales 1999-2005 et 2001-2005. Sur la figure 4.19, les barres d'erreurs matérialisant l'écart-type associé aux 20 valeurs du paramètre considéré sont également représentées en chaque point. On constate qu'en dehors de l'intermittence, les cinq premières saisons présentent une forte variation les unes par rapport aux autres pour tous les paramètres. La variation est beaucoup moins importante entre les deux dernières saisons (2004 et 2005) quelque soit le paramètre considéré. Mais les écarts-types montrent une grande dispersion

de chaque paramètre. La comparaison des périodes globales 1999-2005 et 2001-2005 montre que chaque paramètre garde pratiquement les mêmes valeurs sur ces deux périodes.

Notons que, comme l'indique Saporta (1974), les fluctuations des différents paramètres à l'intérieur de chaque période d'observations restent dans les limites d'échantillonnage et, les sept saisons de mesures ne permettent pas, pour le moment, de conclure à une tendance réelle. D'où la nécessité de maintenir un réseau de suivi à long terme s'impose afin de mieux analyser les relations entre pluviosité de la saison, nombre d'événements pluvieux et caractéristiques des événements pluvieux.

Cependant, à chaque courbe montrant l'évolution d'un paramètre, on a superposé le cumul annuel afin de déterminer le paramètre dont la variabilité expliquerait la variabilité du cumul annuel. Seule la figure 4.19.e semble montrer une bonne corrélation entre le cumul annuel et l'intermittence. Ce qui montre, comme on l'a déjà vu à la figure 4.17.a de la section 4.2.2, que la variabilité du cumul annuel s'explique mieux par le nombre d'événements pluvieux qui touchent le réseau que par leurs propriétés caractéristiques.

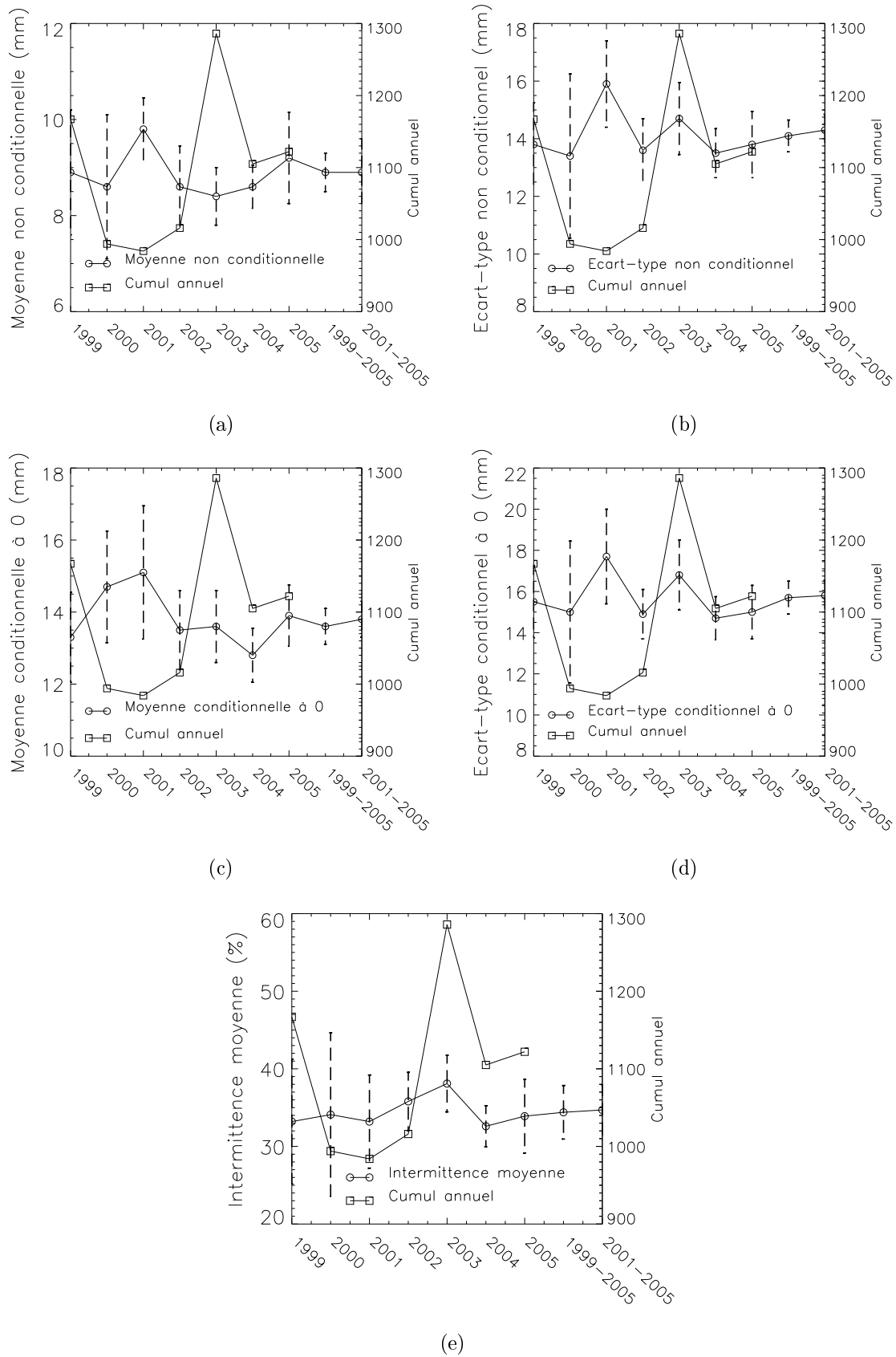


FIG. 4.19: Variations interannuelles des paramètres stationnels des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin.

## 4.4 Distribution des cumuls événementiels

### 4.4.1 Ajustement des séries tronquées aux pluies non nulles

A partir des événements observés par le réseau RM1 sur l'observatoire de 1999 à 2005, on a constitué en chacune des 20 stations, la série de cumuls non nuls par événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin l'ayant touché. Le but de ce paragraphe est de chercher à ajuster une fonction de répartition à la distribution fréquentielle de ces cumuls ponctuels non nuls. En la matière, on utilise couramment en hydrologie des modèles de type exponentiel ou gamma (Guillot, 1998; Tapsoba, 1997). La pertinence de l'ajustement du modèle exponentiel a été montrée pour les événements AMMA-CATCH Niger (d'Amato, 1998; Lebel *et al.*, 1997; Lebel *et al.*, 1996). Nous cherchons donc ici à évaluer le comportement des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin par rapport au modèle exponentiel qui est un modèle relativement simple à peu de paramètres.

La fonction de répartition du modèle exponentiel s'exprime par :

$$F(x) = 1 - \exp\left(\frac{-(x - x_0)}{\sigma}\right) \quad (4.18)$$

avec  $x > 0$  et  $x_0$  un paramètre de position que nous avons considéré nul ici pour les séries tronquées aux pluies nulles. Dans la pratique, on détermine les fonctions de répartition avec la formule de Hazen (Équation 4.19) en classant les observations par ordre croissant.

$$F(x_r) = \frac{r - 0.5}{N} \quad (4.19)$$

avec  $r$  le rang occupé par de l'observation  $x_r$  en classant tous les cumuls non nuls dans l'ordre croissant.  $N$ , représente la taille de l'échantillon considéré.

La démarche que nous avons adoptée consiste à tester dans un premier temps le modèle exponentiel sur chacune des 20 stations du réseau RM1, puis ensuite de rechercher les paramètres d'un modèle régional capable de bien représenter les cumuls ponctuels. L'ajustement exponentiel a donc été réalisé pour les 20 stations du réseau RM1 en considérant pour chacune d'elles son paramètre de forme propre ; c'est-à-dire l'écart type de la série correspondante. Les résultats obtenus sont globalement satisfaisants et on peut considérer que la distribution du cumul ponctuel événementiel est exponentielle, bien qu'on observe dans certains cas (FIG. 4.20 à la page 98), une déviation vers le haut (comme à Momongou : FIG. 4.20.c), ou une déviation vers le bas (cas de la figure 4.20.b à Ina-CETA : Collège d'Enseignement Technique Agricole). En général, on retrouve une bonne adéquation entre la variance théorique

du modèle et la variance des observations (FIG. 4.21 à la page 99).

TAB. 4.20: Cumuls ponctuels événementiels (mm) et périodes de retour correspondantes sur le supersite

Stations	Période de retour				
	1 an	2 ans	5 ans	10 ans	25 ans
Akèkèrou	56	66	78	87	99
Ananiga	49	57	68	77	88
Bombone	54	63	75	84	96
Dapéréfoungou	64	75	89	99	113
Donga	62	72	85	96	109
Gaounga	70	82	97	109	124
Zoumboubani	52	61	72	81	92

Ces ajustements conduisent à estimer les valeurs extrêmes des cumuls ponctuels événementiels. Nous indiquons dans le tableau 4.20 les valeurs des précipitations et leurs périodes de retour correspondantes sur la cible (domaine de  $150 \text{ Km}^2$  environ) située sur le bassin de la Donga. Les correspondances entre périodes de retour à l'échelle de l'événement pluvieux ( $T_{ev}$ ), la fréquence puis la période de retour au pas de temps annuel ( $T_{an}$ ) sont données par :

$$T_{ev} = \frac{1}{1 - F_{ev}} \quad \text{et} \quad T_{an} = \frac{T_{ev}}{\bar{N}}$$

avec  $\bar{N}$  le nombre moyen d'événements pluvieux sur la période considérée (ici  $\bar{N} = 105$  pour la période 1999-2005).

Ainsi, les valeurs de cumuls événementiels  $P_{ev}$  de fréquence  $F_{ev}$  sont obtenues, à partir de la loi de distribution exponentielle par :

$$P_{ev} = -\sigma_s^* \text{Ln}(1 - F_{ev})$$

Le tableau 4.20 montre que la stationnarité spatiale du cumul ponctuel événementiel à l'échelle de la région AMMA-CATCH Bénin n'est pas réelle à une échelle spatiale fine. En effet, la pluie décennale qui vaut 109 mm à Gaounga n'est que de 96 mm à la station de Donga ; donc une différence de 13 mm entre deux stations séparées par une distance de 4.3 km. Mais, il convient de rester toutefois prudent, comme l'a souligné Bouleau (1998), par rapport à l'extrapolation à des valeurs non observées puisque dans la pratique, on a remplacé une loi empirique discrète par une loi continue arbitraire ; ce qui peut conduire à des conclusions très éloignées de la réalité.

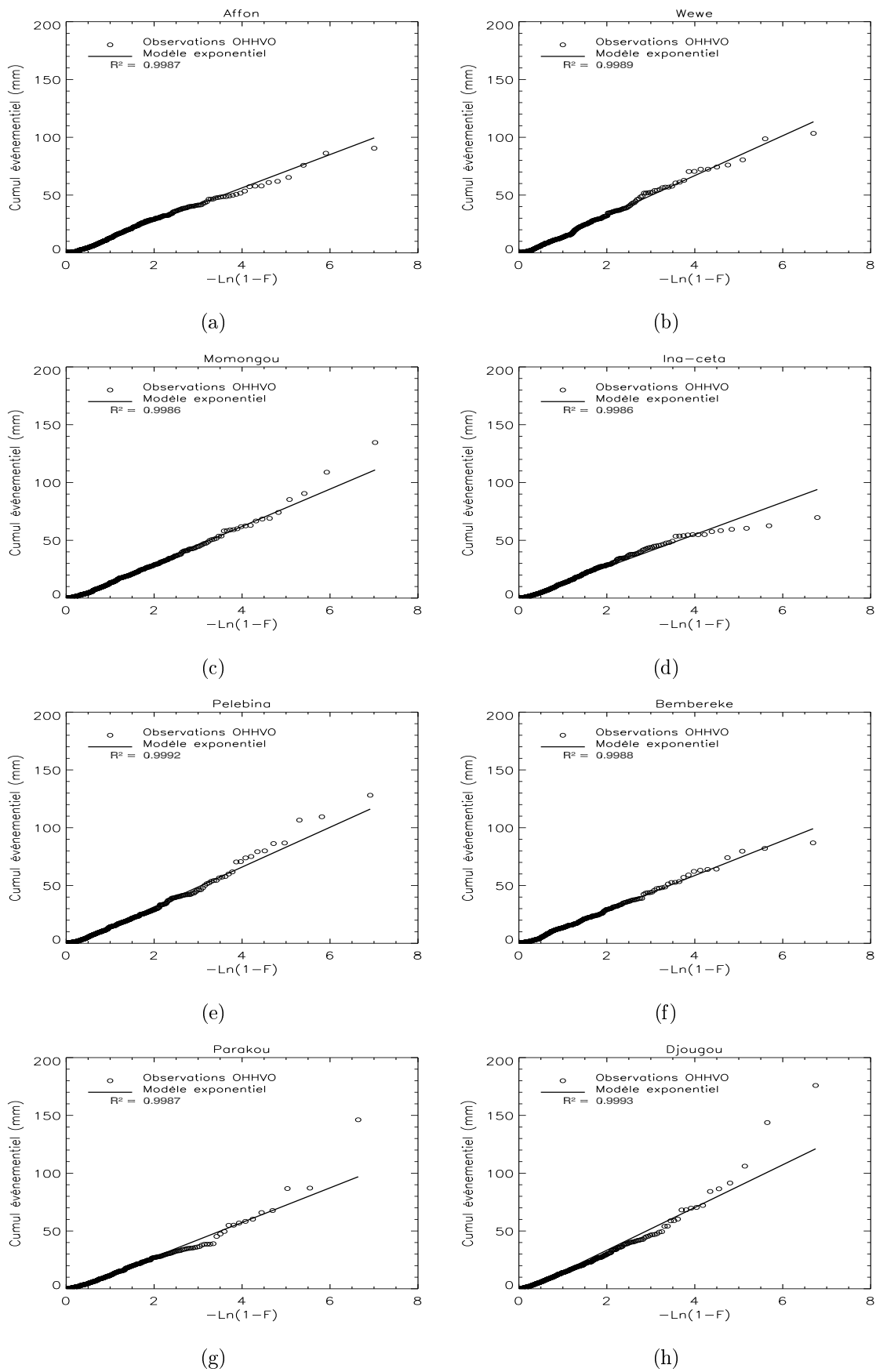


FIG. 4.20: Quelques exemples d'ajustements du modèle exponentiel aux observations Ohhvo.

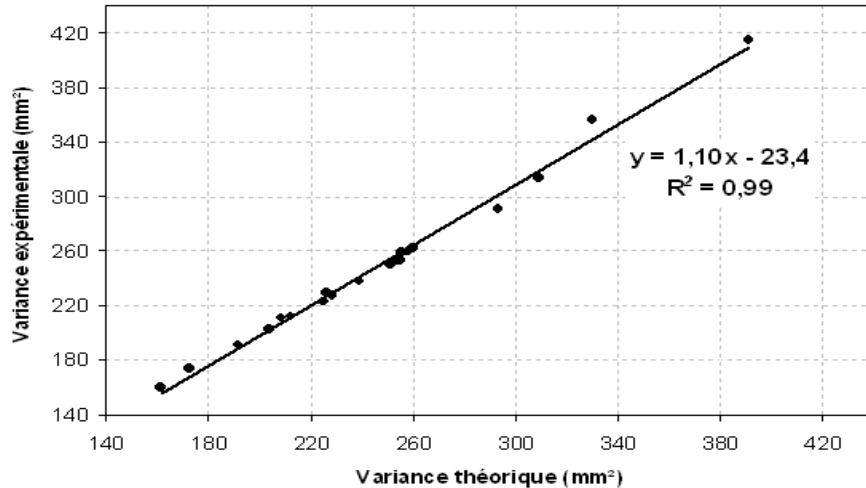


FIG. 4.21: Adéquation entre variance théorique et variance expérimentale.

La figure 4.20 montre que les observations ont un comportement parabolique au voisinage de l'origine. Ceci est dû aux événements produisant de faibles cumuls. Pour lever cet artefact qui influence l'ajustement, nous avons réalisé l'ajustement pour les séries tronquées aux événements de cumul supérieur à 1 mm. Le choix de ce seuil se justifie bien puisque aux stations, les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin dont le cumul est inférieur à 1 mm représentent en moyenne 17% du nombre total d'événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin qui touchent les stations (TAB. 4.21). Par ailleurs, ces événements apportent moins de 1% du cumul global annuel de tous les événements touchant chaque station. Par conséquent, en excluant ces événements, il n'y a pas une grande influence sur les cumuls annuels des stations. Mais, cette exclusion des faibles cumuls permet d'obtenir à chaque station un ajustement meilleur par rapport au cas où on considère tous les cumuls non nuls.

Dans le but de rechercher un modèle unique, représentatif de la distribution ponctuelle des cumuls événementiels, nous avons déterminé la distribution de tous les cumuls ponctuels (supérieurs à 1 mm) réalisés à toutes les stations. L'ajustement réalisé avec les modèles exponentiel et gamma montre que la distribution s'ajuste mieux avec le modèle exponentiel (FIG. 4.22). Mais il faut noter que les valeurs de l'efficacité d'ajustement (paramètre défini plus loin à la page 132 au chapitre 5) sont assez proche. Le paramètre d'échelle unique du modèle (l'écart type de la série) vaut 16.3 mm.

La suite de notre démarche a consisté à analyser le comportement de chaque station par rapport au modèle unique qu'on pourrait appelé modèle climatologique. La figure 4.23 (page 102) montre l'ajustement pour les stations considérées précédemment à la figure 4.20. Nous y avons fait figurer le modèle exponentiel utilisant le paramètre d'échelle propre de chaque

station (model Expo1), le modèle exponentiel utilisant le paramètre d'échelle régional unique pour toutes les stations (model Expo2.) et le modèle gamma unique dont les paramètres ( $\alpha = 0.96$ ,  $\lambda = 0.06$ ) sont aussi identiques pour toutes les stations.

Les résultats montrent que le modèle exponentiel unique ou régional (presque confondu au modèle gamma unique pour les stations de la figure 4.23) représente assez bien la distribution des cumuls supérieurs à 1 mm.

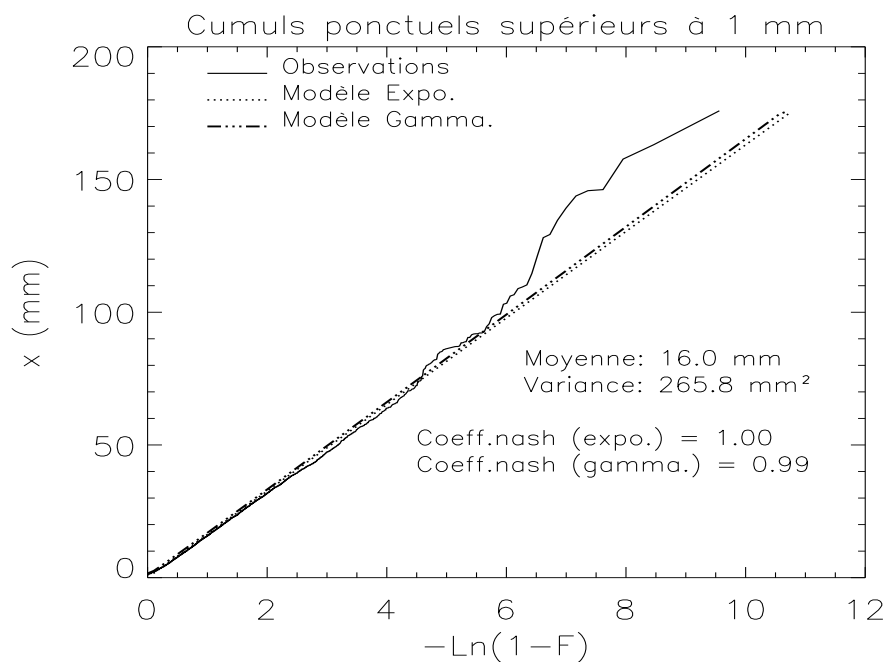


FIG. 4.22: Ajustement de la série globale de tous les cumuls ponctuels événementiels supérieurs à 1 mm sur la période 1999-2005 à toutes les stations du réseau RM1. "Coeff.nash" représente l'efficacité de l'ajustement de chaque modèle aux observations.

En somme, les cumuls ponctuels événementiels supérieurs à 1 mm se représentent bien par une distribution exponentielle à un paramètre qui vaut  $\sigma = 16.3$  mm. Mais dans certains cas, ce modèle sous-estime les valeurs extrêmes.

TAB. 4.21: Proportion des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin dont le cumul ponctuel est inférieur ou égal à 1 mm et leur apport au cumul global de tous les événements. Les stations sont rangées d'Est en Ouest avec : N, le nombre total de cumuls non nuls ; N1, le nombre de cumuls inférieurs ou égaux à 1 mm ; H, le cumul global de tous les événements moyennés sur la période 1999-2005 et H1, le cumul moyen sur les événements dont le cumul est inférieur ou égal à 1 mm.

Stations	N	N1	N1/N (%)	H (mm)	H1 (mm)	H1/H (%)
Ina-ceta	400	71	17.75	733.8	6.6	0.90
<b>Bembereke</b>	358	60	16.76	800.0	6.6	0.83
<b>Parakou</b>	383	65	16.97	792.6	7.1	0.90
Gori-bouyerou	441	78	17.69	850.0	7.4	0.88
Bori	443	78	17.61	809.8	7.0	0.86
Fo-Boure	485	72	14.85	873.7	7.0	0.80
Koko	319	43	13.48	718.2	3.7	0.52
Tobre	409	46	11.25	794.9	4.1	0.52
Wewe	389	61	15.68	845.1	6.0	0.71
Affon	519	94	18.11	974.6	8.5	0.87
<b>Adiandia-ouest</b>	405	61	15.06	927.6	6.5	0.70
Gaouga	498	71	14.26	875.7	6.0	0.68
Dogue	367	65	17.71	707.5	5.7	0.80
Tebou	482	79	16.39	881.0	7.2	0.82
Momongou	505	89	17.62	960.5	8.0	0.83
Sarmanga	466	96	20.60	880.5	8.5	0.97
Djougou	409	54	13.20	876.5	4.8	0.55
Pelebina	457	69	15.10	901.5	6.2	0.68
Copargo	386	60	15.54	807.6	5.7	0.71
<b>Birni</b>	341	47	13.78	831.3	5.0	0.60

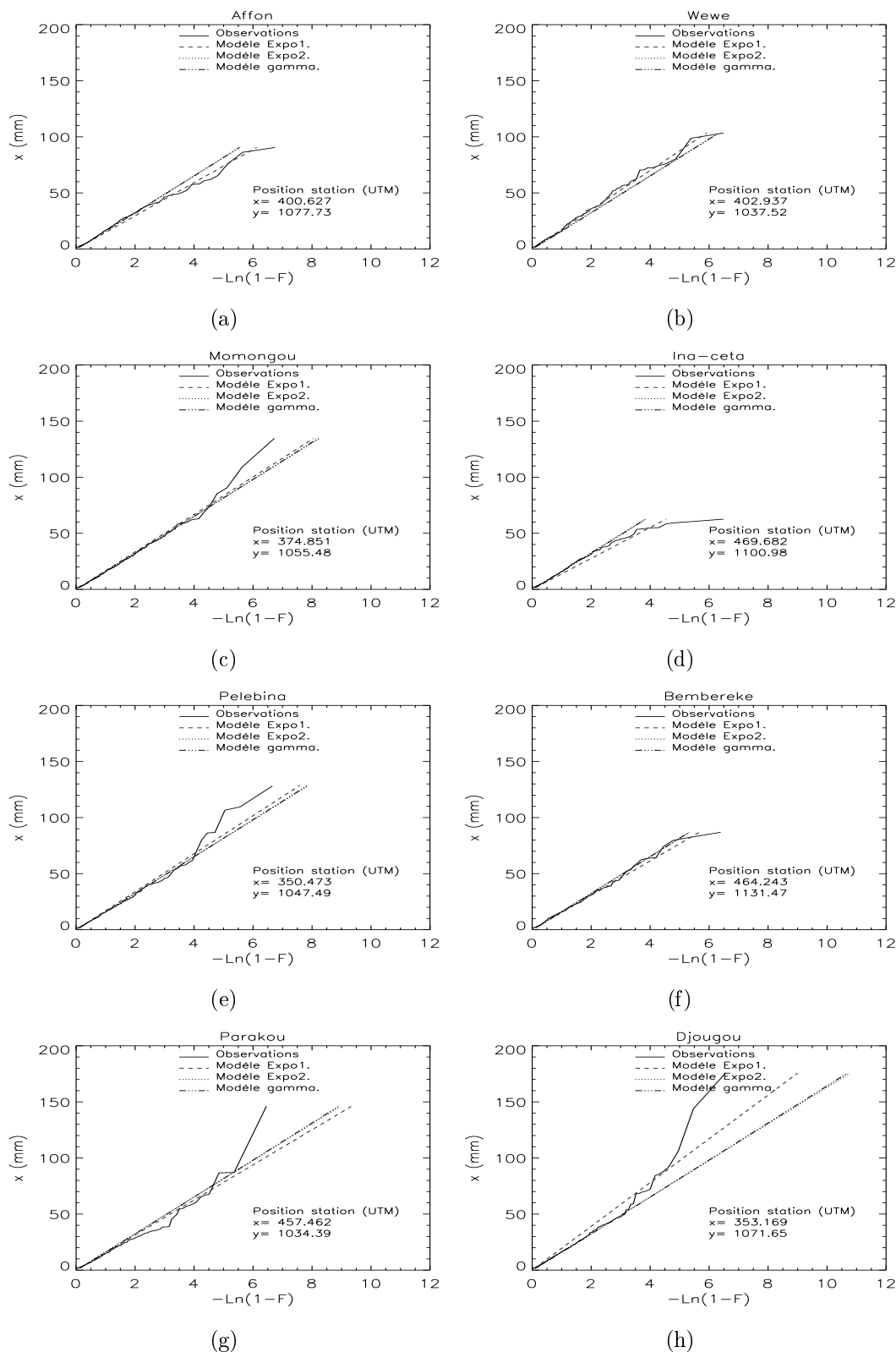


FIG. 4.23: Comparaison de l'ajustement des modèles exponentiel à la fonction de répartition des cumuls ponctuels événementiels supérieurs à 1 mm à quelques stations. Modèle Expo1. représente le modèle exponentiel utilisant le paramètre d'échelle local c'est-à-dire de la station considérée (Écart type). Modèle Expo2. désigne le modèle exponentiel utilisant le paramètre d'échelle régional, identique à toutes les stations.

### 4.4.2 Occurrence des valeurs nulles

Nous avons abordé l'étude de la structure du champ d'intermittence spatiale des événements pluvieux par l'analyse des champs annuels et du champ cumulé sur sept saisons (1999 à 2005). Comme l'indiquent les graphiques de la figure 4.24 à la page 104, les valeurs de la fréquence de pluie nulle sont très dispersées quelle que soit l'année. En cumulant les champs annuels sur les sept saisons (FIG. 4.25.a, page 105), on constate que les lignes d'isovaleurs semblent concentrées sur le réseau de mesure, avec un minimum d'ensemble (17%) au centre de la zone d'étude. Ce fait peut être attribué à la façon dont les événements sont définis. En effet, les événements sont sélectionnés en fonction de leur étendue spatiale ; donc suivant la manière dont ils recouvrent le domaine. Ainsi, les événements qui frôlent le domaine par les extrémités ne sont pas sélectionnés. D'où les fortes valeurs de l'intermittence aux bords du domaine. L'analyse du champ moyen des isohyètes annuelles (FIG. 4.25.b, page 105) au regard du champ moyen d'intermittence des événements montre que les zones de forte intermittence correspondent aux régions de faible cumul annuel.

### 4.4.3 Analyse de la variabilité spatiale

La distribution des hauteurs moyennes de pluie par événement calculées à partir des cumuls par événement conditionnels à zéro, a été analysée d'un point de vue spatiale. La figure 4.26 (page 106) qui présente les valeurs krigées sur l'ensemble du domaine, ne semble pas montrer une liaison entre la hauteur de pluie par événement et la position géographique des stations. De même, le champ moyen interannuel (FIG. 4.27 à la page 107) ne présente pas non plus de gradient remarquable. Pour confirmer ce constat, nous avons réalisé deux types de tests. Le premier test a consisté à faire des régressions entre le cumul moyen par événement et les coordonnées des stations. La régression faite avec la latitude des stations (FIG. 4.28.a, page 107) de même que celle effectuée avec la longitude des stations (FIG. 4.28.b, page 107) montrent qu'il n'existe pas de corrélation entre la pluie moyenne événementielle et la position des stations (coefficient de corrélation égal à -0.2 et -0.4 respectivement). Le second test est une analyse de variance dont nous présentons d'abord un bref rappel du principe, puis ensuite les résultats de sa mise en oeuvre sur les stations du réseau RM1.

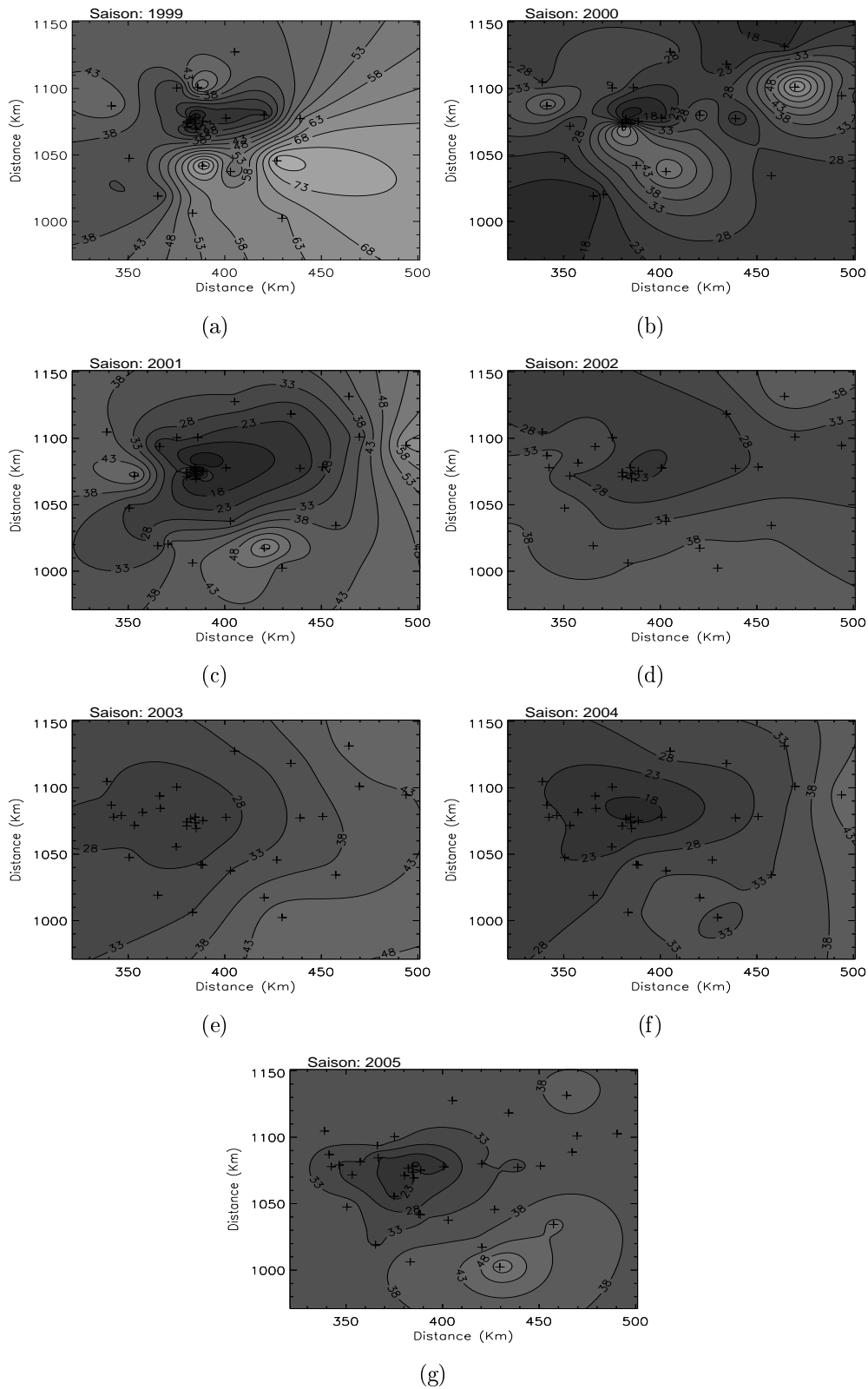
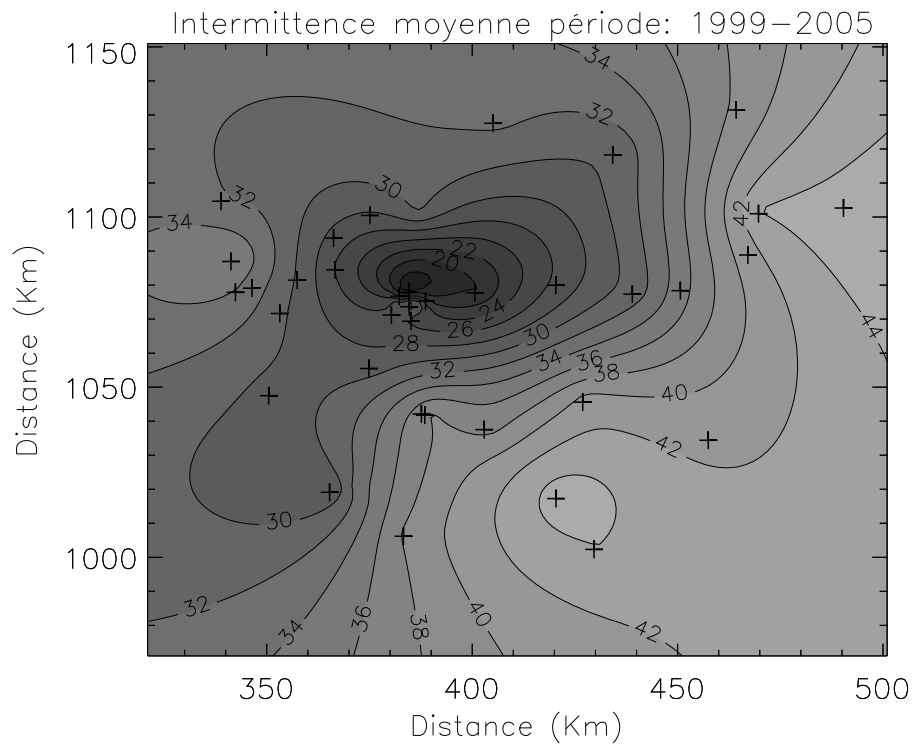
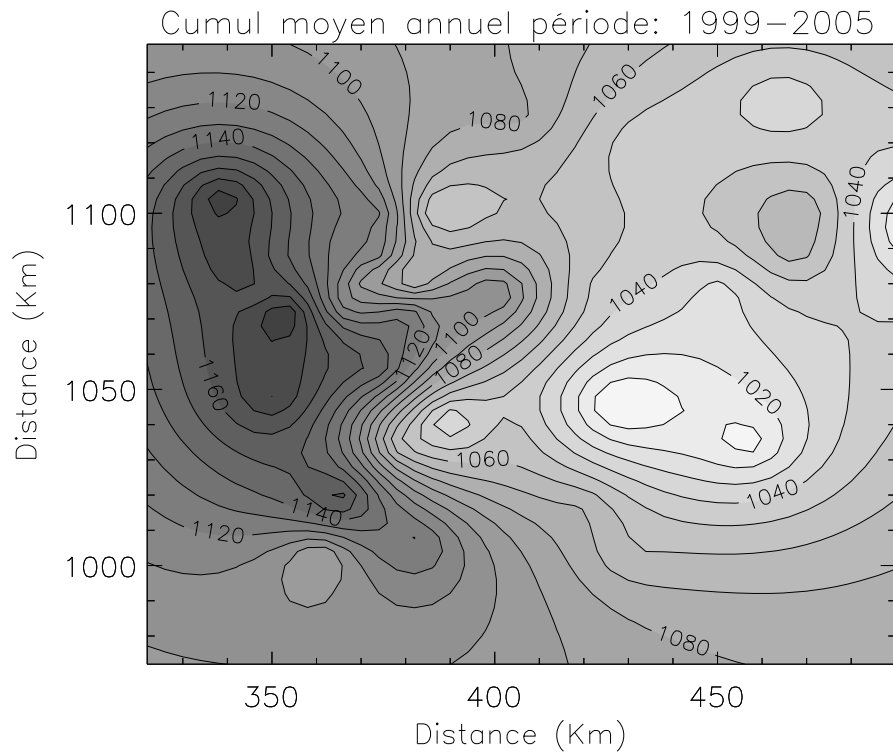


FIG. 4.24: Fréquence d'occurrence des valeurs nulles exprimée en % du nombre total d'événements affectant la zone pour chaque saison de 1999 à 2005. Les croix représentent les positions des stations utilisées.



(a)



(b)

FIG. 4.25: Champ moyen inter-annuel de l'intermittence stationnelle des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin (a) et moyenne des isohyètes annuelles sur la période 1999-2005 (b). Les croix représentent les positions des stations utilisées.

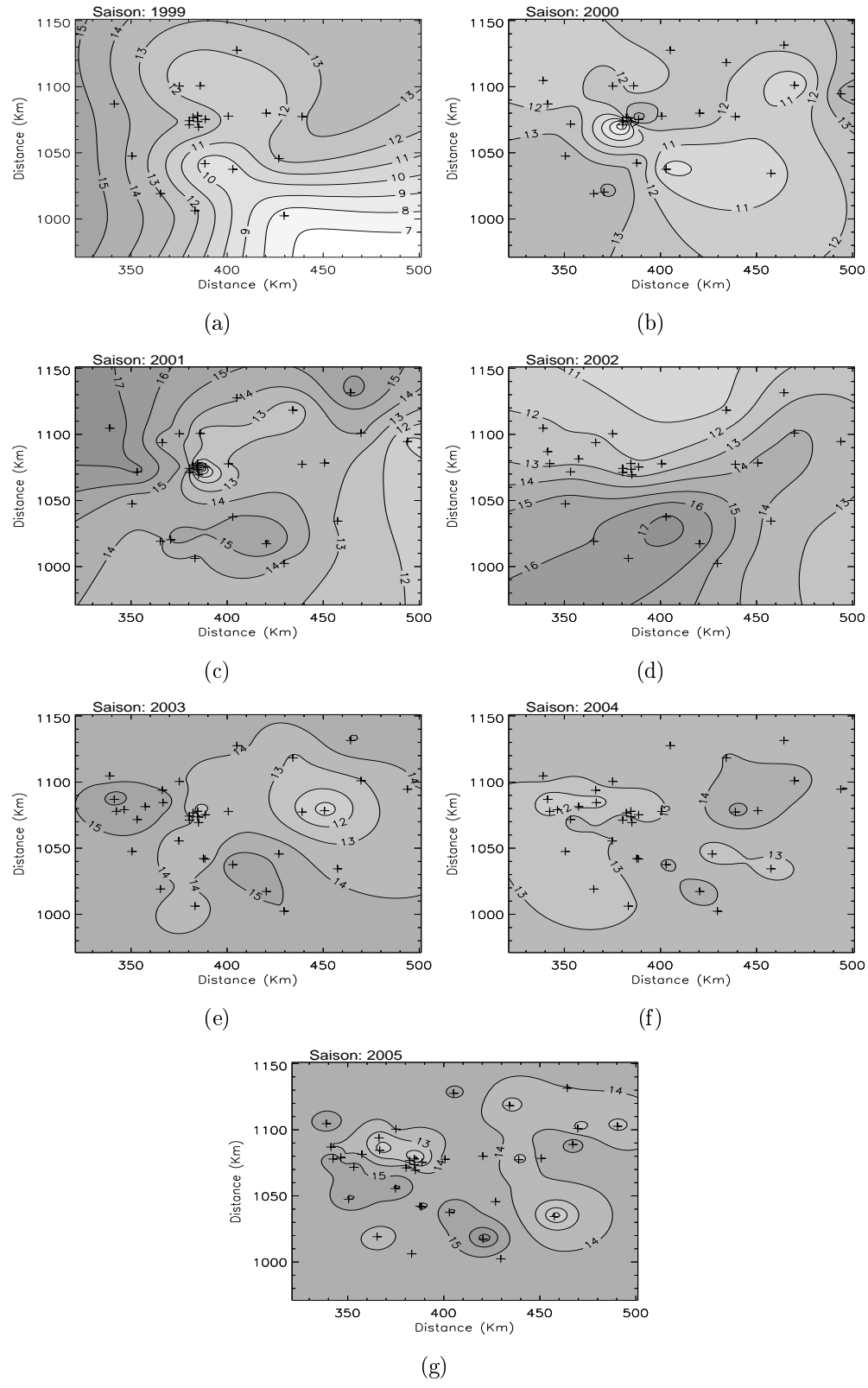


FIG. 4.26: Champ annuel du cumul événementiel conditionné à zéro sur la période 1999-2005. Les croix représentent les positions des stations utilisées.

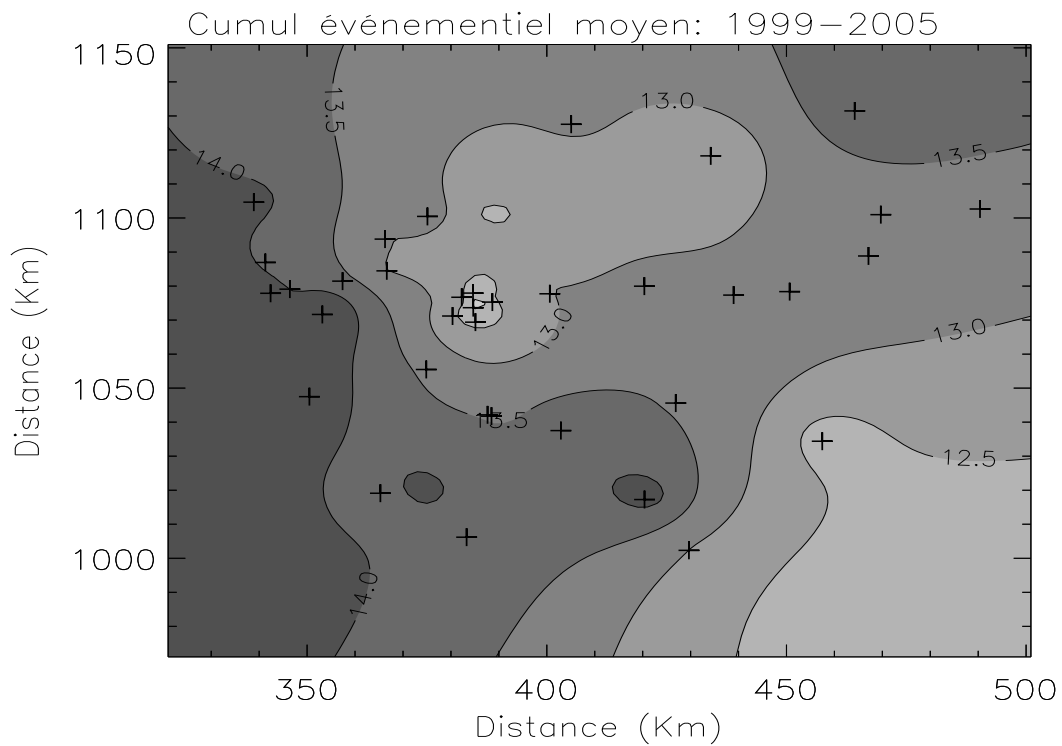


FIG. 4.27: Champ moyen inter-annuel du cumul événementiel conditionné à zéro sur la période 1999-2005.

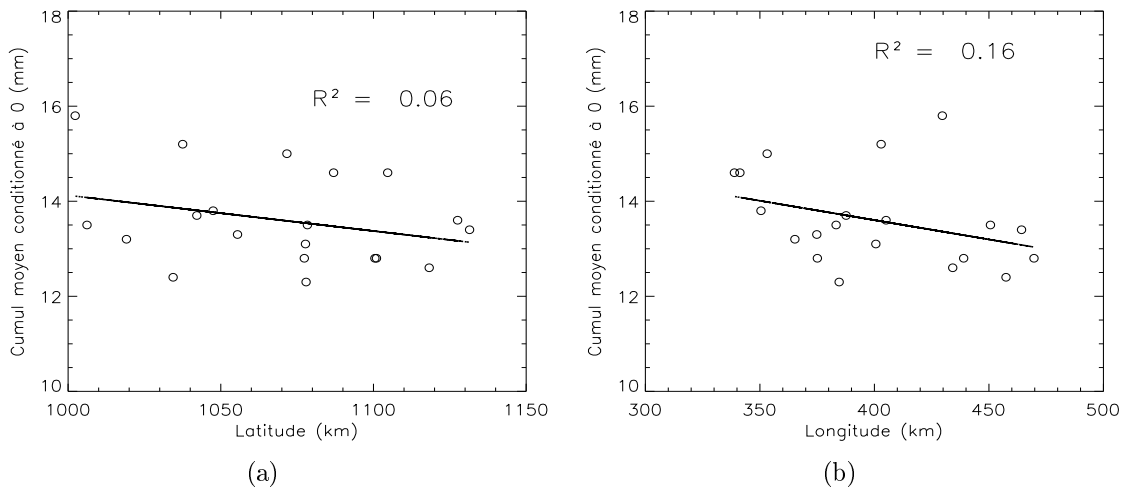


FIG. 4.28: Régression de la pluie moyenne conditionnelle à zéro par événement avec la position des stations.

### *Principe de l'analyse de variance*

On considère  $k$  populations supposées normales et de même variance dont on extrait  $k$  échantillons aléatoires  $(X_{i=1,\dots,k})$ , simples, et indépendants les uns des autres. Soit  $\bar{X}_i$  la

moyenne de l'échantillon  $i$  d'effectif  $n_i$ .

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij} \quad (4.20)$$

Le test de variance consiste à vérifier l'hypothèse  $H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2 = \dots = \bar{X}_k$ . Pour cela, on calcule la valeur observée ( $F_{obs}$ ) d'une variable F de Snedecor (Saporta, 1974) à  $\nu_1 = k - 1$  et  $\nu_2 = N - k$  degrés de liberté, à partir des écarts observés entre les différents échantillons et des écarts à l'intérieur des échantillons :

$$F_{obs} = \frac{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{\frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2} \quad \text{avec} \quad \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \bar{X}_i \quad \text{et} \quad N = \sum_{i=1}^k n_i \quad (4.21)$$

Ensuite, on compare  $F_{obs}$  à la valeur théorique  $F_{the} = F_{1-\alpha}$  de degrés de liberté  $\nu_1$  et  $\nu_2$  et de seuil de confiance  $\alpha$ . Si  $F_{obs}$  est supérieure à  $F_{1-\alpha}$  alors on rejette l'hypothèse  $H_0$ .

### ***Résultats de l'analyse de variance appliquée aux 20 stations du réseau RM1***

En mettant en oeuvre la méthodologie décrite ci-dessus, nous avons testé l'égalité des moyennes conditionnelles à zéro et des moyennes non conditionnelles des cumuls des événements  $X_{ij}$  aux  $k = 20$  stations du réseau RM1 avec  $i$  désignant le numéro de la station et  $j$  celui de l'événement. Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 4.22 et 4.23.

TAB. 4.22: Résultats des tests d'égalité des moyennes conditionnelles à zéro de chaque station du réseau RM1. M représente le nombre de stations et N est défini par l'équation 4.21.

Hypothèse	M et N	Degré de liberté $\nu_1$ et $\nu_2$	$F_{obs}$	$F_{the}$ $\alpha = 10\%$	$F_{the}$ $\alpha = 5\%$	$F_{the}$ $\alpha = 1\%$
1999	16 - 742	15 - 726	0.92	1.48	1.67	2.05
2000	20 - 888	19 - 868	0.58	1.48	1.60	1.93
2001	20 - 1070	19 - 1050	0.79	1.48	1.60	1.91
2002	20 - 1354	19 - 1334	1.31	1.48	1.60	1.91
2003	20 - 1554	19 - 1534	0.84	1.48	1.60	1.91
2004	20 - 1533	19 - 1513	0.88	1.48	1.60	1.91
2005	20 - 1321	19 - 1301	0.85	1.48	1.60	1.91
1999-2005	20 - 8462	19 - 8442	1.44	1.48	1.60	1.91

TAB. 4.23: Résultats des tests d'égalité des moyennes non conditionnelles de chaque station du réseau RM1. M représente le nombre de stations et N est défini par l'équation 4.21.

Hypothèse	M et N	Degré de liberté $\nu_1$ et $\nu_2$	$F_{obs}$	$F_{the}$ $\alpha = 10\%$	$F_{the}$ $\alpha = 5\%$	$F_{the}$ $\alpha = 1\%$
1999	16 - 1086	15 - 1070	6.38	1.48	1.67	2.05
2000	20 - 1342	19 - 1322	2.48	1.48	1.60	1.93
2001	20 - 1602	19 - 1582	1.83	1.48	1.60	1.91
2002	20 - 2093	19 - 2073	1.42	1.48	1.60	1.91
2003	20 - 2514	19 - 2494	1.50	1.48	1.60	1.91
2004	20 - 2278	19 - 2258	0.96	1.48	1.60	1.91
2005	20 - 1991	19 - 1971	2.30	1.48	1.60	1.91
1999-2005	20 - 12906	19 - 12886	1.97	1.48	1.60	1.91

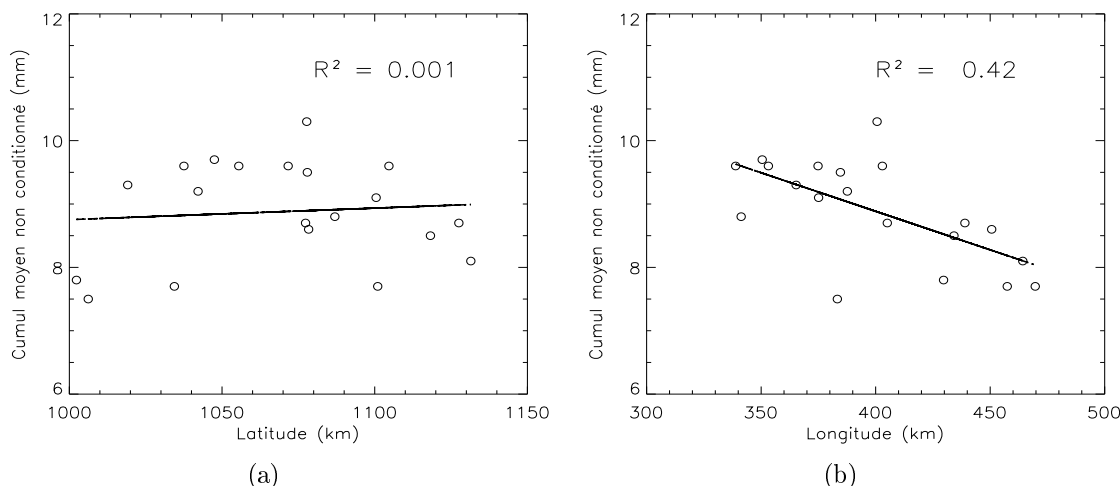
#### *Concernant les moyennes conditionnelles à zéro*

On constate que pour les moyennes conditionnelles à zéro, quelque soit la saison considérée, la valeur observée de la variable  $F$  est inférieure aux valeurs théoriques aux seuils 1%, 5% et 10%. Ainsi donc, la pluie moyenne événementielle peut être considérée comme une variable stationnaire à l'échelle de l'observatoire. Ce qui signifie que lorsqu'un événement pluvieux touche l'observatoire, qu'il touche uniquement la zone sud ou la zone nord, il ne produit pas plus de cumul au Sud par rapport au Nord du domaine et inversement. Ceci confirme que le cumul annuel à une station s'explique, mieux par le nombre d'événements ayant touché cette station. Les travaux de Lebel *et al.* (1996); Lebel *et al.* (1997); d'Amato (1998) et plus récemment, Balme (2004) mettent également en évidence cette caractéristique de stationnarité spatiale de la pluie moyenne par événement, au niveau des événements pluvieux AMMA-CATCH Niger.

#### *Concernant les moyennes non conditionnelles*

Le tableau 4.23 montre que l'hypothèse  $H_0$  est rejetée pour toutes les saisons à l'exception de 2004, puis sur l'ensemble de la période 1999-2005. Ce qui nous conduit à vérifier la non stationnarité de ce paramètre. Pour cela, on recherche l'existence éventuelle d'un gradient dans les directions Nord-Sud ou Est-Ouest. Les régressions de ce paramètre avec les coordonnées des stations (FIG. 4.29) montrent que la pluie moyenne non conditionnée semble augmenter d'Est en Ouest. Le coefficient de détermination est assez explicatif d'une bonne corrélation linéaire du cumul moyen non conditionné avec la latitude des stations.

Dans les sections qui suivent, nous allons nous intéresser au cycle saisonnier des événements ainsi qu'à l'analyse de l'intensité des précipitations, afin de rechercher d'autres paramètres caractéristiques des systèmes précipitants en zone soudanienne.



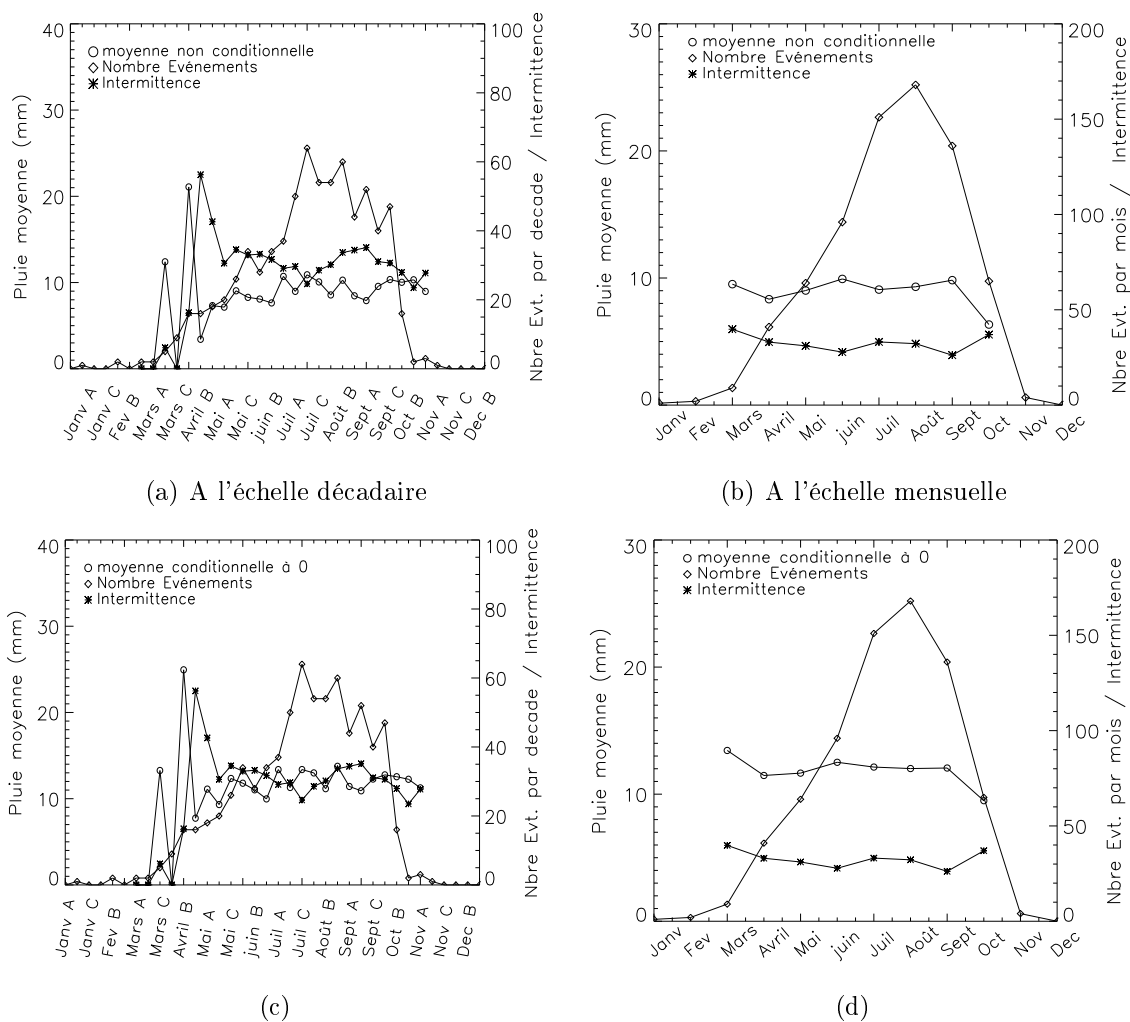


FIG. 4.30: Cycle saisonnier moyen des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin aux échelles décadaire et mensuelle.

A l'échelle mensuelle (FIG. 4.30.b et 4.30.d), les courbes sont lissées et le nombre d'événements évolue de façon presque linéaire à partir de mars à août où il atteint son pic unique et décroît brusquement vers la fin de la saison. La pluie moyenne par événement quant à elle conserve ses deux pics dont l'un en mai et l'autre en août. L'intermittence à cette échelle semble stable autour de 30%.

## 4.6 Intermittence temporelle des événements pluvieux sur la région AMMA-CATCH Bénin

### 4.6.1 La durée de pluie effective

L'analyse de l'intermittence temporelle à l'intérieur de l'événement pluvieux permet de déduire un paramètre important caractérisant la pluviométrie annuelle : la durée de pluie effective. Comme les pluviographes enregistrent en continu les dates de basculement des augets, il est aisé de reconstituer en chaque poste, la série des intervalles de temps séparant deux basculements successifs. Ces séries permettent de définir le temps de pluie effectif  $T(p)$  correspondant à un pourcentage  $p$  du cumul saisonnier. D'après Lebel *et al.* (1997), on suppose que la pluie ne s'arrête pas entre deux basculements consécutifs n'excédant pas 5 minutes (soit 6 mm/h). Dans ces conditions, le temps effectif de pluie  $T(p)$  à une station se définit comme le temps au cours duquel sont tombées les  $p\%$  de précipitations les plus intenses de la saison. Dans la pratique, pour calculer  $T(p)$  à une station, il suffit de classer par ordre croissant les intervalles de temps  $\delta t$  séparant deux basculements consécutifs pour toute la saison à cette station. Si on désigne par  $N$  le nombre total de basculements à cette station, le pourcentage  $p$  du cumul saisonnier est atteint pour un nombre de basculements  $N_p$  qui s'écrit :

$$N_p = \frac{pN}{100} \quad (4.22)$$

de sorte que :

$$T(p) = \sum_{i=1}^{N_p} \delta t_i \quad (4.23)$$

On a donc procédé ainsi pour déterminer le temps de pluie effectif correspondant à divers quantiles du cumul saisonnier aux 20 stations du réseau RM1. A la station de Gaounga (FIG. 4.31) 75% du cumul saisonnier tombe en moins de 20 heures, 50% du cumul en moins de 8 heures et 30% du cumul en moins de 4 heures. Les ordres de grandeur de ces statistiques sont semblables pour toutes les autres stations du réseau RM1 comme l'indique le tableau 4.24. Ainsi sur l'OHHVO, la moitié du cumul annuel tombe en moins de 8 heures de pluie effective. On déduit également du tableau 4.24 que le rapport entre les quantiles 50% et 30% est environ de 2. Sur le Sahel, Lebel *et al.* (1996), puis Balme (2004) ont montré que 50% du cumul annuel tombe en moins de 4 heures (TAB. 4.25). Le temps de pluie effective en région soudanienne semble donc être le double du temps de pluie effective au Sahel. Le tableau 4.25 rappelle par ailleurs, que le nombre moyen d'événements par année en milieu soudanien est environ le double de celui observé au Sahel. Ce rapport de 2 semble donc expliquer le rapport

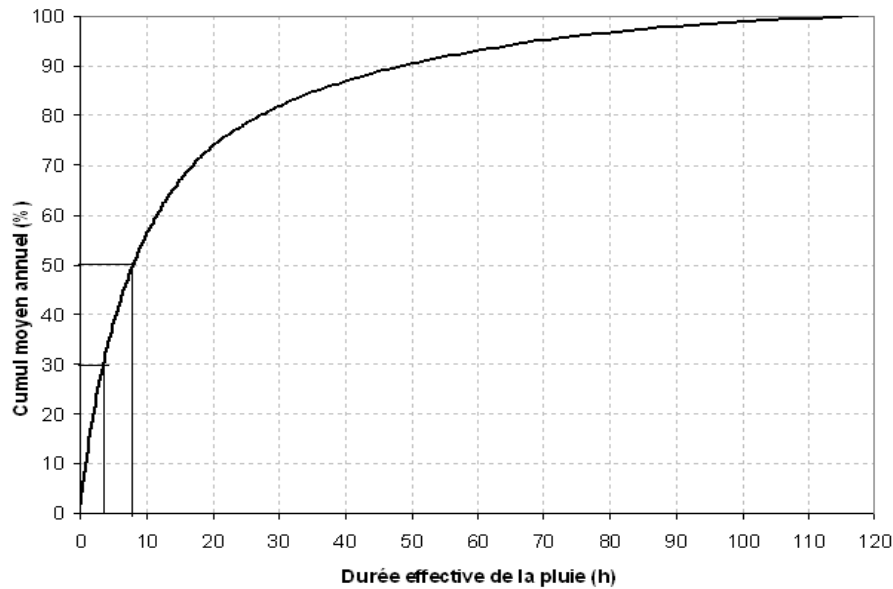


FIG. 4.31: Distribution de la durée de pluie effective à la station de Gaounga sur la période 1999-2005

de 2 qui existe entre la durée de pluie effective sur l'OHHVO et la région AMMA-CATCH Niger.

Une autre information que l'on déduit des séries d'intervalles de temps entre deux basculements successifs d'augets de pluviographe est la distribution de l'intensité de pluie au cours de l'événement. On analyse dans la section suivante, la distribution fréquentielle des intensités de pluie observées au cours des événements.

#### 4.6.2 Distribution fréquentielle des intensités de pluie

La distribution des intensités peut être étudiée soit à partir des séries d'intervalles de temps séparant deux basculements consécutifs, soit à partir des séries de cumuls de pluie issues du ré-échantillonnage à un pas de temps constant ; notamment les cumuls en 5 minutes. Dans le premier cas, l'échantillonnage n'est pas constant dans le temps puisque la durée entre deux

TAB. 4.24: Durées effectives de la pluie. Valeurs moyennées sur les 20 stations du réseau RM1 avec les écarts-types associés.

Proportion du Cumul annuel	15%	25%	30%	50%	75%	90%
Durée (heure)	1.32	2.62	3.40	7.72	19.21	45.21
Écart-type (heure)	0.07	0.11	0.12	0.29	1.40	3.20

TAB. 4.25: Comparaison de quelques paramètres des régimes pluvieux de l'OHHVO et de EPSAT-Niger.

Zone	Période	Cumul annuel (mm)	Nombre moyen d'événements	Durée de 50% du cumul annuel
OHHVO	1999-2005	1096	105	8 heures
EPSAT-Niger	1990 – 2002*	515	42	4 heures
Rapport OHHVO/ EPSAT-Niger		2.1	2.5	2.0

\* : d'après Balme (2004)

bascullements dépend de l'intensité de la pluie. Par contre, dans le second cas, l'inconvénient est la perte des pics d'intensité à l'intérieur du pas de 5 minutes. Si l'on considère donc une série à pas de temps fixe, il est évident qu'une partie du signal sera sur-échantillonnée (notamment les fortes intensités) et l'autre sous-échantillonnée. Ainsi, pour ne pas perdre les pics réels d'intensités, nous avons choisi de travailler dans un premier temps avec les séries d'intensités obtenues directement des intervalles de temps bruts entre deux basculements d'augets successifs.

La distributions des intensités observées en chaque station du réseau RM1 a été analysée et met en évidence des caractéristiques similaires aux pluies sahéliennes. Comme l'illustre la figure 4.32, à la station de Gaounga, 50% du cumul annuel tombe avec une intensité supérieure à 35 mm/h (même valeur qu'au Sahel), 30% tombe avec une intensité supérieure à 60 mm/h (62 mm/h dans la région de Niamey) et 25% avec une intensité supérieure à 65 mm/h. Ces statistiques semblent invariantes d'une station à une autre sur la haute vallée de l'Ouémé comme l'indique le tableau 4.26 où les faibles valeurs des écarts-types expriment le fait que les valeurs des quantiles considérés sont très peu différentes d'une station à l'autre.

TAB. 4.26: Quantiles de distribution des intensités de pluies. Valeurs moyennes déterminées sur le RM1.

Proportion du cumul annuel	15%	25%	30%	50%	75%	90%
Intensité (mm/h)	85.4	66.5	59.2	35.1	11.2	3.3
Écart-type (mm/h)	6.1	4.2	3.6	3.4	1.5	0.3

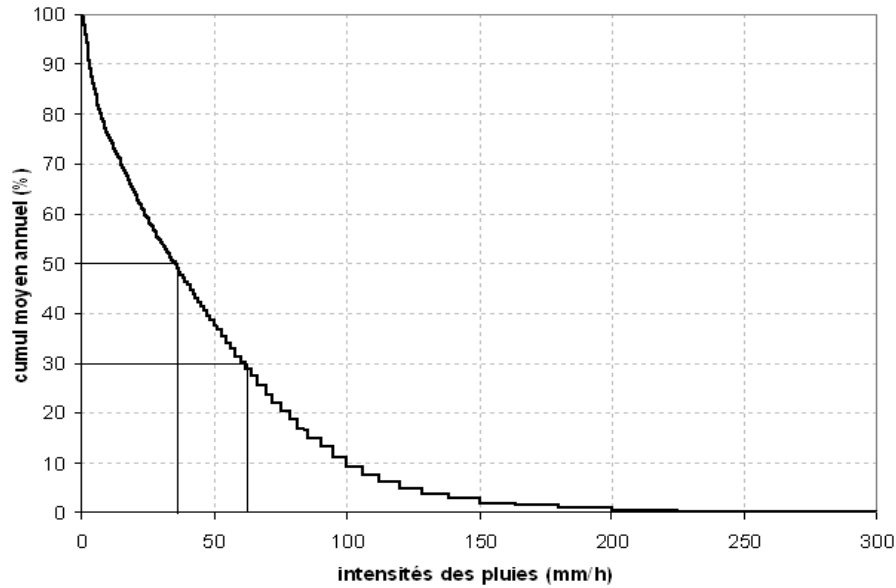


FIG. 4.32: Distribution des intensités de pluies enregistrées à la station de Gaounga sur la période 1999-2005.

Dans la section 4.6.1, la durée de 8 heures a été mise en évidence comme la durée effective de la moitié de la pluie annuelle. On s'intéresse alors ici à l'étude des 96 plus fortes intensités en cinq minutes observées par année en chacune des stations installées. Sur la période 1999-2003, on représente pour chaque année, la distribution fréquentielle des intensités. La figure 4.33 montre que les faisceaux obtenus sont assez dispersés. La forme des faisceaux ne dépend pas du caractère humide ou sec de l'année. Mais on constate que pour les années 1999, 2000, 2002 et 2003, les stations enveloppant le faisceau correspondent bien aux stations les plus humides et les plus sèches de l'année. Par contre, ce n'est pas le cas pour l'année 2001. On note également que d'une année à une autre, ce ne sont pas les mêmes stations qui sont les plus humides ou les plus sèches.

En représentant sur un même graphique, les stations encadrant les faisceaux de chaque année (FIG. 4.34 à la page 117), on constate qu'ils se regroupent en deux faisceaux distincts : le faisceaux des stations de *faibles intensités* et le faisceau des stations de *fortes intensités*, indépendamment du caractère sec ou humide des années. Le faisceau des stations de plus fortes intensités est assez resserré pour les intensités n'excédant pas 130 mm/h; puis se disperse pour les plus fortes intensités avec un regroupement des années sèches qui se distinguent par un resserrement. Que l'année soit sèche ou humide, les distributions des plus fortes intensités enregistrées sur le réseau semblent avoir une assez bonne organisation. Par contre, quand on considère les plus faibles intensités, les années humides présentent une plus grande dispersion par rapport aux années sèches.

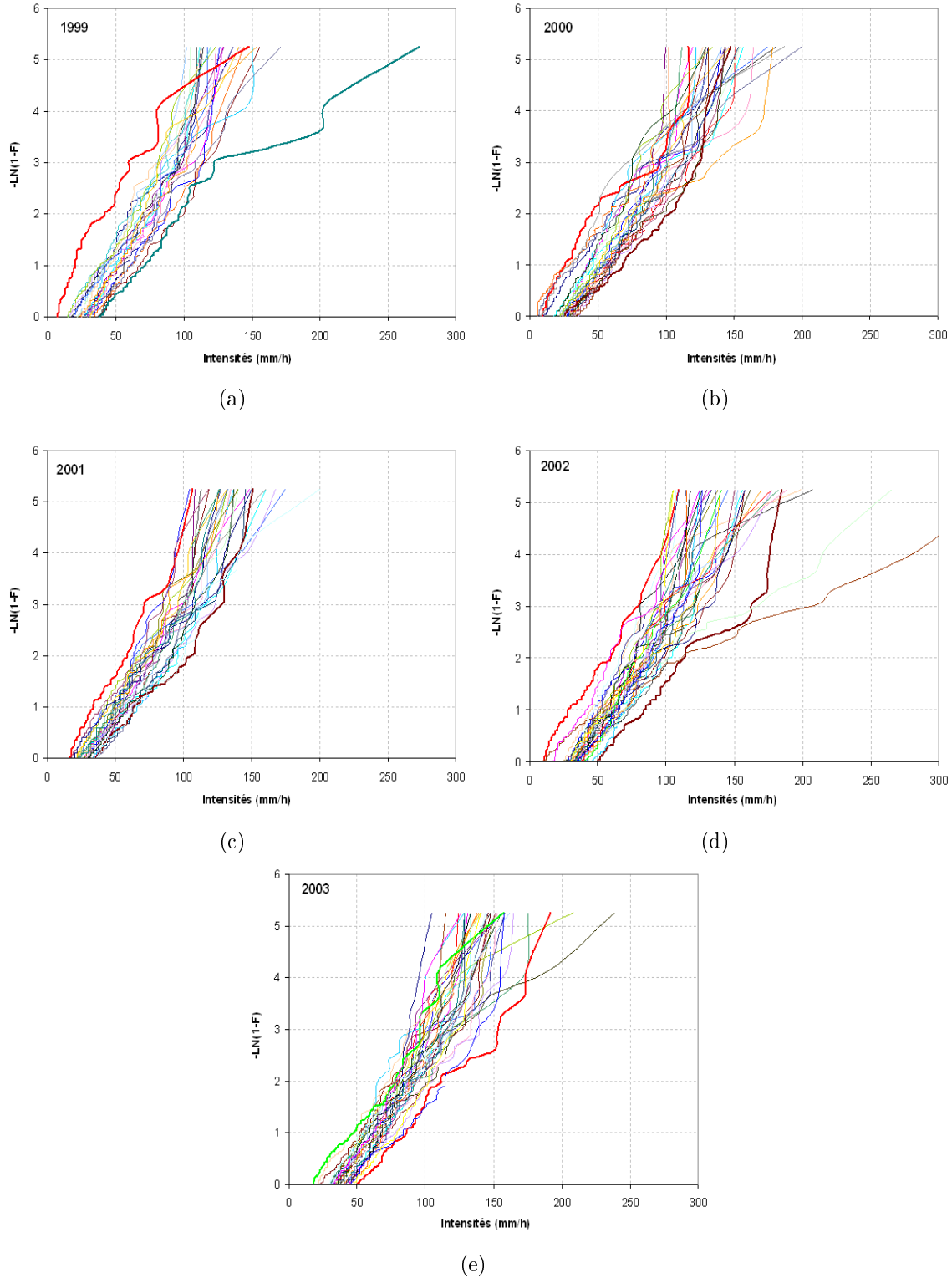


FIG. 4.33: Distribution fréquentielle des 96 intensités en cinq minutes les plus fortes observées aux stations installées de chaque année, de 1999 à 2003.

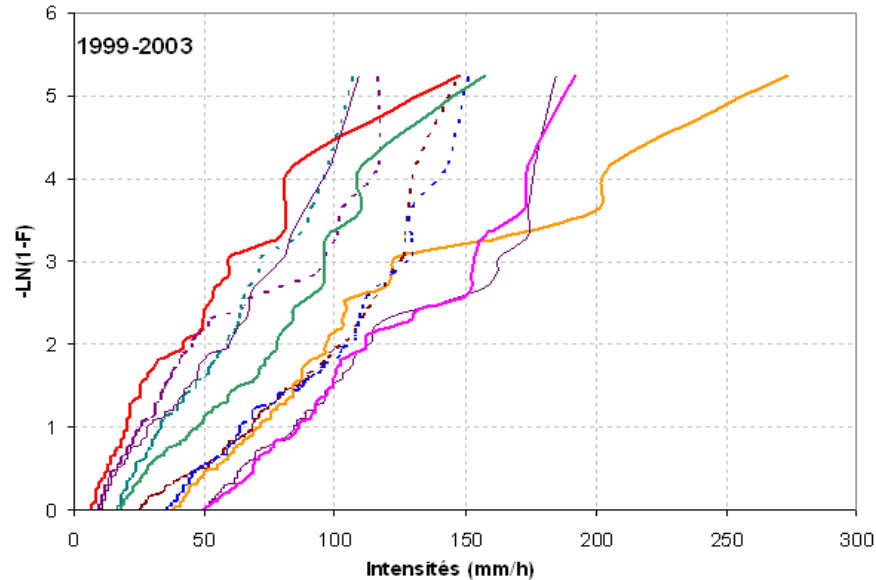


FIG. 4.34: Représentation des deux courbes qui enveloppent la distribution fréquentielle des intensités (en 5 minutes) de chaque année. En traits continus épais, on représente les années humides 1999 et 2003 tandis que les années sèches 2000 et 2001 sont en traits discontinus. L'année 2002, moyennement sèche est en traits continus fins.

#### *Distribution des intensités aux stations sèches et stations humides*

A partir des intensités en cinq minutes observées aux stations les « plus arrosées » ou stations humides, puis des intensités observées aux stations les « moins arrosées » ou stations sèches de chaque année, on peut construire les distributions fréquentielles des intensités aux stations humides et aux stations sèches. En s'intéressant à ces deux échantillons, on cherche à analyser la variabilité spatiale de la distribution des intensités de pluie. On considère donc ici deux échantillons constitués respectivement des trois stations les plus humides ; puis des trois stations les plus sèches de chaque année sur cinq années (1999-2003).

Ainsi, chaque échantillon est constitué de  $N=3 \times 5 \times 96=1440$  valeurs. La figure 4.35 montre qu'on obtient deux distributions empiriques bien distinctes. L'intensité maximale enregistrée aux stations sèches n'atteint pas 150 mm/h tandis qu'aux stations humides, le maximum dépasse 250 mm/h. Les valeurs médianes des deux distributions valent respectivement 65 mm/h pour les stations humides (57 mm/h au Sahel, d'après Balme, 2004) et 35 mm/h pour les stations les moins arrosées (36 mm/h toujours d'après Balme, 2004). Les deux échantillons semblent donc ne pas appartenir à la même population. Ainsi, lors du passage d'un événement sur la zone, certaines stations sont touchées par des pluies plus intenses qu'au niveau des autres.

Une station humide une année donnée se caractérise par l'enregistrement de fortes intensités de pluie. Une des applications de ce résultat en hydrologie est, par exemple dans le

cadre de la désagrégation des pluies, de bien simuler les fortes intensités observées puisque ce sont elles qui sont à l'origine des ruissellements intenses, des crues éclairées et de l'érosion.

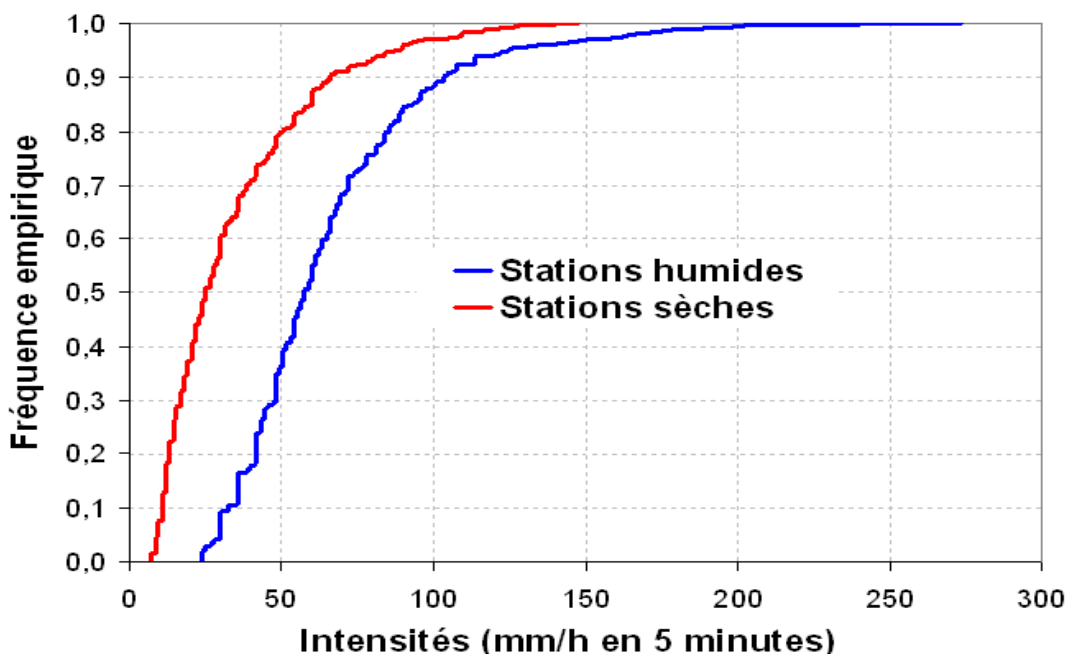


FIG. 4.35: Représentation de la distribution fréquentielle des intensités aux trois stations les plus arrosées et aux trois stations les moins arrosées de chaque année.

#### *Distribution des intensités aux années sèches et années humides*

La période 1999-2003 comporte deux saisons excédentaires (1999 et 2003) et deux saisons déficitaires (2000 et 2001). Pour analyser la distribution des intensités aux saisons sèches et saisons humides, nous avons considéré les 16 stations du réseau RM1 installées depuis 1999. Le composite "années humides" est composé des 96 plus fortes intensités en 5 minutes enregistrées en chacune de ces 16 stations pour les deux années humides (soit 3072 valeurs) et réciproquement, le composite "années sèches" est composé des 96 plus fortes intensités en 5 minutes enregistrées en chacune des 16 stations pour les deux années sèches. La figure 4.36 montre que l'écart entre les deux distributions est très faible et moins marqué que celui entre les composites "stations sèches" et "stations humides". Au delà de 100 mm/h les deux distributions se superposent assez bien. Cependant, le maximum du composite "années humides" (274 mm/h en 5 minutes) est supérieur à celui du composite "années sèches" (200 mm/h en 5 minutes). Les médianes des deux distributions sont très voisines l'une de l'autre : 45 mm/h en 5 minutes pour le composite "années humides" contre 40 mm/h pour le composite "années sèches".

En somme, les années excédentaires et les années déficitaires ne se distinguent pas par l'intensité de la convection car lors d'une année déficitaire, certaines stations peuvent enregistrer des pics d'intensité de pluie aussi élevés que lors d'une saison excédentaire.

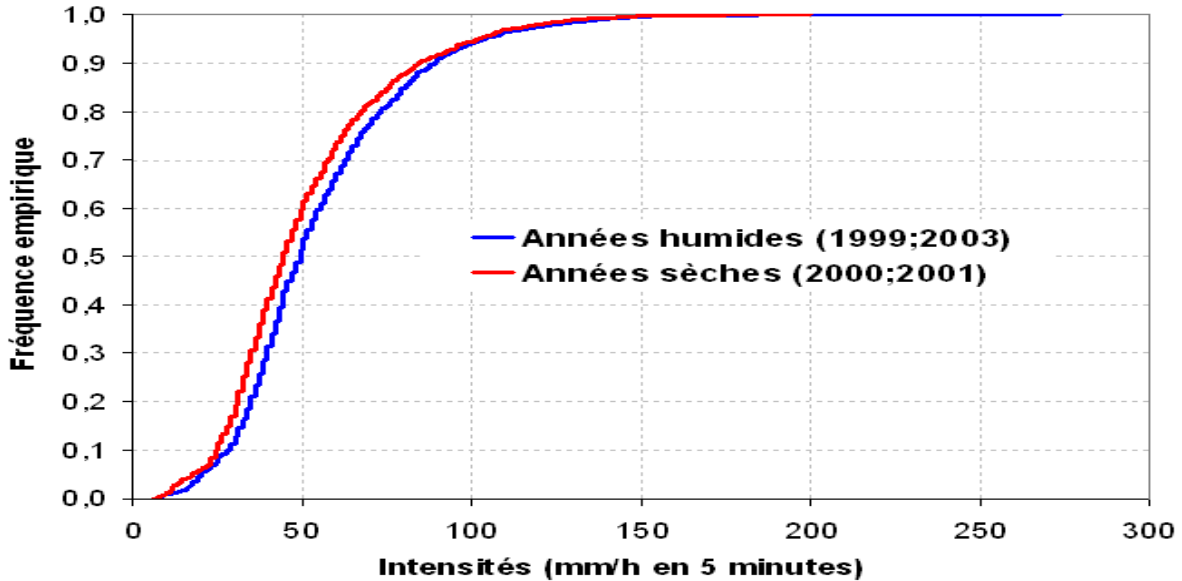


FIG. 4.36: Distribution fréquentielle des 96 plus fortes intensités en 5 minutes de 16 stations pour deux saisons humides (1999 et 2003) et deux saisons sèches (2000 et 2001).

## 4.7 Conclusion du chapitre 4

La région de l'OHHVO dispose actuellement, à travers le programme AMMA-CATCH, d'une banque de données pluviographiques qui permettent d'accéder à des échelles spatio-temporelles fines ; notamment celle de l'événement et aux intensités des précipitations sur la zone. Dans ce chapitre, nous avons dans un premier temps utilisé ces données pour déterminer les critères de définition de l'événement pluvieux sur le domaine (pas d'interruption de pluie de plus de 30 min, au moins 1 mm de pluie à une station du réseau et au moins 30% de stations en fonctionnement touchées). Ensuite, les caractéristiques temporelles et quantitatives des événements pluvieux échantillonnés à l'aide de ces trois critères ont été analysées tant à l'échelle ponctuelle qu'à l'échelle du domaine d'étude.

Les analyses faites montrent que la durée moyenne de l'événement sur la région d'étude est de l'ordre de 6 heures. Cette valeur semble modulée par seulement quelques événements ; la durée modale étant de 4 heures. La différence entre le composite des années humides de la période d'étude et le composite sec se trouve dans les classes d'événements qui durent

moins de 5 heures, qui sont plus fréquents lors des années humides. A l'échelle des stations, l'événement pluvieux AMMA-CATCH Bénin a une durée moyenne de 2 heures 30 minutes environ. Les régressions entre la durée ponctuelle de l'événement et les positions des stations ont révélé que la situation géographique des stations n'influence pas de façon significative la durée moyenne de l'événement à la station.

Les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin touchent en moyenne 70% du domaine d'observation et apportent environ 88% du cumul pluviométrique annuel ; la différence étant assurée par les événements locaux ou les événements développés spatialement mais qui ne touchent que marginalement le domaine d'étude. L'essentiel de cet apport au cumul pluviométrique annuel est dû aux événements observés "après le saut de mousson". Mais la contribution des événements observés "avant le saut de mousson" n'est pas négligeable comme au Sahel où les événements "avant le saut de mousson" contribuent très peu au cumul annuel. Ainsi, le rôle de l'occurrence des événements après le saut de mousson est plus déterminant dans la variabilité du cumul pluviométrique annuel.

La pluviométrie moyenne par événement semble stationnaire du point de vue temporel. De même, à l'échelle de l'observatoire, le cumul de pluie par événement semble ne pas dépendre de la position géographique des stations. Par ailleurs, la pluie moyenne conditionnelle à 1 mm par événement a été modélisée par une distribution exponentielle simple à un paramètre.

Les données AMMA-CATCH Bénin apportent d'autres types d'informations telles que l'intensité de pluie et la durée effective de pluie à l'échelle annuelle. L'analyse de ces deux statistiques a permis de montrer que les pluies de la région possèdent des paramètres qui semblent invariants, indépendamment de la pluviosité de l'année ; à savoir que 50% du cumul annuel tombe en moins de 8 heures avec une intensité supérieure à 35 mm/h, 30% tombe en moins de 4 heures avec une intensité supérieure à 60 mm/h et 25% tombe en moins de 3 heures avec une intensité supérieure à 67 mm/h. Ces statistiques sont d'une grande importance pour les applications comme la désagrégation des champs de pluie, le suivi des systèmes pluvieux par satellite ou les études portant sur l'érosion.

On a montré en outre que les pluies de la région AMMA-CATCH Bénin ont des caractéristiques semblables à celles des pluies au Sahel ; notamment la stationnarité spatiale et la distribution exponentielle des séries tronquées aux pluies supérieures à 1 mm. De même, les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin, à l'instar des événements pluvieux sahéliens, semblent présenter une stationnarité temporelle du cumul moyen événementiel. Mais, dans notre contexte, compte tenu de la taille réduite de l'échantillon actuellement disponible, il est important de maintenir un réseau de suivi à long terme afin de confirmer cette tendance. Une des caractéristiques distinctives des événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin et AMMA-CATCH Niger est le nombre moyen d'événements par an. On a constaté qu'en

région soudanienne, le nombre moyen d'événements par an est un peu plus du double de celui observé en région sahélienne ; d'où l'évolution des cumuls pluviométriques annuels dans ce même rapport.



# Chapitre 5

## Analyse de structure spatiale des précipitations

Les précipitations sont des processus variables aussi bien dans l'espace que dans le temps. Lorsque cette variabilité est caractérisée par une certaine cohérence, celle-ci définit leur structure. Il existe plusieurs méthodes d'analyse de la variabilité spatiale d'un processus notamment les méthodes déterministes et les méthodes stochastiques. En hydrométéorologie, dans le cadre de l'interpolation des champs pluviométriques, il a été montré (Creutin et Obled, 1982; Lebel, 1984) que les méthodes stochastiques, telles que celles utilisées en géostatistique donnent de meilleurs résultats que les méthodes déterministes, du fait qu'elles tiennent compte de la structure spatiale des champs considérés. Cette approche proposée par Matheron (1965) dans le cadre de la théorie des variables régionalisées, était initialement destinée au domaine minier. Mais son champ d'application s'est élargi à différents domaines, dont celui des sciences de l'eau (Delhomme, 1976).

La littérature est assez fournie sur les applications des méthodes géostatistiques aux champs hydropluviométriques. On pourra se reporter aux travaux de Creutin (1979); Lebel (1984); Delrieu (1986) de l'équipe hydrométéo du LTHE ou encore aux travaux de Amani (1995); Crochet (1998); Amani et Lebel (1997); Ali, Lebel et Amani (2003) et Ali (2004) pour quelques applications de la géostatistique à l'analyse de la variabilité des champs de pluie au Sahel.

Nous avons choisi, dans ce chapitre, cette approche comme outil d'investigation, parce qu'elle a été éprouvée par les différents travaux précédemment cités, comme outil performant pour caractériser la structure spatiale des champs de pluie à travers l'outil variogramme. Par ailleurs, elle réalise l'estimation des champs de pluie à travers le krigeage (utilisé à la

section 5.4) et donne en même temps une précision de l'estimation réalisée par le biais de la détermination de la variance d'estimation.

Un bref rappel théorique des outils que fournit l'approche géostatistique est présenté dans la section 5.1. Il couvre les définitions préliminaires, les hypothèses et les concepts de base nécessaires à la définition et la description de la fonction de structure d'un processus. On y rappelle aussi la démarche méthodologique utilisée pour (i) estimer le variogramme empirique et (ii) identifier la fonction théorique capable de représenter au mieux ses caractéristiques. Cette section est une synthèse qui s'appuie largement sur les travaux de Matheron (1965), Journel et Huijbregts (1978), Creutin et Obled (1982) et Obled (2000). La section 5.2 présente l'analyse de la variabilité des champs de pluie observés sur l'OHHVO, à travers l'analyse du variogramme événementiel. Un essai de modélisation du variogramme événementiel fait l'objet de la section 5.3. La distribution spatiale des cumuls saisonniers a été étudiée à la section 5.4. Enfin, les principaux résultats de ce chapitre sont résumés dans la section 5.5.

## 5.1 Quelques considérations théoriques sur la fonction de structure

### 5.1.1 Définitions et notations

Considérons un processus bidimensionnel représenté par une fonction aléatoire  $Z$  (F.A. en abrégé dans la suite) dans un espace à deux dimensions. On notera :

- $Z(x)$  : la valeur de la F.A. en tout point  $x$  de l'espace
- $h$ , la distance séparant deux points quelconques  $x$  et  $y$ .
- $\Omega$  l'ensemble des réalisations  $\omega$  de la F.A.  $Z$

Si on dispose d'un échantillon de valeurs correspondant à une seule réalisation, on parle de contexte mono-réalisation, comme dans le domaine minier et on notera  $\{Z(x_i)\}_{1 \leq i \leq p}$  les valeurs connues aux points  $x_1, x_2, \dots, x_p$ . Par contre, si l'on dispose de plusieurs champs considérés comme des réalisations indépendantes d'une même F.A., on parle de contexte multi-réalisations. Dans ce cas, deux situations peuvent se présenter :

- les mesures peuvent avoir été faites aux mêmes points pour chaque réalisation du processus : on est dans un cadre d'homotopie,
- les mesures peuvent avoir été faites en des points variants d'une réalisation à l'autre : on est dans un cadre d'hétérotopie.

On se placera, dans toute la suite, dans un contexte multi-réalisations hétérotope où on notera  $\{Z_j(x_i)\}_{\substack{1 \leq i \leq p \\ 1 \leq j \leq n}}$  les  $n \times p$  données disponibles auxquelles on fait référence, avec  $n$  le nombre de réalisations et  $p$  le nombre de points de mesure ou points informés. Les moments d'ordre 1 et 2 de la F.A.  $Z$  (l'espérance mathématique et la covariance centrée) s'écrivent respectivement :

$$E[Z(x)] = \int_{\Omega} Z dF(Z, x) \quad (5.1)$$

$$Cov[Z(x), Z(y)] = E\{[Z(x) - E(Z(x))] \cdot [Z(y) - E(Z(y))]\} \quad (5.2)$$

où  $F$  est la fonction de répartition de la variable aléatoire  $Z(x)$ .

L'estimation de ces moments sur la population des réalisations  $\Omega$  se fait au prix d'hypothèses sur les caractéristiques statistiques de la F.A.  $Z$ , notamment l'hypothèse de stationnarité d'ordre 2 et l'hypothèse intrinsèque.

### 5.1.2 Hypothèse de stationnarité d'ordre 2

Une fonction aléatoire est dite stationnaire si sa loi de probabilité en  $k$  points arbitraires de l'espace est invariante par translation d'ensemble de ces  $k$  points. La F.A.  $Z$  est donc dite stationnaire d'ordre 2 si ses moments d'ordre 1 et 2 sont invariants par une translation quelconque du vecteur position. La stationnarité d'ordre 2 de la F.A.  $Z$  s'exprime alors par les égalités suivantes :

$$E[Z(x)] = E[Z(y)] = m \quad \forall x, y \quad (5.3)$$

$$Cov[Z(x), Z(y)] = Cov(h) \quad \forall x, y \quad (5.4)$$

Ces équations expriment que l'espérance mathématique est constante et la covariance entre deux points quelconques ne dépend que de la distance  $h$  qui les sépare.

Normalement, l'existence des moments d'ordre 1 et 2 suffit pour que l'on puisse définir la covariance (caractérisant la structure spatiale de la F.A.  $Z$ ) en tout point du domaine. Mais l'inférence de la covariance est impossible en une infinité de points. La stationnarité d'ordre 2 du processus permet de surmonter cette difficulté et donc de pouvoir estimer l'espérance et la covariance sur le domaine, à partir des mesures de la F.A.  $Z$  en un nombre fini de points.

Rappelons que dans un contexte de mono-réalisation, on doit compléter l'hypothèse de stationnarité d'ordre 2 par l'hypothèse d'ergodicité du processus. Cette dernière hypothèse stipule que les moments d'ensemble sont équivalents aux moments spatiaux calculés sur le domaine où la F.A. prend ses valeurs. Autrement dit, chaque réalisation particulière considé-

rée est représentative de la population des réalisations. Ce qui autorise à effectuer l'inférence statistique à partir d'une réalisation unique (Delhomme, 1976).

Cependant, la stationnarité d'ordre 2 est une hypothèse assez forte dans certains cas. Matheron (1965) propose alors d'utiliser une autre hypothèse moins forte, mais qui fait intervenir des fonctions pouvant caractériser la structure spatiale du processus : il s'agit de l'hypothèse intrinsèque dont la mise en oeuvre permet de définir le variogramme.

### 5.1.3 Hypothèse intrinsèque

Elle s'applique aux accroissements simples de la F.A. et suppose que ces accroissements sont stationnaires d'ordre 2. Ce qui s'exprime par :

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 0 \quad \forall x, \quad \forall h \quad (5.5)$$

$$Var[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \quad (5.6)$$

$\gamma(h)$  est le semi-variogramme. Mais, dans la pratique, on l'appelle ( par abus de langage) le variogramme. Dans toute la suite, nous parlerons donc du semi-variogramme comme étant le variogramme.  $\gamma(h)$  représente la fonction qui caractérise la structure spatiale du processus analysé, représenté par la fonction aléatoire  $Z$ .

En développant le membre de gauche de l'équation 5.6 et en utilisant l'équation 5.5, le variogramme s'écrit :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2}E[(Z(x+h) - Z(x))^2] \quad (5.7)$$

Cette équation 5.7 exprime que le variogramme est l'accroissement quadratique moyen entre deux points distants de  $h$ .

la forme du variogramme exprime la manière dont l'information se dégrade au fur et à mesure qu'on s'éloigne du point informé  $x$  : il résume la forme moyenne d'évolution du processus quand on s'écarte d'un point  $x$  fixé où a été mesuré  $Z(x)$ . On peut se référer à Obled (2000) pour plus de détails sur l'interprétation du variogramme.

Lorsque  $\gamma$  n'est fonction que de la distance  $h$  séparant deux points  $x$  et  $y$ , indépendamment de la direction du vecteur  $\vec{h}$ , on parle de fonction aléatoire *isotrope*. Par contre, si la direction du vecteur  $\vec{h}$  influe sur le variogramme, on parle de fonction aléatoire *anisotrope*.

### 5.1.4 Les caractéristiques du variogramme

Les caractéristiques possibles d'un variogramme sont largement décrites et assez détaillées par Delhomme (1976) et Chiles (1977). Nous rappelons dans ce qui suit, les plus importantes. Elles concernent principalement, le comportement de  $\gamma(h)$  aux voisinages de l'origine (*i.e.* aux faibles distances) et son comportement à l'infini (*i.e.* aux grandes distances).

D'après sa définition (Eq. 5.7), on peut remarquer que le variogramme est une fonction paire, positive et qui s'annule en 0. Mais, selon la structure spatiale du processus analysé, même si  $\gamma(0) = 0$  il peut exister une distance  $dh = \epsilon$  très faible tel que  $\gamma(\epsilon) = C_0$  avec  $C_0 > 0$ , ce qui montre l'existence d'une discontinuité aux faibles distances. Ce phénomène est connu sous le nom d'**effet de pépité** (FIG. 5.1).

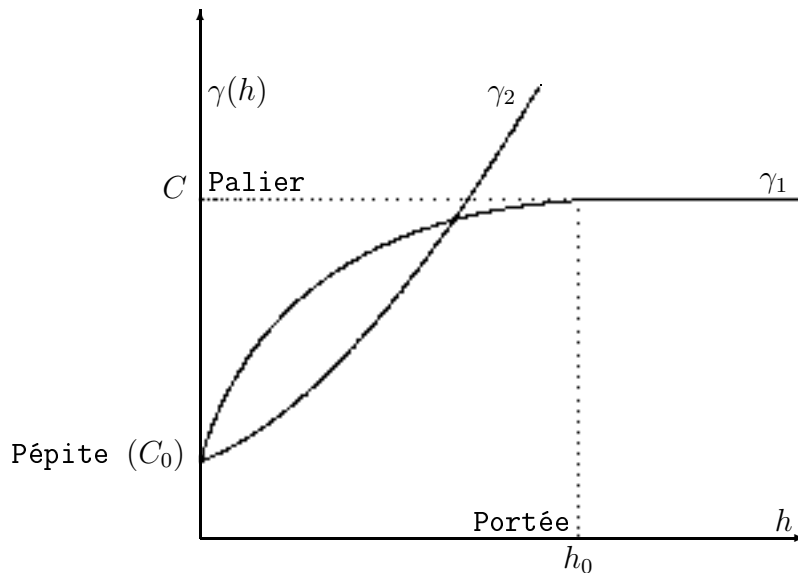


FIG. 5.1: Quelques comportements possibles du variogramme aux voisinages de l'origine et aux grandes distances. Le variogramme  $\gamma_1$  atteint un palier,  $\gamma_2$  non.

Au-delà du voisinage de l'origine, deux types de comportement peuvent être observés. Pour le premier type, la F.A. vérifie à la fois l'hypothèse de stationnarité d'ordre 2 et l'hypothèse intrinsèque. Par conséquent, la covariance est définie. Le variogramme  $\gamma(h)$  peut alors s'exprimer en fonction de la covariance. Dans ce cas, il existe un réel  $h_0 \geq 0$  tel que :

$$\begin{cases} \gamma(h) = Cov(0) - Cov(h) \\ \gamma(h) = Cov(0) = C \quad \forall h \geq h_0 \end{cases} \quad (5.8)$$

L'équation 5.8 montre que le variogramme atteint une valeur limite  $C$  égale à  $Cov(0)$ . Cette limite est appelée **palier** du variogramme. La distance caractéristique  $h = h_0$  à partir de

laquelle le palier est atteint est nommée la **portée** (cf. variogramme  $\gamma_1$  de la figure 5.1). Notons qu'au-delà de la portée, il y a décorrélation des valeurs de la F.A.

Le second type de comportement possible caractérise une F.A. qui ne vérifie que l'hypothèse intrinsèque. Dans ce cas, ni la covariance, ni la variance ne sont *a priori* finies. Par conséquent, le variogramme augmente en même temps que la distance et tend vers l'infini (Journel et Huijbregts, 1978). Il n'est donc pas borné (cf. variogramme  $\gamma_2$  sur la figure 5.1). Dans ce contexte, toutes les valeurs de la F.A. sont corrélées avec un poids qui dépend de l'évolution du variogramme avec la distance. Ce qui exprime la présence d'une dérive sous-jacente au processus.

## 5.1.5 Estimation du variogramme

### 5.1.5.1 Le variogramme empirique : Variogramme moyen et variogramme climatologique

Comme nous l'avons dit plus haut, on se place dans un **contexte multi-réalisations** hétérotope et le processus qui nous intéresse est représenté par une F.A. qui prend des valeurs  $Z(x)$  en un nombre fini de points. Ces points constituent le réseau d'échantillonnage de la F.A.  $Z$  qui nous permettra de calculer un variogramme à partir des mesures. Ce variogramme est appelé variogramme empirique (encore appelé variogramme expérimental ou brut) et noté  $\gamma^*$ .

Dans la pratique, du fait du nombre limité de points de mesures, pour estimer l'espérance du carré de l'écart entre deux points  $x$  et  $x + h$  distants de  $h$ , à partir de l'équation 5.7, on remplace l'espérance par une moyenne empirique sur l'ensemble de tous les couples de points distants approximativement de  $h$ , formant la classe  $h$ . On a donc :

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i,j \in D_h} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2 \quad (5.9)$$

avec :

$N_h$  : le nombre de couples de points dans la classe de distances  $h$

$D_h$  : ensemble des couples  $(i, j)$  tels que  $h_{ij} = \|x_i - x_j\| \in [h \pm \frac{\Delta h}{2}]$ .

Le découpage en classe de distances peut se faire de deux façons : soit on fixe une largeur de classe constante et l'effectif est variable dans chaque classe (**découpage à pas constant**), soit on fixe un effectif constant et la largeur de la classe varie (**découpage en classes d'égal effectif**). Le logiciel SPATIAL (Thauvin et Delclaux, 1992) offre, pour le découpage,

une troisième option : **le découpage à pas variable** où on a la liberté de choisir les bornes des classes souhaitées. Nous avons adopté pour notre travail, la première méthode qui permet d'avoir des valeurs du variogramme pour des interdistances régulières. Toutefois, nous ne perdons pas de vue, l'inconvénient principal de cette méthode qui est que les classes sont d'effectifs assez hétérogènes. Certaines classes peuvent avoir un effectif très faible, voir nul. Pour limiter ces effets d'échantillonnage, Journel et Huijbregts (1978) indiquent que le nombre de couples par classe doit être au moins de l'ordre d'une trentaine. C'est pourquoi, dans notre démarche, certaines classes (surtout pour les grandes distances) sont regroupées.

Par ailleurs, d'après (Matheron, 1965), le variogramme théorique n'est représentatif du variogramme empirique qu'au voisinage de l'origine. Dès lors, Journel et Huijbregts (1978) recommandent de n'estimer le variogramme que jusqu'à des distances de l'ordre de la moitié de la longueur caractéristique du domaine d'étude. Par conséquent, nous nous limiterons dans notre cas à 80 Km pour l'ajustement de la fonction théorique au variogramme brut, puisque la largeur caractéristique de notre domaine est d'environ 150 km. Mais dans toutes la suite, on représentera tous les variogrammes sur les distances allant jusqu'à 120 km afin de faire apparaître les fluctuations aux grandes distances.

Dans le contexte multi-réalisations, deux types de variogramme peuvent être estimés : le variogramme moyen ou le variogramme climatologique.

#### ◦ *Le variogramme moyen*

Soit  $\gamma_j^*(x, y)$  un variogramme mono-réalisation. Le variogramme moyen est estimé comme la moyenne arithmétique simple de tous les  $n$  variogrammes mono-réalisation.

$$\gamma_{moy}^*(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \gamma_j^*(x, y) \quad (5.10)$$

#### ◦ *Le variogramme climatologique*

Contrairement au variogramme moyen, le variogramme climatologique est une moyenne des variogrammes mono-réalisation pondérée par l'inverse des variances spatiales respectives des champs (Bastin *et al.*, 1984). Il s'écrit :

$$\gamma_{clim}^*(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{S_j^2} \gamma_j^*(x, y) \quad (5.11)$$

avec

$$S_j^2 = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (Z_j(x_i) - m_j)^2 \quad (5.12)$$

Pour l'inférence du variogramme, on peut se demander lequel du variogramme moyen ou climatologique choisir. Ce choix peut être guidé aussi bien par la nature de l'information disponible que par l'utilisation que l'on veut en faire ultérieurement. Dans la présente étude, nous avons calculé les deux variogrammes pour l'analyse de structure des précipitations. Mais nous avons choisi d'utiliser le variogramme climatologique pour l'interpolation des champs de pluie par krigeage.

### 5.1.5.2 Modélisation du variogramme

L'outil variogramme sert non seulement à l'analyse de structure des champs mais aussi à leur interpolation par krigeage. Dans ce cadre, on a besoin de calculer la valeur du variogramme pour toute classe de distance  $h$ . D'où la nécessité d'avoir une formulation mathématique du variogramme. On rappelle que seules les fonctions définies positives constituent la gamme des modèles pouvant représenter le variogramme.

Dans la pratique, il existe des modèles élémentaires couramment utilisés dont la description est donnée par les relations ci-dessous en adoptant les notations suivantes :

$C_0$  : la pépite à l'origine, c'est-à-dire la valeur telle que  $\gamma(0) = 0$  et  $\gamma(\epsilon) = C_0$ , avec  $\epsilon$  proche de 0

$C$  : la valeur du palier

$a$  : le paramètre de forme du variogramme

#### ◦ Modèles à Palier

- modèle exponentiel (continu et non dérivable en 0)

$$\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (5.13)$$

- modèle sphérique (continu et non dérivable en 0)

$$\begin{cases} \gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{a^3} \right) & \text{si } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) = C & \text{si } h > a \end{cases} \quad (5.14)$$

- modèle gaussien (continu et deux fois dérivable en 0)

$$\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right] \quad (5.15)$$

En absence d'effet de pépite, les modèles exponentiel et sphérique ont un comportement

linéaire à l'origine tandis que le modèle gaussien a un comportement parabolique à l'origine. Il est à noter que le modèle gaussien est utilisé uniquement pour les phénomènes qui ont des variations très lisses dans l'espace ; c'est-à-dire les phénomènes extrêmement continus. Sinon, on lui préfère le modèle "pseudo-gaussien" (Stein, 1988; Stein et Handcock, 1989) :

$$\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h}{a} \left( 1 + \frac{h}{a} \right) \right) \right] \quad (5.16)$$

◦ *Modèles sans Palier*

Dans ce cas, les F.A. correspondantes vérifient uniquement l'hypothèse intrinsèque. Elles n'ont donc ni covariance, ni variance *a priori* finie.

- modèle puissance

$$\gamma(h) = C_0 + (\alpha - C_0)h^\beta \quad \text{avec} \quad \beta \in ]0, 2[ \quad (5.17)$$

- modèle logarithmique

$$\gamma(h) = \ln(h) \quad \Leftrightarrow \quad h \geq 1 \quad (5.18)$$

Les modèles sans palier sont utilisés pour des processus dont le variogramme empirique augmente sans cesse avec la distance.

### 5.1.5.3 Ajustement d'un modèle au variogramme brut

Après la construction du variogramme brut, sa forme peut donner une indication sur le type de modèle théorique à utiliser pour son ajustement. L'ajustement d'un modèle peut se faire de deux manières : soit automatiquement, soit manuellement (calage graphique visuel).

Le calage manuel consiste à tracer sur le variogramme brut, une courbe approximative correspondant au modèle choisi et à estimer les paramètres du modèle. Mais l'inconvénient de cette façon de procéder est qu'il n'y a pas de critère pertinent d'arrêt de l'ajustement. Le seul critère est qu'on apprécie visuellement la superposition des deux courbes.

En revanche, dans le cas de l'ajustement automatique, il existe un critère objectif qui varie selon la méthode choisie. Généralement, c'est la méthode des moindres carrés qui est utilisée. Dans ce cas, on cherche à minimiser la somme ( $s$ ) du carré des écarts entre le variogramme

brut ( $\gamma_b$ ) et le modèle théorique : ( $\gamma_{th}$ ) :

$$s = \sum_{i=1}^{N_c} (\gamma_{th}(i) - \gamma_b(i))^2 \quad (5.19)$$

Avec  $N_c$ , le nombre de points (centres de classes) ayant servi à construire le variogramme brut.

L'inconvénient que présente ce procédé pour le cas du calage d'un variogramme est qu'il accorde la même importance aux écarts, quelle que soit la distance à laquelle ils correspondent. Or très souvent, les grands écarts observés aux grandes distances importent peu ; puisque l'interpolation des champs à laquelle le variogramme est destiné se fait sur un voisinage proche. De plus, les erreurs quadratiques sont, en espérance, plus fortes aux grandes distances.

Pour remédier à cet inconvénient, on utilise d'autres types de fonction "objectif" qui permettent de contrôler l'ajustement réalisé de façon que le variogramme théorique approche au mieux la partie intéressante du variogramme brut. Nous avons choisi cette dernière démarche dans la présente étude et pour l'optimisation de l'ajustement, c'est le critère de Nash ou efficacité (Nash et Sutcliffe, 1970) que nous avons retenu pour évaluer la pertinence de l'ajustement. Ce critère se définit de la façon suite :

$$\text{coeffnash} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N_c} (\gamma_b(i) - \gamma_{th}(i))^2}{\sum_{i=1}^{N_c} (\gamma_b(i) - \bar{\gamma}_b)^2} \quad (5.20)$$

où :  $\bar{\gamma}_b$  est la moyenne des valeurs du variogramme brut.

L'ajustement est optimal lorsque l'efficacité "coeffnash" est maximale. Cette méthode nous permet d'identifier le meilleur jeu de paramètres ( $C_0$ ,  $C$ ,  $a$ ) qui caractérisent le variogramme modélisé. Nous avons appliqué la méthode des moindres carrés pour le calage mais elle n'apporte pas de résultats meilleurs.

Parmi les modèles décrits au paragraphe 5.1.5.2 (Équations 5.13 à 5.18), nous avons utilisé le modèle exponentiel compte tenu de la forme du variogramme brut où on note la présence marquée d'un palier et d'une pépité (FIG. 5.2).

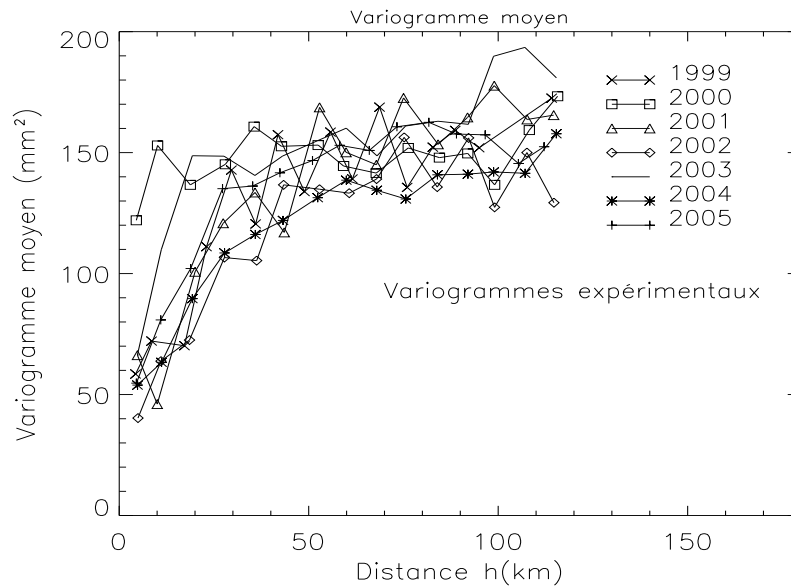


FIG. 5.2: Forme du variogramme moyen brut du cumul événementiel.

## 5.2 Analyse du variogramme événementiel

### 5.2.1 Analyse de la variabilité temporelle

#### 5.2.1.1 Variabilité interannuelle

A partir d'un échantillon de 730 événements constitué sur la période 1999-2005, on a déterminé le variogramme moyen, puis le variogramme climatologique expérimental de chaque saison. La figure 5.2 montre une forte dispersion des variogrammes moyens calculés pour chaque année. En normant ces variogrammes par la variance de chaque champ, les variogrammes climatologiques obtenus ne semblent pas se superposer parfaitement. La figure 5.3 montre qu'il existe toujours une dispersion mais moins forte que celle observée sur les variogrammes moyens. L'écart est faible aux petites distances mais reste marqué au delà, surtout entre la saison 1999 et les autres saisons. La variabilité interne des champs de pluie semble donc liée à la nature de la saison.

Cette instabilité apparente du variogramme pose la question de l'homogénéité de l'échantillon d'événements constitué. Il est possible que les fluctuations observées soient dues à certains types d'événements qui n'ont pas de structure spatiale bien organisée et dont le mélange avec les autres événements ne permet pas de percevoir une structure stable.

Une autre question qui se pose est de savoir si cette instabilité du variogramme n'est pas un artefact lié au réseau d'observation dont la configuration a évolué d'une année à une autre. Par ailleurs ces fluctuations pourraient être liées à l'échantillonnage limité puisque,

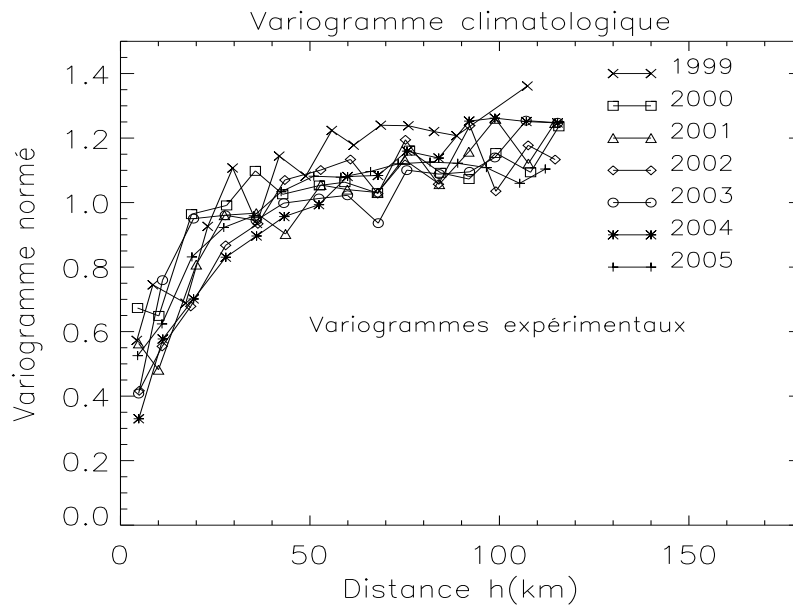


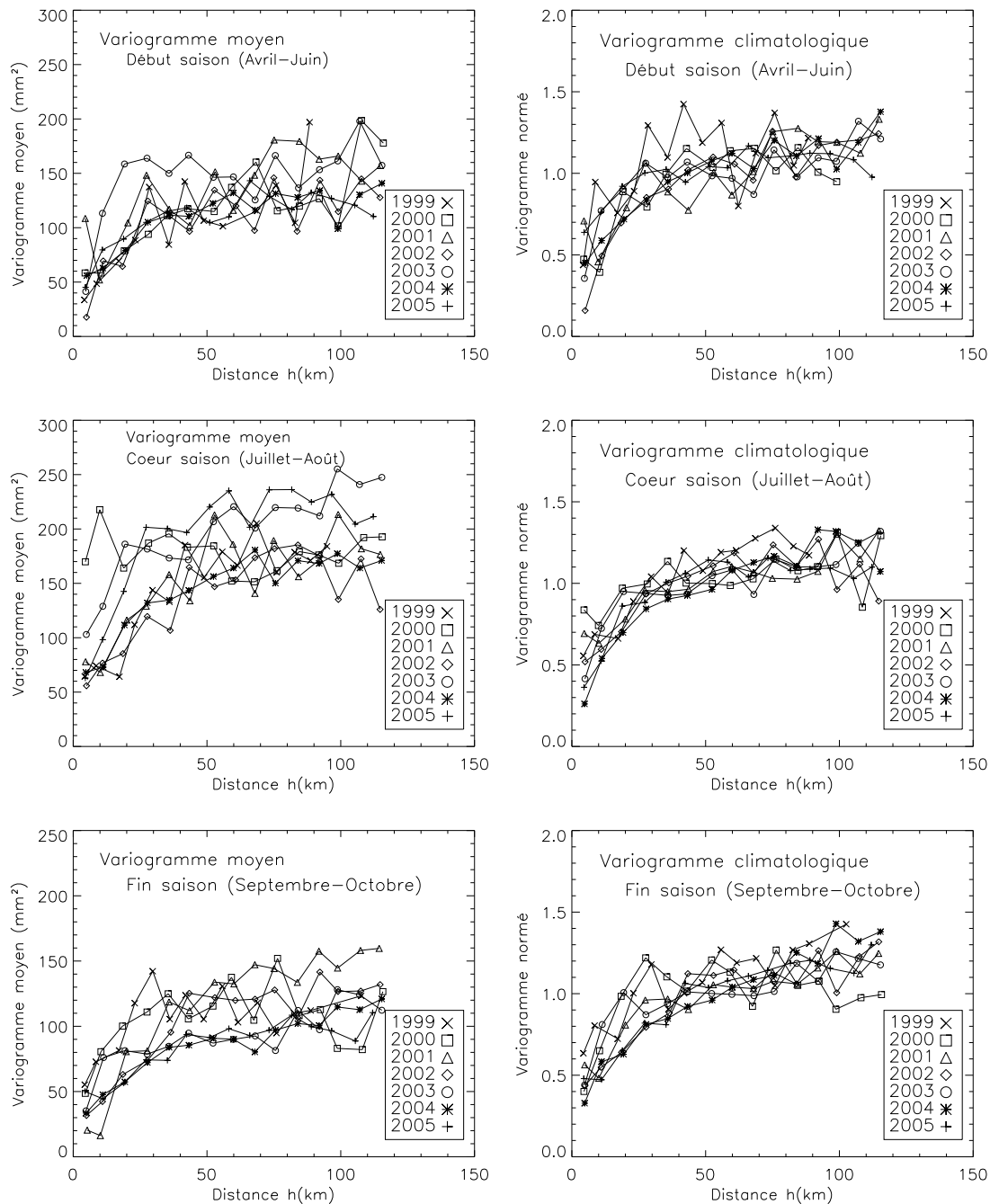
FIG. 5.3: Forme du variogramme climatologique brut événementiel en fonction de l'année

malgré le nombre important d'événements par an par rapport à la région sahélienne (105 événements par an en milieu soudanien contre 43 au Sahel) nous ne disposons pas encore d'une série assez fournie (en terme de profondeur temporelle) comme au Sahel où une banque de 17 années d'observations est disponible.

### 5.2.1.2 Variabilité intrasaisonnière

Nous avons analysé la variabilité intrasaisonnière en cherchant à savoir si le variogramme dépend fortement ou non de la période considérée dans la saison des pluies. A cet effet, on a subdivisé la saison des pluies en trois périodes : le début de saison (Avril à Juin), le coeur de saison (Juillet - Août), et la fin de saison (Septembre-Octobre) pour chacune des sept années considérées. Dans un premier temps, on calcule pour chaque année, les variogrammes moyen et normé de chaque période afin d'analyser la variabilité interannuelle des événements au sein de chaque période ainsi définie. On observe sur la figure 5.4 (page 136) que quelle que soit la période considérée, les variogrammes moyens sont toujours assez dispersés. Par contre, les variogrammes climatologiques se resserrent tout en conservant une légère dispersion comme on l'a déjà observé sur le variogramme saisonnier. Il apparaît que la dispersion du variogramme moyen par rapport au variogramme climatologique est naturel. Par contre, lorsqu'on observe les variogrammes moyens, les variogrammes moyens de "coeur de saison" apparaissent plus dispersés que les variogrammes de "début" et de "fin de saison". Ceci peut être dû à l'effet d'échantillonnage.

Pour évaluer l'effet éventuel du réseau sur la structure des champs de pluie, nous avons considéré le réseau fixe RM1 puis calculé pour l'ensemble de la période (1999-2005) les variogrammes moyen et climatologique des périodes "début de saison", "coeur de saison" et "fin de saison", sans distinction de saison. Par ailleurs, nous avons discriminé les événements selon leur occurrence avant ou après le "saut de mousson" dont la date déterminée pour la zone au chapitre 3 est le 27 juin. La figure 5.5.a (page 137) montre que le variogramme moyen de coeur de saison est largement supérieur aux variogrammes de début et de fin de saison. Par ailleurs, le variogramme de début de saison est supérieur au variogramme de fin de saison. Il apparaît donc évident que la variabilité du champ événementiel est liée à son intensité moyenne. Lorsqu'on norme chaque champ par sa variance, on constate (FIG. 5.5.b, page 137) que les trois variogrammes climatologiques se superposent relativement bien. De même, les variogrammes climatologiques "avant" et "après" saut de mousson se superposent très bien (FIG. 5.7 à la page 138).



(a) Variogrammes Moyens

(b) Variogrammes climatologiques

FIG. 5.4: Variabilité interannuelle des variogrammes événementiels de "Début", "Coeur" et "fin" de saison. (a) : de haut en bas, respectivement les variogrammes moyens de début, coeur et fin de saison. (b) de haut en bas, respectivement les variogrammes climatologique de début, coeur et fin de saison.

Par conséquent, les écarts constatés sur les variogrammes moyens s'expliquent par l'effet de la puissance des champs. En effet, ainsi que le montre la figure 5.6 à la page 138, si l'on regroupe les variogrammes de début et de fin de saison qui sont plus proches, pour constituer une période que nous appellerons "marge de saison", on observe que le variogramme moyen de coeur de saison est nettement supérieur au variogramme de marge de saison (FIG. 5.6.a, page 138).

En revanche, les variogrammes climatologiques des deux périodes se superposent parfaitement (FIG. 5.6.b, page 138). Ces constats sont également valables pour les variogrammes "avant saut de mousson" et "après saut de mousson" (FIG. 5.7 à la page 138). On observe également une stabilité de forme des variogrammes. Dans ce contexte, la différence entre les événements de coeur et de marge de saison (de même que pour les événements avant et après saut de mousson) résiderait dans la puissance des champs. On retrouve ainsi un résultat similaire à celui mise en évidence par Ali (2001) et Ali *et al.* (2003) sur les événements pluvieux sahéliens. Mais la question demeure posée, dans le contexte soudanien, quant à l'influence du réseau sur la structure des champs événementiels.

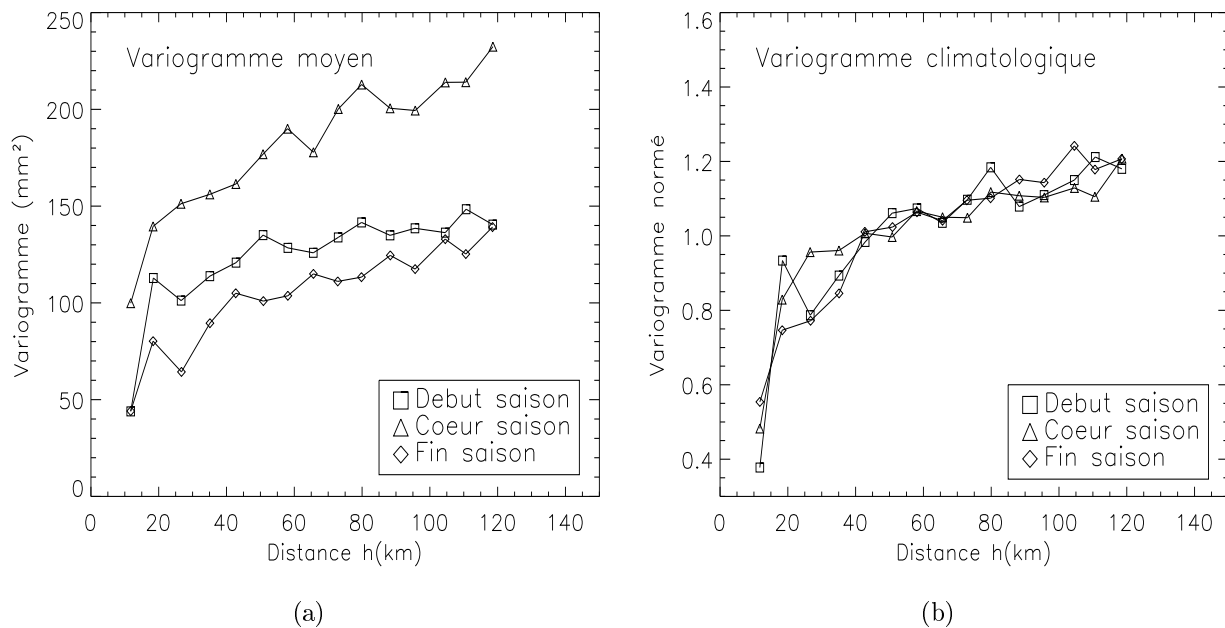


FIG. 5.5: Variogrammes moyens événementiels et normés en fonction de la période au cours de la saison des pluies. (a) : variogrammes moyens et (b) : variogrammes climatologiques

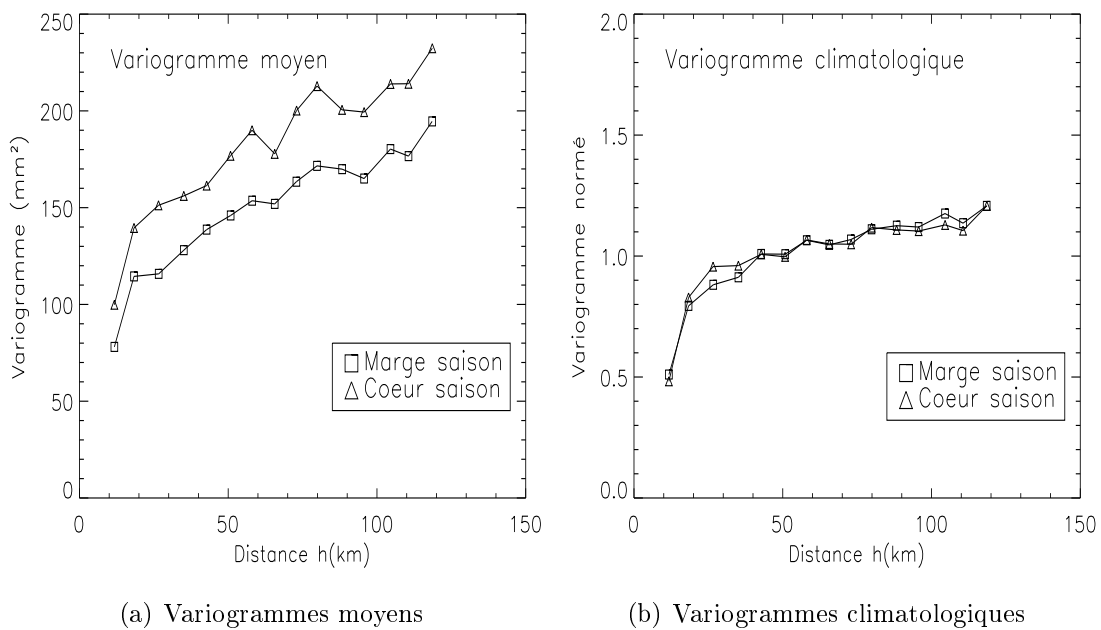


FIG. 5.6: Variogrammes événementiels de coeur et de marge de saison des pluies

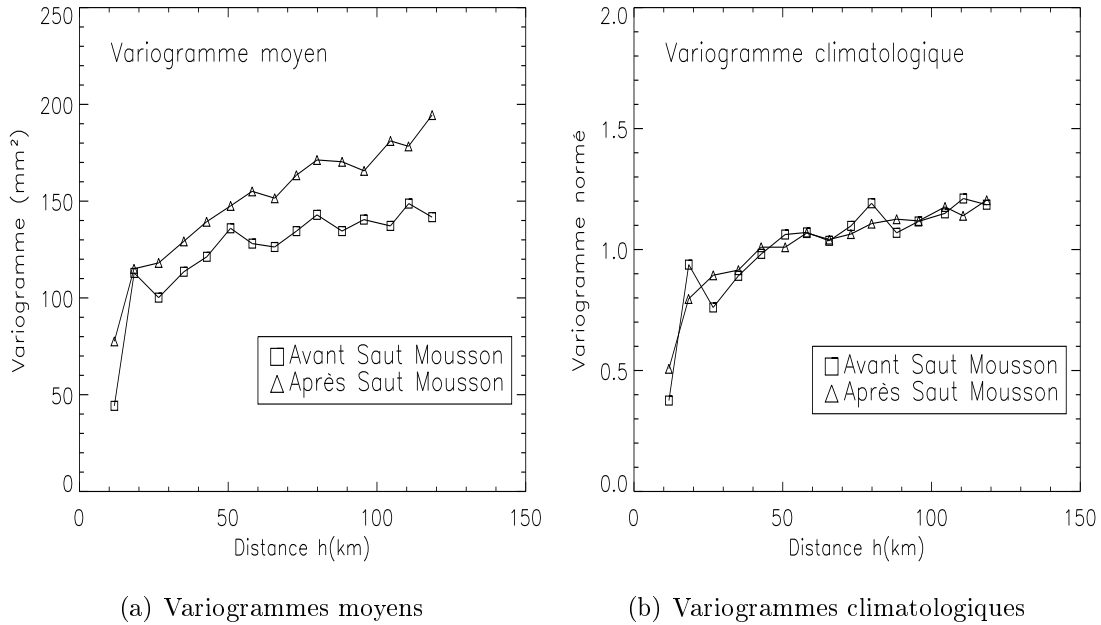


FIG. 5.7: Variogrammes événementiels "Avant" et "Après" le saut de mousson.

## 5.3 Essai de modélisation du variogramme

Après avoir analysé la variabilité interannuelle du variogramme événementiel, nous avons testé une modélisation qui, dans un premier temps, tient compte de la spécificité de chaque saison. Le type de modèle qui s'adapte le mieux au variogramme, qu'il soit moyen ou climatologique, est le modèle exponentiel (Eq. 5.13) avec une forte présence d'effet de pépité caractérisant la variabilité aux faibles échelles spatiales (ici inférieures à 5km).

Nous avons réalisé des ajustements sur des intervalles de distance dont la borne supérieure varie de 80km à 120km. On constate que l'efficacité de l'ajustement se dégrade avec l'augmentation de la borne supérieure de l'intervalle d'ajustement. Le meilleur ajustement est obtenu pour les distances inférieures ou égales à 80km. Mais, comme indiqué plus haut, les variogrammes sont représentés sur les distances allant jusqu'à 120 km. Les paramètres caractéristiques du variogramme moyen (FIG. 5.8, page 140) fluctuent assez d'une année à une autre si bien qu'il est difficile de représenter ce variogramme par un modèle global unique.

Par contre, le variogramme climatologique présente une plus faible variation d'une année à une autre surtout en ce qui concerne le palier et la pépité (FIG. 5.9, page 141). On a donc modélisé ce variogramme par un modèle climatologique unique de type exponentiel, appelé modèle à paramètres globaux sur la figure 5.9 à la page 141. Les caractéristiques de ce modèle sont :

$C_0 = 0.33$  : la pépité à l'origine

$C = 1.19$  : la valeur du palier

$a = 25km$  : le paramètre de forme du variogramme

Aux faibles distances, ce modèle unique représente assez bien les saisons 2001, 2002 et 2005. En revanche, il sous-estime le variogramme de la saison 1999 et représente mal les saisons 2000 et 2003. On rappelle que sur la figure 5.9 de la page 141, le modèle à paramètres locaux est le modèle obtenu avec les paramètres annuels de chaque saison.

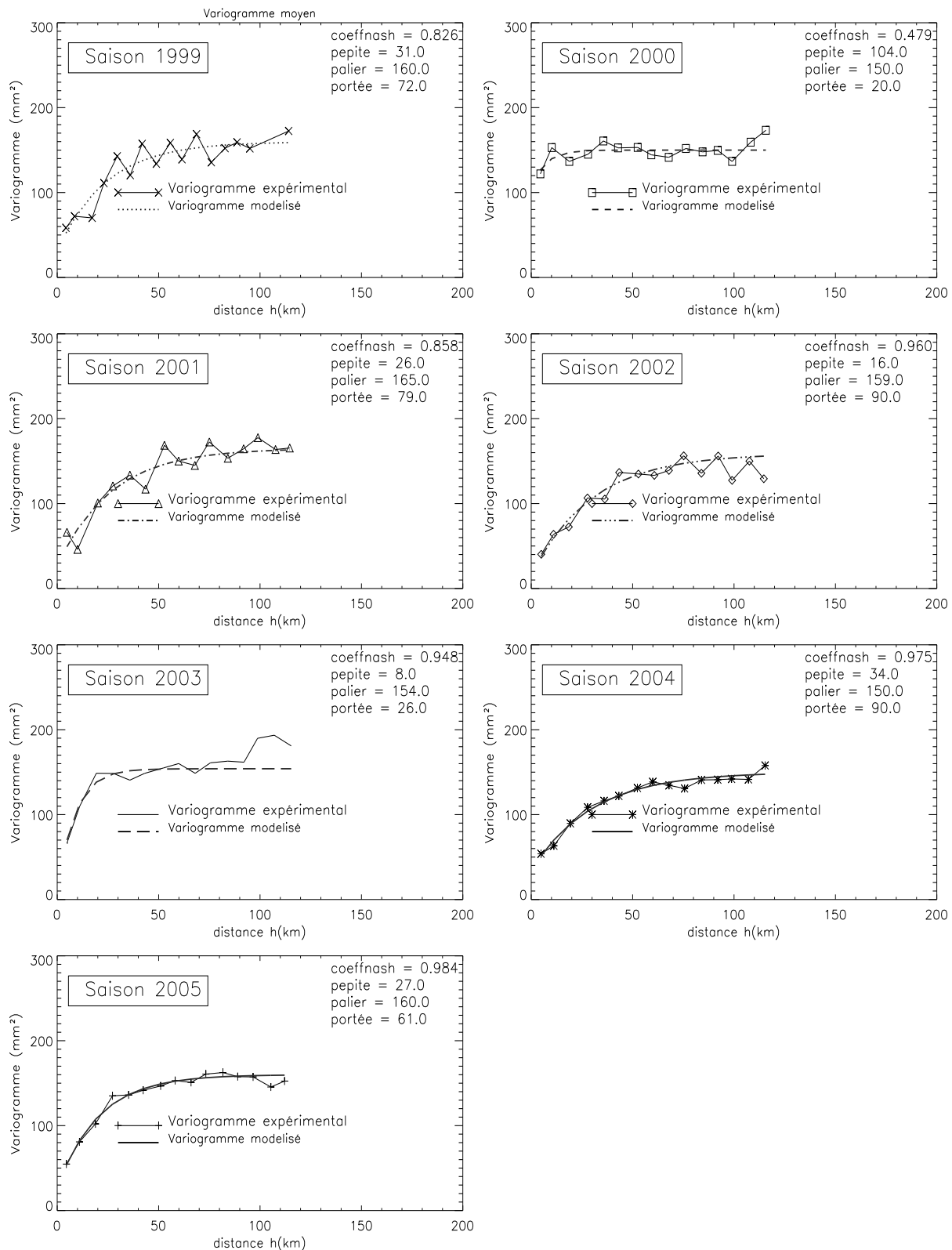


FIG. 5.8: Ajustement du modèle exponentiel aux variogrammes événementiels moyens bruts. L'ajustement est réalisé sur les distances allant de 0 à 80Km.

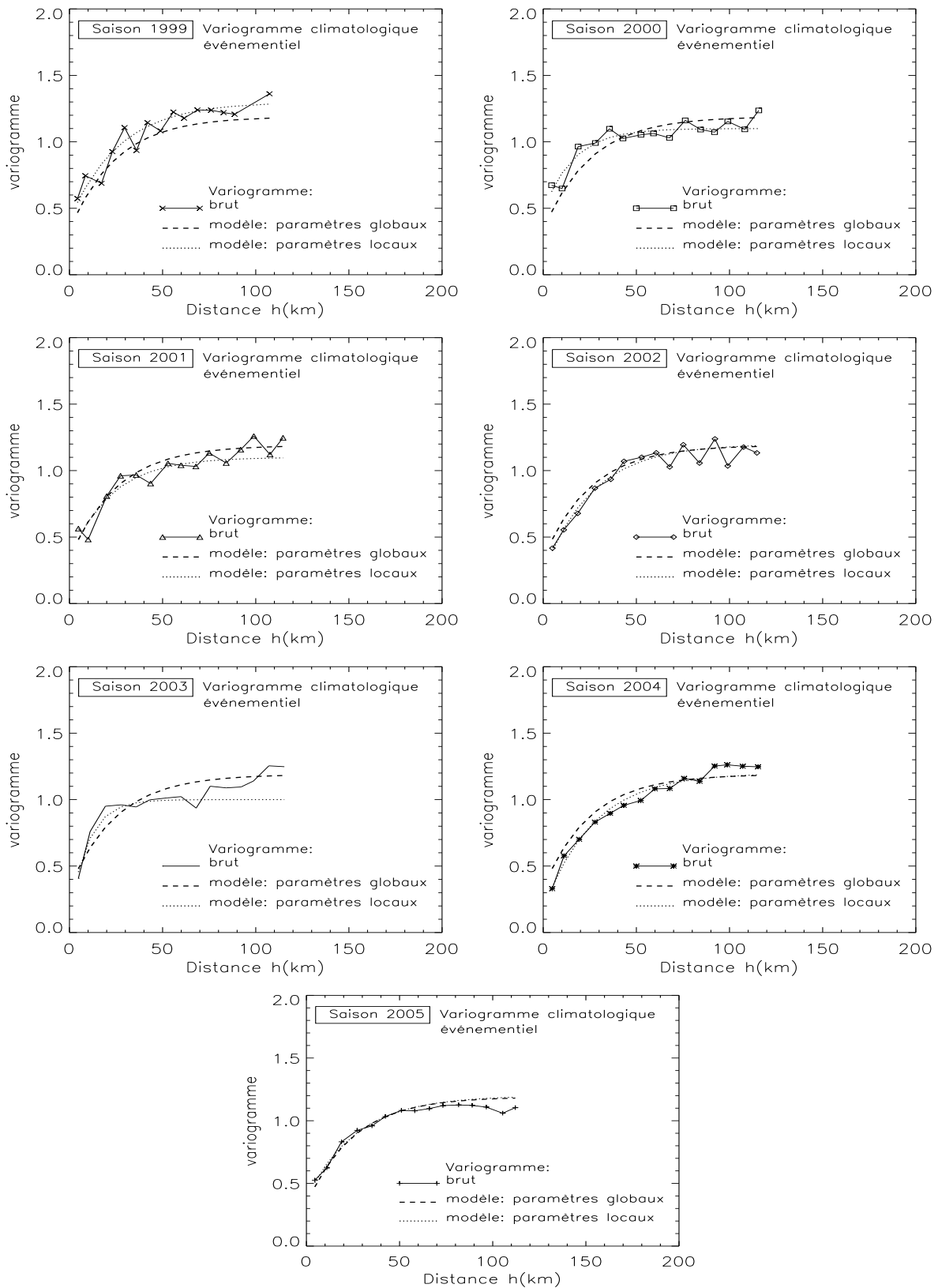


FIG. 5.9: Comportement du modèle climatologique unique (modèle à paramètres globaux) par rapport aux variogrammes événementiels bruts de chaque saison et aux variogrammes modélisés avec les paramètres annuels ou locaux. Les ajustements sont réalisés sur les distances allant de 0 à 80Km.

## 5.4 Distribution spatiale des cumuls saisonniers

Dans cette section, nous utilisons les données de la saison 2006 que nous n'avions pas utilisées au chapitre 4 dans le cadre de l'analyse des caractéristiques des événements pluvieux car, la plus fine échelle temporelle à laquelle nous travaillons ici est la journée. Donc le biais d'intermittence qu'introduisaient certaines stations décalées de quelques heures n'influence pas ici nos analyses. Ainsi, cette section portera sur la période 1999-2006.

La détermination des champs de cumuls saisonniers pose un problème majeur dans nos régions en ce sens que toutes les stations installées ne fonctionnent pas à 100% au cours de la saison. Les taux de lacunes atteignent parfois 80% (cf. TAB. 2.2 au chapitre 2). Ainsi l'utilisation directe des totaux saisonniers des stations pour établir le champ de cumul de la zone introduit un biais dans l'estimation des valeurs moyennes. Il existe certes des méthodes très élaborées de reconstitution de données manquantes ; mais les données ainsi obtenues demeurent synthétiques et leur degré de confiance est lié à la méthode de reconstitution. Nous avons donc choisi d'utiliser les observations disponibles et déterminer le champ pluviométrique annuel à partir des champs journaliers. Cette méthode a l'avantage de prendre en compte pour chaque jour d'observations, le meilleur réseau disponible pour le krigeage de la pluie moyenne en éliminant les stations lacunaires du jour considéré. Mais il faut noter que cette façon de reconstituer le champ annuel aura tendance à le lisser.

Dans un premier temps, nous avons analysé le variogramme climatologique au pas de temps journalier (FIG. 5.10) afin de rechercher un modèle unique capable de rendre compte de la structure des champs de pluie à cette échelle. On observe qu'en dehors de la saison 1999, les variogrammes bruts ont la même allure exponentielle que les variogrammes événementiels correspondants. Par ailleurs, ces variogrammes sont assez dispersés au delà de 80 km. Nous avons considéré dans le cadre de la modélisation entreprise ici, les distances inférieures ou égales à 80 km pour réaliser l'ajustement du modèle aux variogrammes bruts (FIG. 5.11, page 144).

L'analyse de la variabilité interannuelle des paramètres du modèle montre que ces paramètres fluctuent peu d'une année à une autre, notamment en ce qui concerne le palier et la pépité. Nous avons donc déterminés les valeurs d'ensemble des paramètres qui permettent de représenter au mieux les variogrammes de chaque saison. Ainsi, le variogramme climatologique journalier est représenté par un modèle exponentiel (Eq. 5.13) avec les paramètres suivants qui sont très proches de ceux du variogramme climatologique événementiel :

$C_0 = 0.3$  : la pépité à l'origine

$C = 1.11$  : la valeur du palier

$a = 25km$  : le paramètre de forme du variogramme

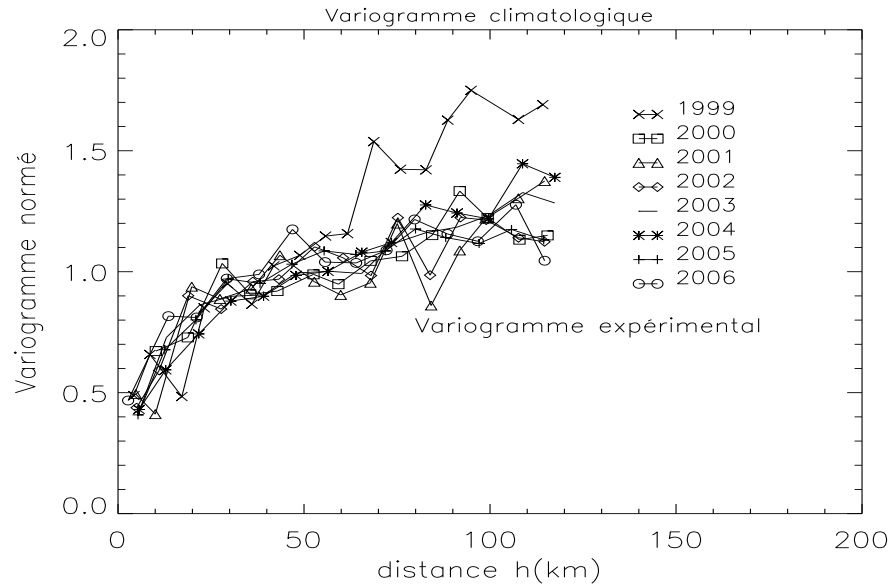


FIG. 5.10: Variogrammes climatologiques journaliers des saisons 1999 à 2006.

La comparaison de ce modèle unique aux observations montre quelques différences surtout aux grandes distances. Le modèle unique sous-estime systématiquement le variogramme brut de la saison 2006. La saison 1999 ne s'adapte pas à un modèle de type exponentiel. Par contre, le modèle représente bien les variogrammes des saisons 2001, 2002, 2004 et 2005 (FIG. 5.12 à la page 145). Aux distances inférieures à 80 km, le modèle représente assez bien la structure de 6 saisons sur l'ensemble des huit étudiées.

Théoriquement, les paliers des variogrammes climatologiques devraient être égaux à 1. Mais, comme on peut l'observer sur les figures 5.11 et 5.12, les paliers sont supérieurs à 1. Ce fait pourrait être dû à l'échantillonnage.

La distribution spatiale des cumuls annuels déterminés comme indiqué ci-dessus, montre qu'il existe une variabilité spatiale indépendante de la pluviosité de l'année. Les isohyètes annuelles (FIG. 5.13 à la page 146 et FIG. 5.14 à la page 147) montrent bien que la variabilité n'est pas plus importante que l'année soit sèche ou humide. Par ailleurs, on note une tendance à l'augmentation des cumuls annuels dans la direction Est-Ouest. Mais cette tendance est biaisée aux bords du domaine. La pluviométrie moyenne interannuelle de la période 1999-2006 (FIG. 5.15 à la page 148) montre aussi ce léger gradient longitudinale observé sur certaines saisons. La section 5.4.1 discute de cette tendance longitudinale.

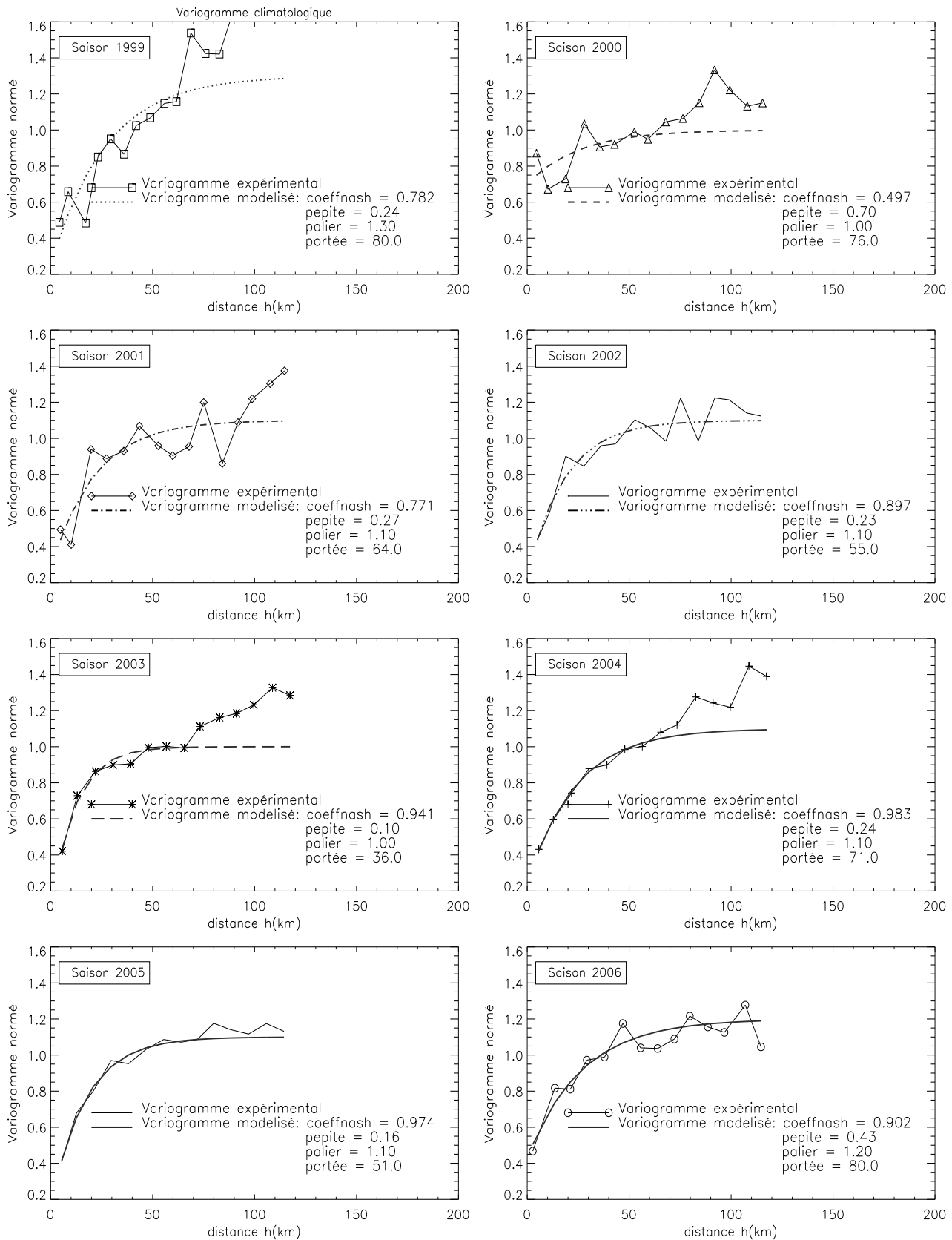


FIG. 5.11: Variogrammes climatologiques journaliers des saisons 1999 à 2006 et leurs modélisations.

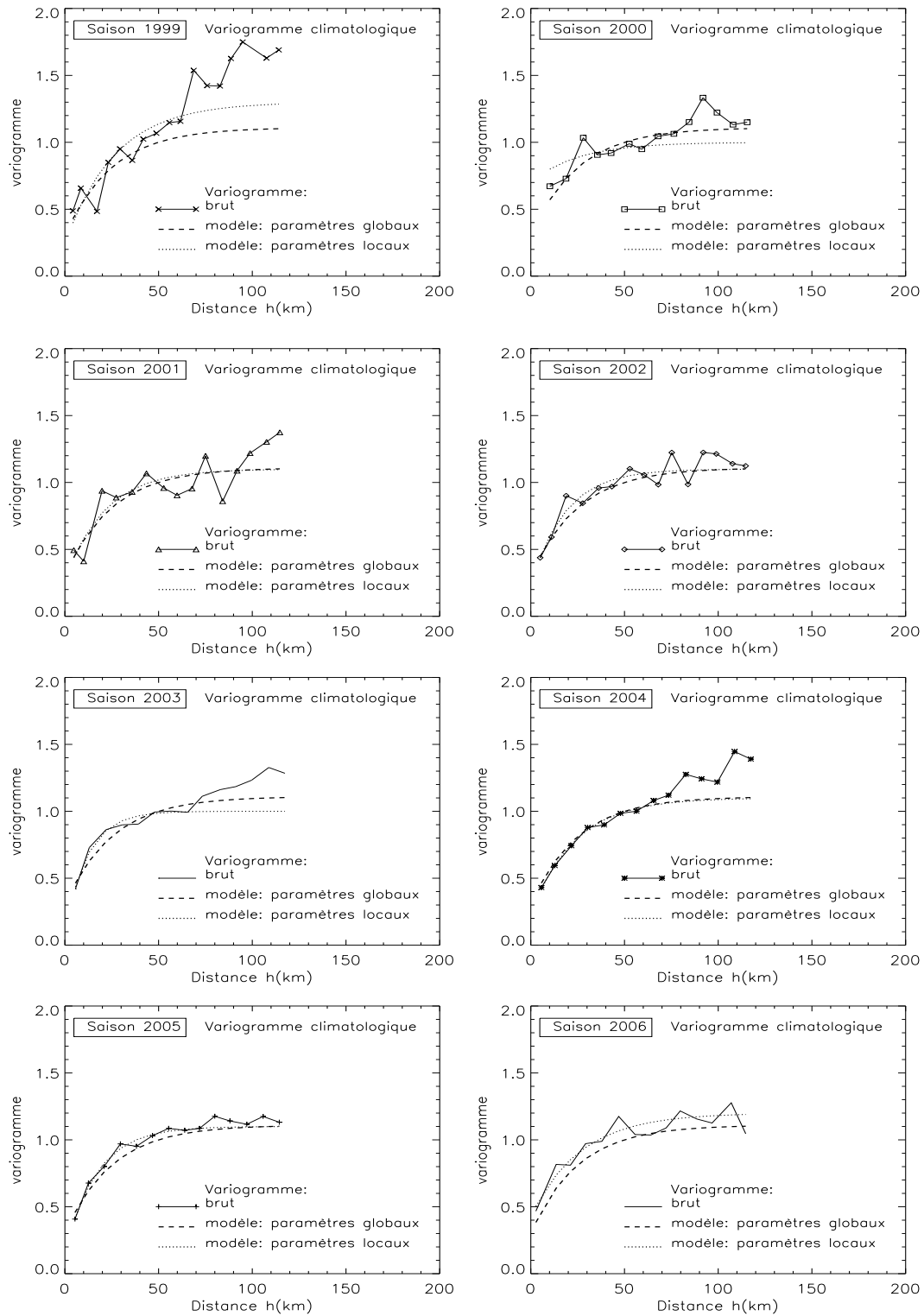


FIG. 5.12: Comparaison du modèle unique de variogramme climatologique journalier (modèle à paramètres globaux) aux observations. Le modèle à paramètres locaux correspond aux paramètres propres à chaque saison.

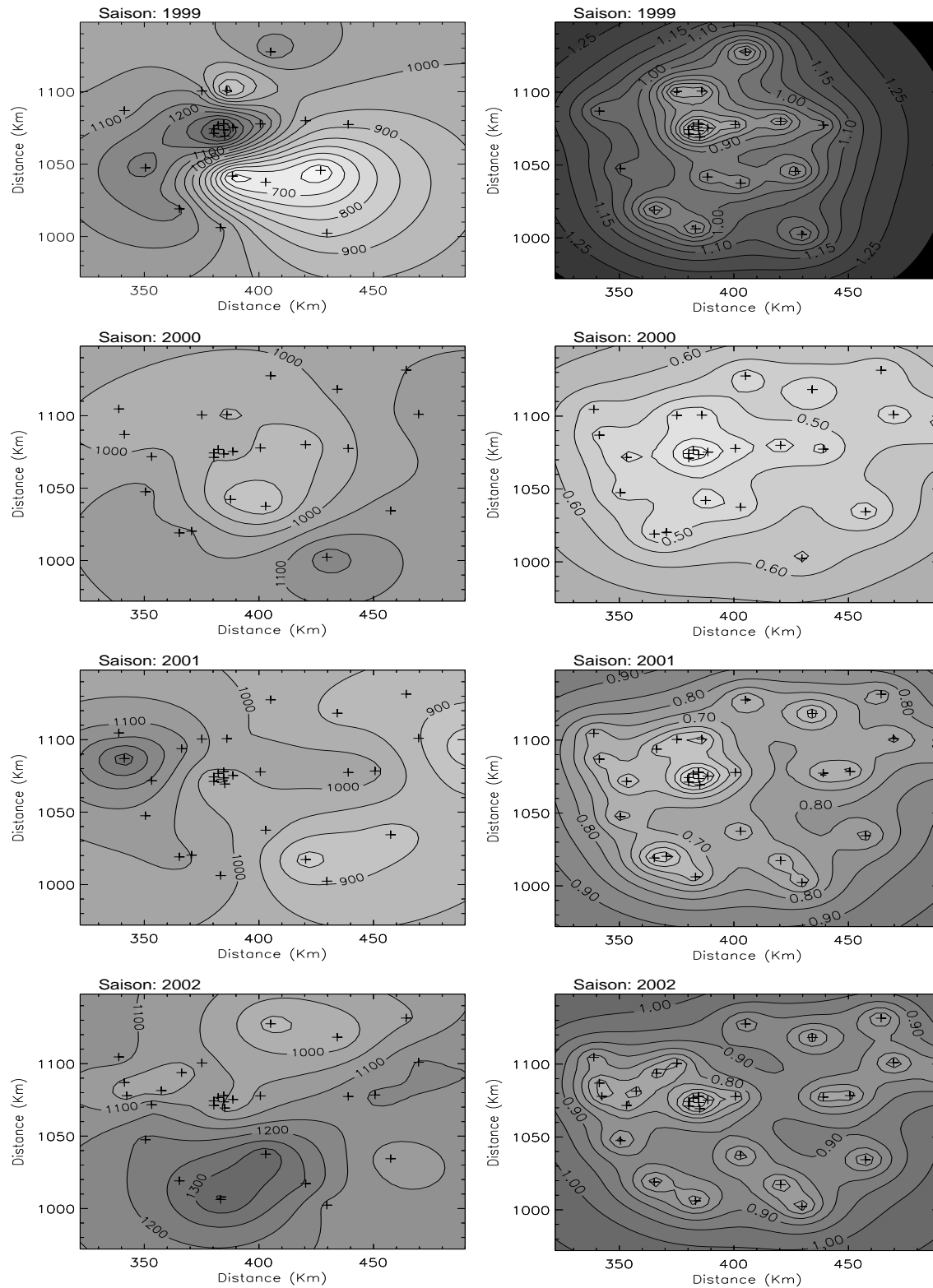


FIG. 5.13: Pluviométrie annuelle des saisons 1999 à 2002 (à gauche) et champs moyens journaliers de l'écart type d'estimation normalisé (à droite). Les croix représentent les positions des stations utilisées.

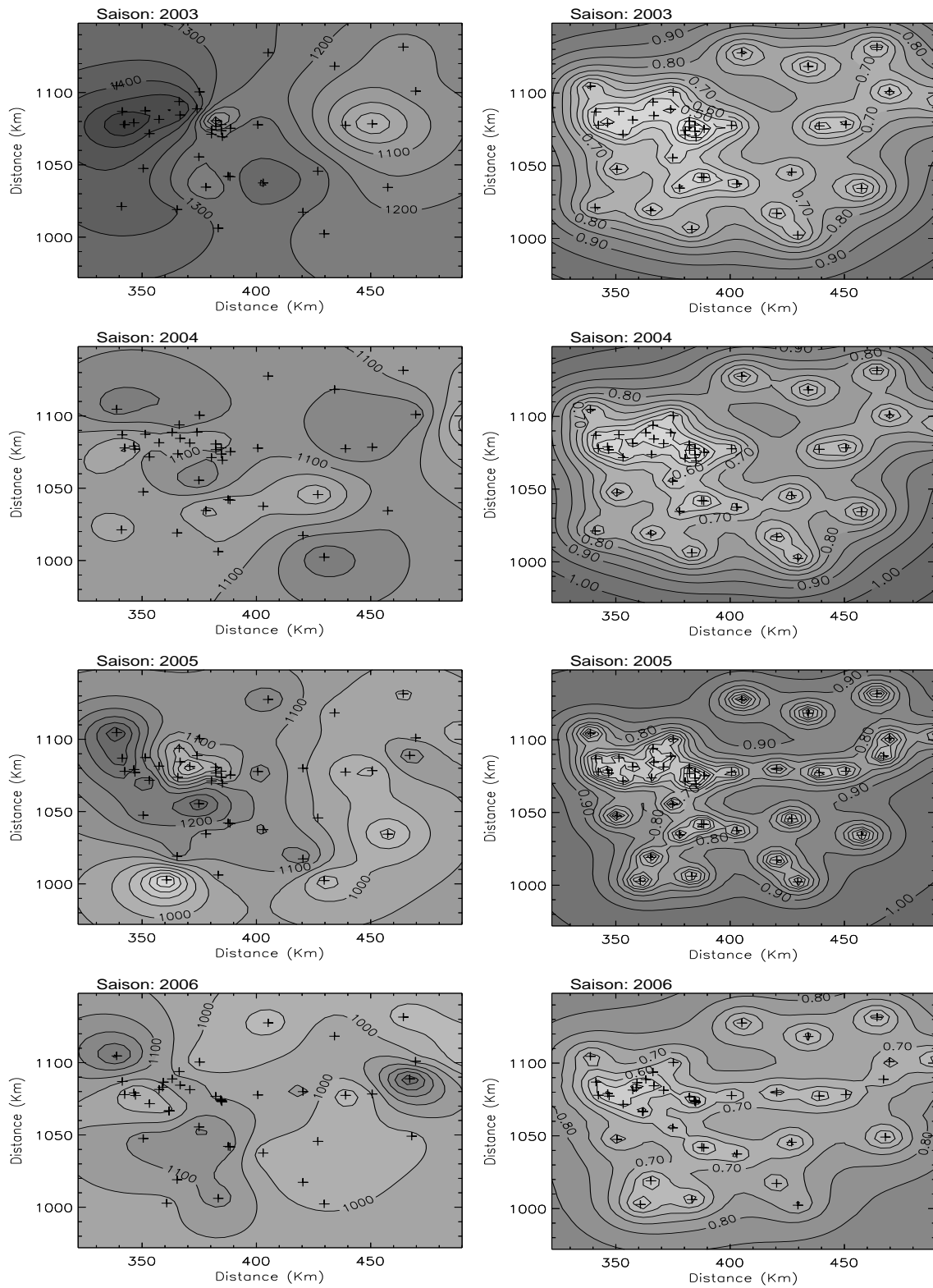


FIG. 5.14: Pluviométrie annuelle des saisons 2003 à 2006 (à gauche) et champs moyens journaliers de l'écart type d'estimation normalisé (à droite). Les croix représentent les positions des stations utilisées.

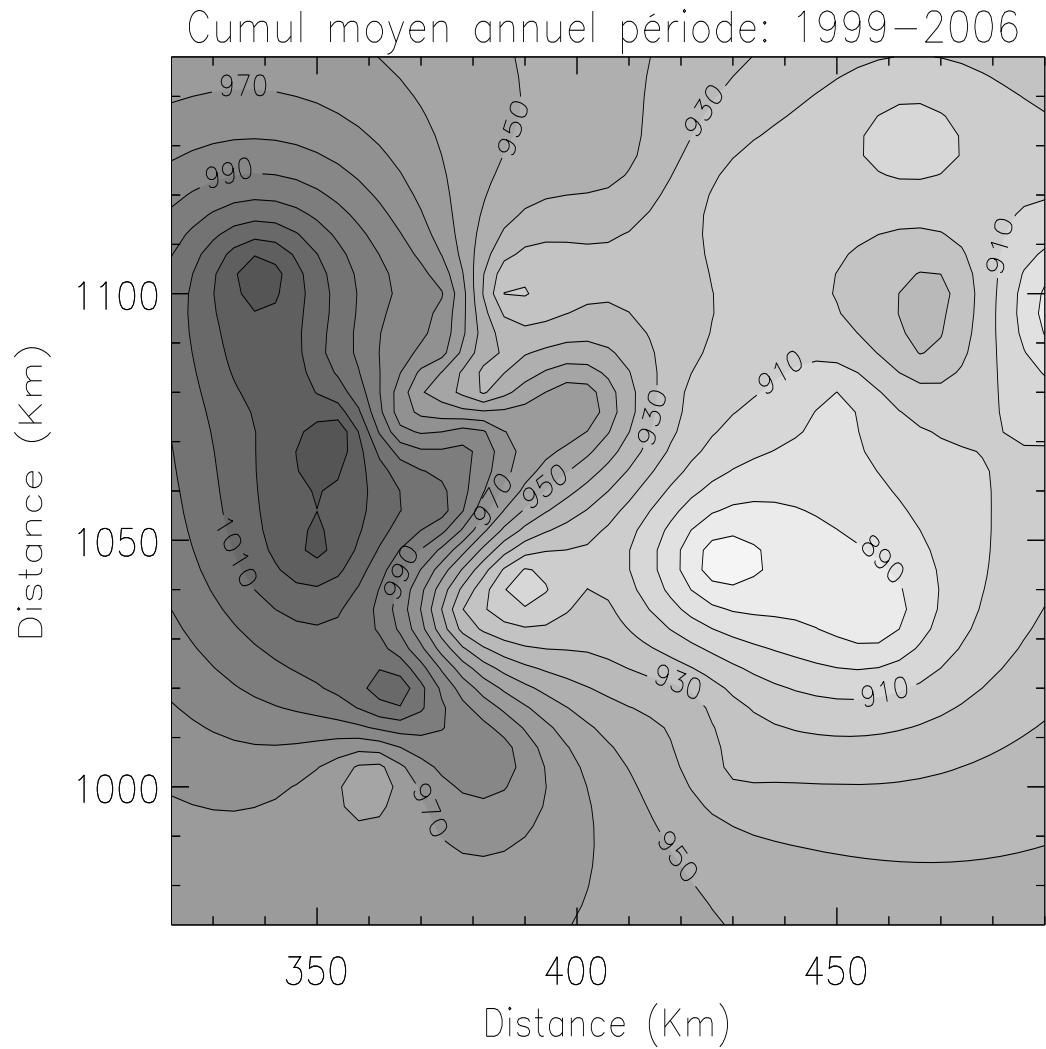


FIG. 5.15: Pluviométrie interannuelle des saisons 1999 à 2006. On observe un léger gradient Est-Ouest biaisé sur les bords du domaine.

### 5.4.1 Variabilité spatiale

Dans la section 3.1 du chapitre 3, nous avons vu qu'il existe un gradient pluviométrique annuel du Sud vers le Nord à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, au delà de 12°N. Par ailleurs, on a observé l'existence d'un gradient Est-Ouest au Nord du Bénin. A l'aide des données récentes (1999-2006) du réseau pluviométrique dense AMMA-CATCH Bénin, nous chercherons dans cette section à vérifier si le gradient Nord-Sud s'est étendu aux latitudes inférieures à 10°N et si le gradient pluviométrique Est-Ouest subsiste encore à l'échelle de l'OHHVO. Pour cela, deux échelles temporelles seront considérées : l'échelle d'une saison puis l'échelle de plusieurs saisons.

#### *A l'échelle d'une saison*

On recherche la corrélation entre les totaux annuels des stations ayant moins de 20% de lacunes sur la période allant du 15 mars au 31 octobre et leur position. Aucune saison ne présente une tendance significative à l'augmentation ou à la diminution du cumul annuel en fonction de la latitude. Par contre, on observe sur la figure 5.16 (page 150), comme on l'avait déjà vu plus haut sur les figures 5.13 (page 146) et 5.14 (page 147), une légère tendance à l'augmentation du cumul annuel d'Est en Ouest pour certaines saisons (notamment : 1999, 2001, 2003 et 2005). Cette légère augmentation semble s'expliquer mieux par le gradient Est-Ouest du nombre de jours pluvieux que par la quantité de pluie qui tombe par jour pluvieux (FIG. 5.17 à la page 151 et FIG. 5.18 à la page 152). Ce résultat concorde bien avec celui mis en évidence concernant les événements pluvieux au chapitre 4, à savoir que le nombre d'événements touchant une station donnée présente un léger gradient Est-Ouest.

#### *A l'échelle de plusieurs saisons*

Quand on cumule la pluie saisonnière sur plusieurs saisons, aux stations ayant moins de 10% de lacunes sur la période 2001-2005, on constate que même à l'échelle plurisaisonnière, il n'existe pas de gradient Nord-Sud de la pluviométrie sur l'OHHVO. En revanche, l'analyse faite dans la direction Est-Ouest confirme la tendance à l'augmentation d'Est en Ouest que semblaient montrer certaines saisons. En se ramenant à l'échelle d'une saison (FIG. 5.19 à la page 153), on déduit de la figure 5.19.b, une augmentation du cumul annuel de 1.4 mm/km.

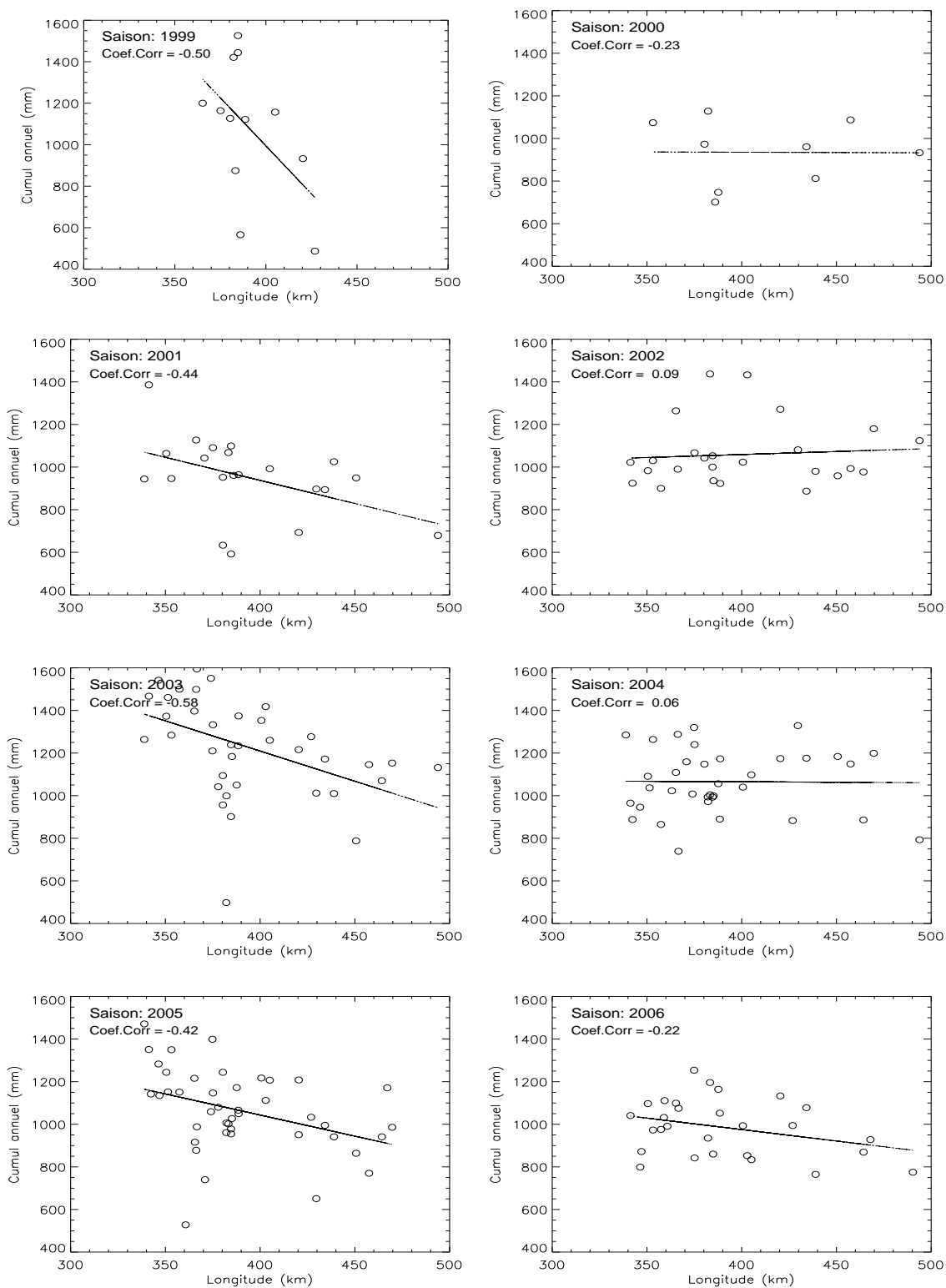


FIG. 5.16: Distribution du cumul annuel selon la longitude sur les stations ayant moins de 20% de lacunes sur la saison : 15 mars au 31 octobre.

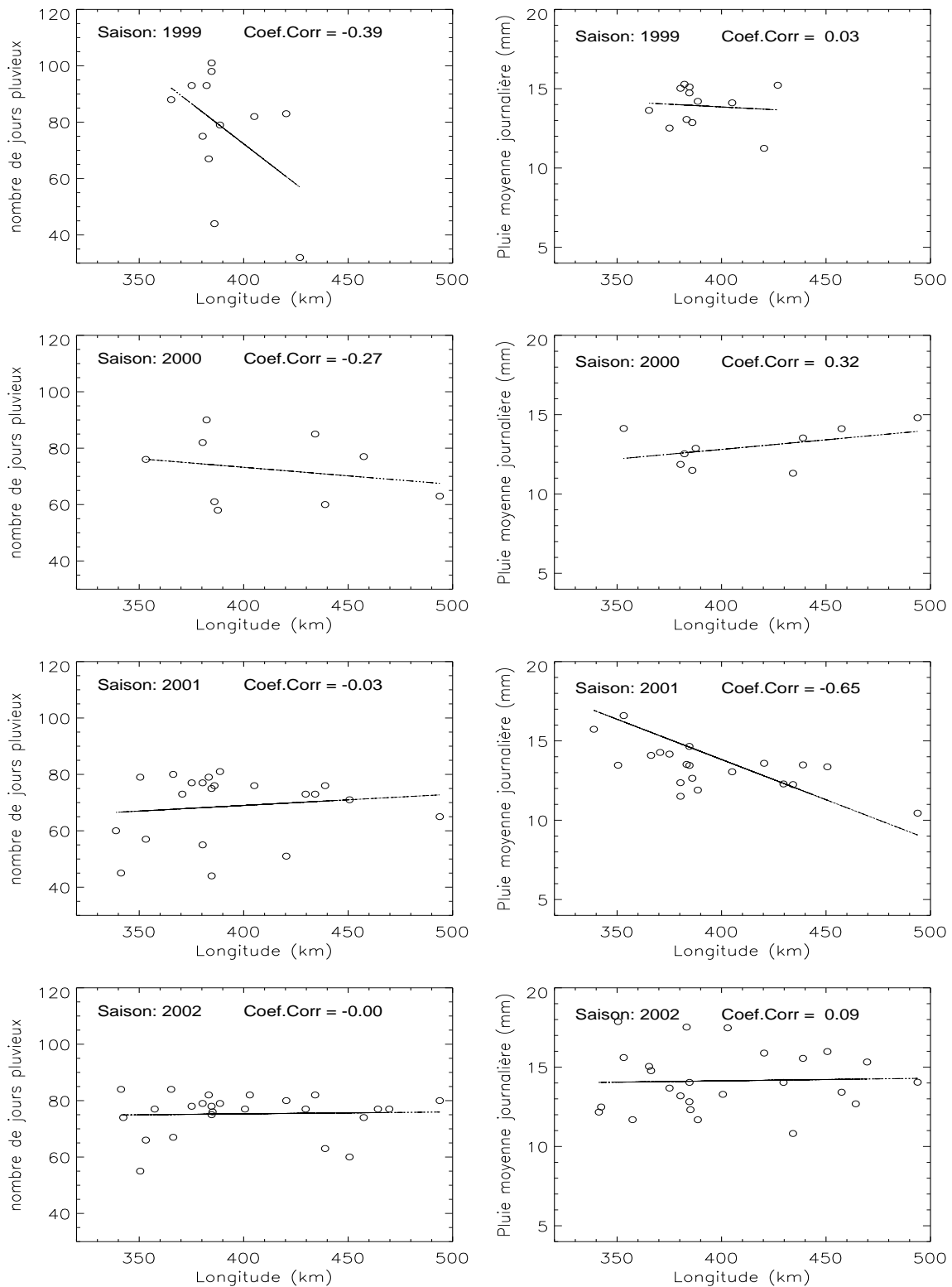


FIG. 5.17: Distribution du nombre de jours pluvieux et de la pluie moyenne par jour pluvieux selon la position des stations ayant moins de 20% de lacunes sur la saison (15 mars au 31 octobre) : Saisons 1999 à 2002.

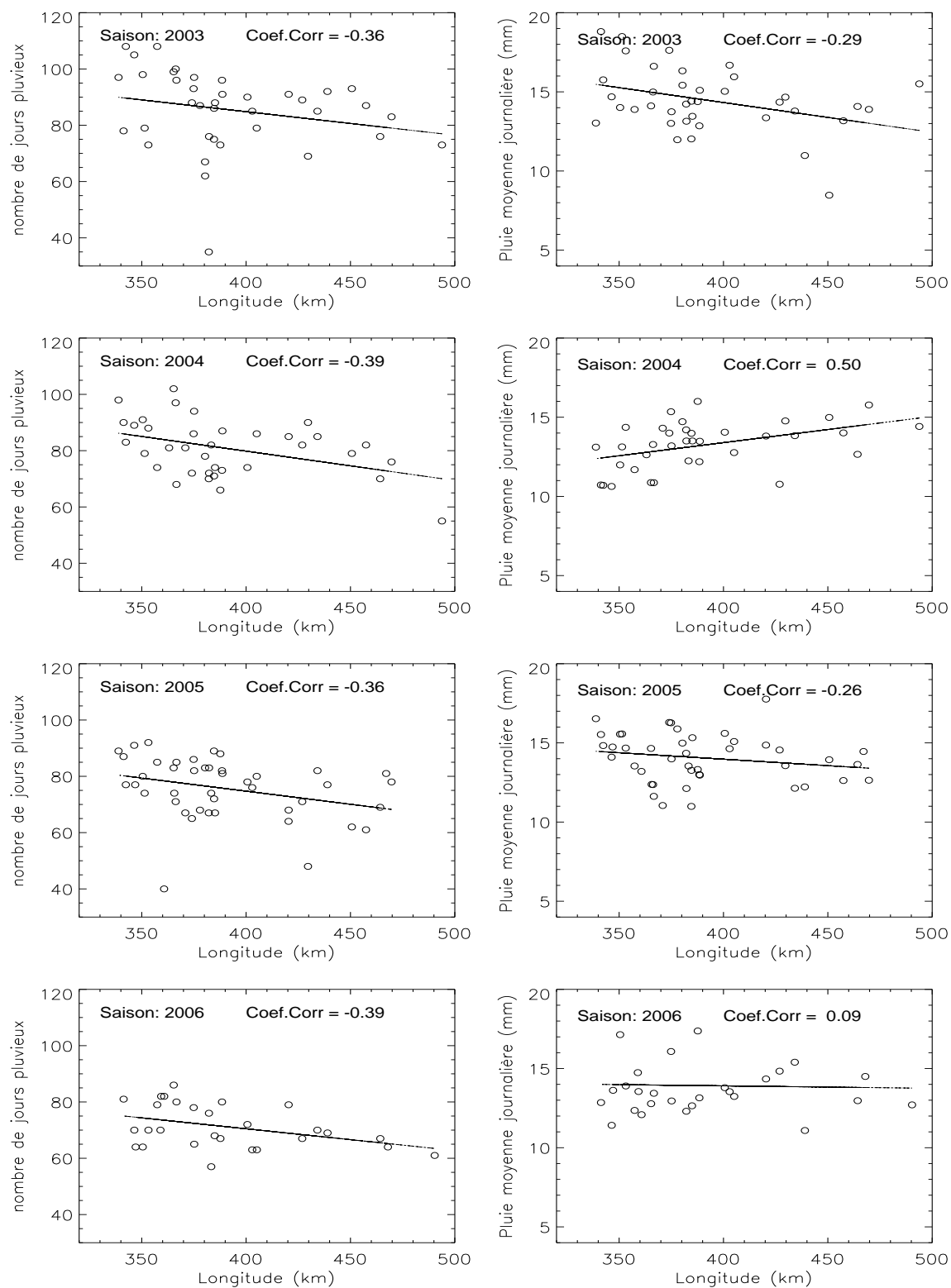
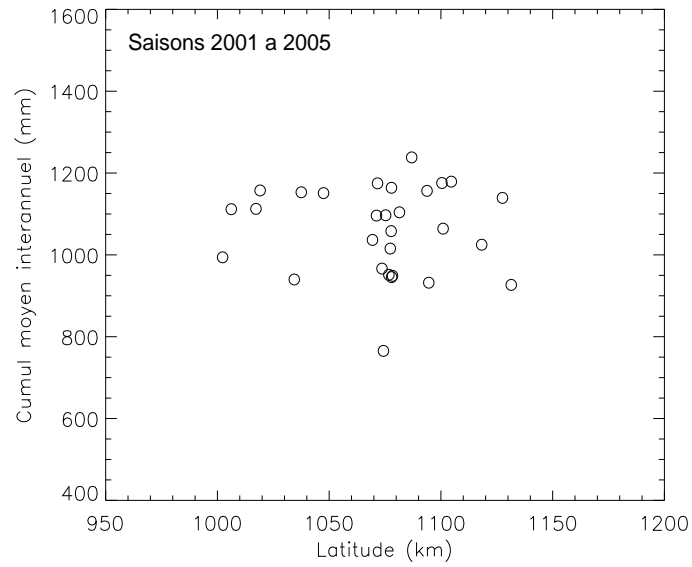
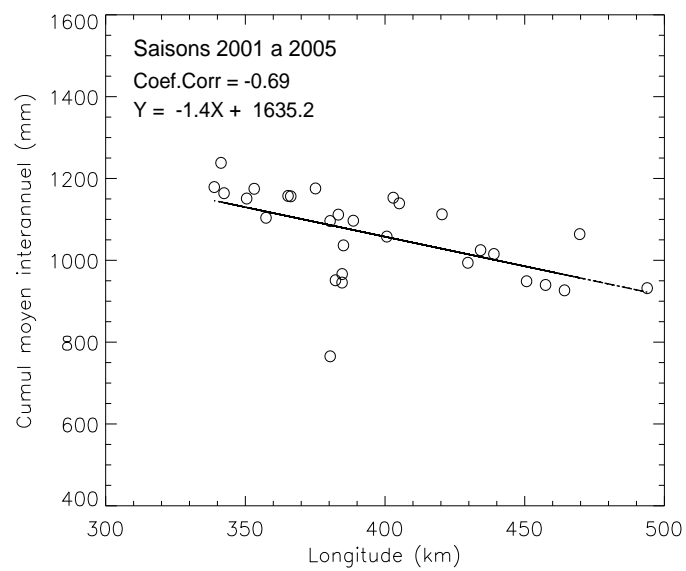


FIG. 5.18: Distribution du nombre de jours pluvieux et de la pluie moyenne par jour pluvieux selon la position des stations ayant moins de 20% de lacunes sur la saison (15 mars au 31 octobre) : Saisons 2003 à 2006.



(a)



(b)

FIG. 5.19: Influence de la position des stations sur le cumul moyen interannuel.

## 5.5 Conclusion du chapitre 5

Les données pluviographiques à fine échelle temporelle recueillies dans la région de la Haute Vallée de l'Ouémé au cours des saisons 1999 à 2006 nous ont permis d'analyser la structure spatiale des champs de pluie de l'OHHVO à l'échelle de l'événement pluvieux puis à l'échelle journalière. Nous avons ainsi pu étudier la variabilité temporelle et la variabilité intrasaisonnière des champs de pluie.

Par rapport à la variabilité temporelle, il apparaît que la variabilité interne des champs de pluie semble liée à la nature de la saison. Mais, concernant la variabilité intrasaisonnière, les champs ne semblent pas montrer de différence de structure spatiale entre les événements de marge de saison et les événements de coeur de saison. Ce résultat, similaire aux événements pluvieux sahéliens pose tout de même quelques questionnements, notamment en ce qui concerne l'homogénéité de la population d'événements pluvieux soudaniens puisque selon le type de réseau utilisé, il apparaît une instabilité de la structure des champs pluviométriques qu'il est difficile de relier aux caractéristiques des événements mis en évidence au chapitre 4.

L'analyse des cumuls annuels montre que les précipitations de la zone ne présentent pas de gradient méridionale comme au Sahel mais plutôt un gradient Est-Ouest de 1.4 mm/km environ. Ce gradient Est-Ouest s'explique mieux par l'augmentation d'Est en Ouest de l'occurrence des précipitations plutôt que par la quantité d'eau qui tombe par jour pluvieux. Ce qui confirme le résultat mis en évidence à l'échelle plus fine de l'événement pluvieux.

Cette étude a également permis de modéliser la fonction de structure des champs de pluie de l'OHHVO à l'échelle journalière et celle de l'événement pluvieux et de montrer que le modèle de variogramme exponentiel s'adapte assez bien aux données. Mais ce modèle présente des écarts par rapport aux observations brutes surtout aux grandes distances. Par ailleurs, on a constaté que les paramètres des variogrammes climatologiques événementiel et journalier sont très proches. Notons que la modélisation du variogramme entreprise ici souffre de longueur temporelle des données. Il est donc nécessaire, pour les raisons de confirmation de la forme de la fonction de structure des champs pluviométriques de l'OHHVO, de conserver le réseau d'observations sur une longue période afin de constituer un échantillon plus large.

# Chapitre 6

## Conclusion générale et perspectives

L'analyse de la climatologie moyenne des précipitations sur la région AMMA-CATCH Bénin et la caractérisation des propriétés des champs de pluie à l'échelle de l'événement pluvieux constituent l'essentiel des travaux présentés dans ce mémoire. A la fin de chaque chapitre, nous avons établi une synthèse partielle mais détaillée des conclusions qui en découlent. Dans ce qui suit, nous présentons donc les principaux enseignements qui se dégagent de l'ensemble de l'étude qui se place dans le cadre des efforts actuellement en cours pour comprendre les mécanismes de la mousson africaine et les processus qui gouvernent sa variabilité. Enfin, on discute des perspectives ouvertes par ces travaux.

### *Climatologie moyenne de la région d'étude*

L'étude de la climatologie moyenne des précipitations, analysée à partir des données historiques du réseau pluviométrique national a permis de réactualiser les connaissances disponibles sur la variabilité du régime pluviométrique de la région. La pluviométrie moyenne interannuelle de la région d'étude sur la période 1950-2005 est de 1200 mm, typique d'un climat soudanien. L'une des caractéristiques marquantes mises en évidence est la fluctuation interannuelle importante du cumul annuel, qui se superpose à la variabilité décennale.

Sur la région AMMA-CATCH Bénin, la saison des pluies dure environ 8 mois, de Mars à Octobre. Le régime de Mousson s'installe progressivement jusqu'à fin Juin et le coeur de la saison des pluies a lieu en Juillet-Août, avec un maximum en Août, suivi d'une phase de retrait en Septembre. L'analyse comparée des saisons déficitaires (définies au regard de leur indice pluviométrique standard) et des saisons excédentaires démontre que ce sont en moyenne le coeur et la phase de retrait de la saison qui sont affectés par le déficit pluviométrique. Les saisons déficitaires se distinguent des saisons excédentaires par *i*) un déficit pluviométrique très marqué après le saut de mousson, *ii*) le décalage des pics de précipitation qui sont atteints précocement et *iii*) un retrait plus rapide de la mousson. Par ailleurs,

l'installation tardive et le retrait précoce de la mousson dans la période 1970-2005 comparée aux deux décades précédentes est également établi.

En comparant ces divers résultats obtenus en milieu soudanien avec les travaux antérieurs sur la région sahélienne, nous avons fait observer que le cumul annuel de la région soudanienne est environ le double de celui de la région sahélienne. Les régimes pluviométriques des deux régions sont unimodaux avec le maximum de précipitation en Août. La saison des pluies démarre mi-mars et se termine fin octobre en milieu soudanien alors qu'elle démarre deux mois plus tard (mi-mai) en milieu sahélien et se termine en octobre. En outre, le retrait précoce de la mousson et le déficit pluviométrique marqué au coeur et en fin de saison sur la période post 1970 sont des traits caractéristiques communs aux deux régions.

Par contre, concernant les cycles saisonniers des précipitations, on observe que les deux cycles n'ont pas les mêmes formes. En effet, au cours de la période allant du début de la saison au mois d'Août, le cycle saisonnier des pluies sahéliennes se caractérise par une succession d'accroissements et de paliers, forme qui n'est pas remarquable sur le cycle saisonnier des pluies soudaniennes. Une autre différence entre les deux zones concerne la longueur de la saison des pluies qui semble stable en région sahélienne mais en léger raccourcissement en milieu soudanien sur la période post 1970 par rapport à la période avant 1970.

#### *Analyses à fines échelles spatiale et temporelle*

Dans la seconde étape de notre travail, l'utilisation des données acquises dans le cadre du programme AMMA-CATCH a permis d'obtenir des informations sur des échelles inaccessibles par les réseaux météorologiques opérationnels nationaux. En effet, grâce à ces données à haute résolution, l'analyse de la climatologie des événements pluvieux (définis sur un réseau) et celle de la distribution des intensités de pluie ont pu être faites. Ce qui constitue une première dans cette région soudanienne où l'on est souvent confronté au problème de données à fine échelle.

L'échantillon analysé comporte des saisons contrastées (deux saisons humides : 1999 et 2003 puis 5 saisons sèches : 2000, 2001, 2002, 2004 et 2005) qui nous ont permis d'analyser aussi bien la variabilité interannuelle que spatiale des cumuls saisonniers et des caractéristiques des événements pluvieux. Cette analyse montre que la variabilité du cumul saisonnier s'explique plutôt par la variabilité du nombre d'événements pluvieux observés au cours de la saison plutôt que par celle de la pluviosité par événement. Le nombre moyen annuel d'événements pluvieux sur la zone AMMA-CATCH Bénin est égal au double de celui de AMMA-CATCH Niger, conformément au facteur 2 entre les pluviométries moyennes annuelles des deux zones.

L'étude statistique des caractéristiques événementielles a permis de montrer que le cumul moyen de pluie par événement (conditionné à 0) est une variable stationnaire d'un point de vue spatial sur la zone d'étude. On observe également la stationnarité temporelle de cette variable, qui sera à confirmer par des observations de plus longue durée. Les cumuls événementiels ponctuels non nuls supérieurs à 1 mm ont été modélisés par une distribution exponentielle à un paramètre. La pluviométrie moyenne par événement est de 9 mm pour la moyenne non conditionnelle et 12 mm pour la moyenne conditionnée à zéro.

Les données pluviographiques utilisées permettent d'accéder aux intensités de pluie dont la connaissance est importante pour des études concernant l'érosion des sols, le ruissellement ou la télédétection spatiale. Globalement pour notre zone, les intensités se répartissent de manière exponentielle, avec notamment 50% du cumul annuel imputable à des intensités supérieures à 35 mm/h. Les distributions observées aux stations "sèches" et stations "humides", indépendamment de la nature excédentaire ou déficitaire de l'année, montre une séparation prononcée des deux signaux correspondants. Ainsi, même au cours d'une année sèche, une station "humide" peut enregistrer de très fortes intensités de pluie, pouvant provoquer du ruissellement intense et l'érosion des sols.

En revanche, la distinction "années sèches" et "années humides" ne montre pas une différence marquée entre les deux distributions. Les années "humides" et les années "sèches" ne se distinguent donc pas par l'intensité de la convection. Le nombre d'événements pluvieux étant manifestement le facteur déterminant de la variabilité du régime pluviométrique de notre région d'étude, les distributions des cumuls de pluie et des intensités de précipitation peuvent être supposées identiques entre les années "humides" et les années "sèches". Il n'est donc pas étonnant d'observer, au cours des années "sèches", des intensités de pluie aussi élevées que lors d'années excédentaires.

L'analyse des précipitations à pas de temps fin sur la zone AMMA-CATCH Bénin révèle de nombreuses similitudes avec les résultats établis précédemment pour les événements pluvieux au Sahel dans la région AMMA-CATCH Niger et actualisés par Balme (2004). En effet, on observe que les événements pluvieux définis au sens "spatial" se révèlent être responsables de l'apport de 90% du cumul pluviométrique annuel sur chacune des deux régions. La pluviométrie moyenne par événement est du même ordre de grandeur sur les deux zones ; 9-10 mm pour la pluie moyenne non conditionnée et 12-13 mm pour la pluie moyenne conditionnée à zéro.

Une autre similitude de propriété des événements pluvieux des deux régions est la stationnarité spatiale du cumul événementiel moyen conditionnel à 0 qui indique que l'événement pluvieux ne produit pas plus de cumul au Nord par rapport au Sud lorsqu'il touche le domaine considéré. La stationnarité temporelle de la pluie moyenne par événement est vérifiée

en région sahélienne mais pour ce qui concerne la région soudanienne, il convient de garder des réserves par rapport à la stationnarité temporelle de ce paramètre compte de tenu de la taille de l'échantillon traité. Les observations longue période pourront permettre de confirmer la tendance observée ici.

En outre, l'une des plus importantes similarités des événements pluvieux des deux régions concerne la variabilité du cumul annuel qui s'explique par le nombre d'événements observés plutôt que par leur pluviosité. De même, la distribution des cumuls événementiels ponctuels s'ajuste bien sur les deux régions avec une distribution de type exponentiel.

D'autres similarités très significatives pour l'hydrologie dans ces deux régions concernent les intensités de pluie où on note qu'elles sont distribuées de façon exponentielle avec 50% du cumul annuel expliqué par des intensités supérieures à 35 mm/h. De même, la séparation des composites des stations "humides" et des stations "sèches" est observable sur les deux régions. Ce qui montre dans les deux régions, que ce sont les stations humides qui enregistrent les plus fortes intensités de pluie. Concernant la distinction des distributions des intensités au cours des années "humides" et des années "sèches", la différence est moins marquée entre les deux signaux en région soudanienne par rapport à la région sahélienne. Mais le fait commun à retenir est que l'intensité de la convection ne semble pas amoindrie en années "sèches" par rapport aux années "humides" ; ce qui renforce l'idée que la variabilité du régime pluviométrique est liée à celle du nombre d'événements pluvieux.

Cependant, les deux régions présentent bien des différences qu'il convient de relever ; notamment concernant le nombre d'événements, la contribution des événements au cumul annuel et leur intermittence. En effet, le site AMMA-CATCH Bénin compte deux fois plus d'événements pluvieux en moyenne par année que le site AMMA-CATCH Niger. Par ailleurs, au Sahel les 90% du cumul annuel sont apportés pratiquement par les événements pluvieux observés après le saut de mousson ; les événements observés avant le saut de mousson étant peu productifs et très intermittents. Par contre sur le site AMMA-CATCH Bénin, l'apport des événements pluvieux observés avant le saut de mousson au cumul annuel est non négligeable (30% environ). Les événements pluvieux AMMA-CATCH Bénin sont plus intermittents spatialement que les événements pluvieux observés au Sahel. De même, les événements pluvieux sahéliens ont une fréquence d'occurrence faible qui permet de supposer qu'avec la fenêtre Epsat, on n'observe qu'un seul événement pluvieux à la fois ; tandis que sur la région AMMA-CATCH Bénin, la question paraît plus complexe. Par ailleurs, on ne note pas la présence de gradient pluviométrique Nord-Sud sur la région AMMA-CATCH Bénin, comme observé au Sahel mais plutôt un léger gradient Est-Ouest.

Les multiples similitudes entre les propriétés des événements pluvieux mises en évidence ici sont surprenantes puisque les deux zones ont des climats contrastés et les systèmes pluvieux

y évoluent dans des environnements et avec des conditions de surface très différents. Ceci contraste également avec les résultats connus concernant la dynamique des systèmes et la profondeur de convection observée par satellite, plus intense en zone sahélienne.

### *Structure spatiale des champs de pluie*

L'analyse de la structure spatiale des précipitations a permis de modéliser le variogramme climatologique par une fonction de type exponentiel; donc de forme semblable au variogramme climatologique sahélien. On ne trouve pas de différence fondamentale entre la structure spatiale des événements de coeur de saison et ceux de marge de saison, contrairement au cas sahélien où les événements de coeur de saison sont plus étendus (donc moins intermittents) et plus intenses. Par ailleurs, le cumul annuel présente un gradient Est-Ouest évalué à 1.4 mm/km. Ce gradient sans doute lié au relief de la chaîne de l'Atacora, située à l'Ouest de notre zone d'étude s'explique par l'occurrence des événements pluvieux plutôt que par la hauteur de pluie par événement. On remarque également l'absence, à l'échelle de la zone d'étude, d'un gradient Nord-Sud comme il est observé à l'échelle régionale et localement dans la région de Niamey.

Au total, le travail présenté dans ce mémoire constitue une première étape dans l'exploitation des données pluviométriques AMMA-CATCH au Bénin. Il est un travail de défrichage où nous avons analysé à l'aide de méthodes statistiques simples disponibles, la plupart des caractéristiques des événements pluvieux déductibles des données d'observations fournies par un réseau de pluviographes. Ce travail a permis de mettre en évidence les principaux traits de la saison pluvieuse dans cette région et donne de premiers éléments sur la variabilité du cumul annuel et sa modulation par les événements pluvieux ainsi que sur les similitudes et différences entre la région d'étude et la région sahélienne.

Mais nous n'ignorons pas les limites de nos analyses qui sont liées au type de mesures utilisées; notamment les difficultés à distinguer deux événements pluvieux touchant simultanément notre fenêtre d'observation. En région sahélienne, on sait que la grande partie de pluviométrie annuelle est apportée par les lignes de grain qui sont des systèmes convectifs organisés, de faible fréquence de sorte qu'avec la fenêtre d'observation AMMA-CATCH Niger, on est sûr d'observer un seul événement à la fois alors que sur la région AMMA-CATCH Bénin, la situation est plus complexe avec la saison qui est constituée d'événements de différentes natures pouvant être observés aussi bien en début de saison qu'en milieu ou fin de saison.

Par ailleurs, une autre difficulté dans l'analyse de la distribution des cumuls événementiels est de savoir comment séparer la part de la convection locale par rapport à la contribution de la convection de grande échelle. Ce qui nécessite le développement de nouveaux outils

d'analyse des données d'observation fournies par un réseau de pluviographes. Ainsi, la séparation des événements avec les données d'un réseau de pluviographes est très problématique et nécessite l'utilisation d'autres types de données ou des combinaisons de données. Dans ce cadre, les données radar apporteront sans doute des éléments importants puis que par exemple les données radar intègrent directement la dynamique des systèmes et offrent une vision spatiale globale des processus.

Ainsi, notre travail devra être conforté par des études portant non seulement sur une plus longue série de données mais aussi intégrant d'autres types de données comme les données radar qui n'étaient pas disponibles au moment où nous avons démarré ce travail. Nos résultats, et notamment les différences et similitudes établies entre les pluies sahéliennes et soudaniennes alimentent des questions sur les processus physiques de genèse des précipitations dans la région. Ce qui renforce la nécessité d'utiliser les observations réalisées par d'autres instruments (radar, capteurs aéroportés) durant AMMA pour rechercher des éléments d'explication des similitudes mises en évidence dans notre travail.

Après une première phase consacrée aux observations intensives et aux études de processus, le programme AMMA va maintenant encourager les études sur les impacts du changement climatique et de la variabilité de la mousson, sur la ressource en eau, l'agriculture, la santé et d'une manière générale, la société et les populations. Dans ce contexte une équipe de recherche sur le problème de la modélisation et de la désagregation des champs de pluie pour le forçage des modèles d'impacts, se constitue au Bénin. Dans ce cadre, les travaux entamés durant ma thèse seront exploités et complétés par l'intégration des données radar pour la prise en compte de la dynamique des systèmes précipitants.

# Références bibliographiques

- Afouda, A., M. Ajournin, J.-M. Bouchez, S. Boubkraoui, C. Depraetere, A. Gohoungossou, F. Malinur et W. Sacher** (2001). Rapport de campagne : Pluviométrie 2001. Rapport interne, Projet CATCH-BENIN.
- Afouda, A., G. Alé, C. Depraetère, L. Le Barbé et T. Lebel** (1998). Rainfall variability and continental water resources : The CATCH Project. *IAHS Publ.* **274**, pp. 143–151.
- Ali, A.** (2001). Propriétés d'invariance d'échelle des champs de pluie sahéliens, analysées dans un contexte géostatistique. Mémoire de DEA MMGE, Université Joseph Fourier.
- Ali, A.** (2004). *Modélisation de l'invariance d'échelle des champs de pluie sahéliens. Application aux algorithmes d'estimation et aux études de variabilité climatique.* Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Ali, A., T. Lebel et A. Amani** (2003). Invariance in the spatial structure of sahelian rain fields at climatological scales. *Journal of Hydrometeorology* **4**, pp. 996–1011.
- Amani, A.** (1995). *Estimation des pluies au Sahel : Quelques problèmes de modélisation analysés à partir des données EPSAT-Niger.* Thèse de Doctorat, Université de Montréal.
- Amani, A. et T. Lebel** (1997). Lagrangian kriging for the estimation of sahelian rainfall at small time steps. *Journal of Hydrology* **192**, pp. 125–157.
- Balme, M.** (2001). Analyse de la variabilité interannuelle des pluies sahéliennes. Mémoire de DEA MMGE, Université Joseph Fourier.
- Balme, M.** (2004). *Analyse du régime pluviométrique Sahélien dans une perspective hydrologique et agronomique. Etude de l'impact de sa variabilité sur la culture du mil.* Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Bastin, G., B. Lorent, C. Duqué et M. Gervers** (1984). Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of rain gauge locations. *Water Resources Research* **20**(4), pp. 463–470.
- Berne, A.** (2002). *Précipitations méditerranéennes intenses en milieu urbain : Interprétation physique et analyse statistique de mesures à fines échelles spatio-temporelles, impact de la variabilité spatiale sur la réponse de bassins versants.* Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble I.

- Bouchez, J.-M., C. Depraetere, A. Gohoungossou, L. Le Barbe et H. Onibon** (1997). Rapport de campagne 1997. Rapport interne, Projet CATCH-BENIN.
- Bouleau, N.** (1998). Splendeurs et misères des lois de valeurs extrêmes. Technical report, Centre de Mathématiques Appliquées de l'École Nationale des Ponts et Chaussées.
- Bourel, L.** (1994). *Recherches méthodologiques sur l'estimation des précipitations par radar sur un bassin versant en région montagneuse en vue de la prévision des crues*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Bouvier, C.** (1986). Etude du ruissellement urbain à niamey. rapport général. tome 3 : Interprétation des données. Rapport cieh-orstom.
- Campos, E. et I. Zawadzki** (2000). Instrumental uncertainties in z-r relations. *J. Appl. Meteor.* **39**, pp. 1088–1102.
- Chiles, J.** (1977). *Géostatistique des phénomènes non stationnaires*. Thèse de Doctorat, Nancy.
- Creutin, J.-D.** (1979). *Méthodes d'interpolation optimale de champs hydrométéorologiques. Comparaison et application à une série d'épisodes pluvieux Cévenols*. Thèse de Doctorat, Université Scientifique et Médicale de Grenoble.
- Creutin, J.-D. et C. Obled** (1982). Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields : An objective comparison. *Water Resources Research* **18**(2), pp. 413–431.
- Crochet, P.** (1998). *Une approche lagrangienne pour caractériser la variabilité spatiale des champs de pluie ; Application à l'estimation des lames d'eau moyennes au Sahel à partir d'une information binaire*. Phd thesis, Université Joseph Fourier.
- d'Amato, N.** (1998). *Etude Climatologique et Statistique des Evenements Pluvieux en Zone Sahélienne, analysée à partir des données pluviographiques de l'expérience EPSAT-NIGER*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II.
- d'Amato, N. et T. Lebel** (1998). On the characteristics of the rainfall events in the sahel with a view to analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology* **18**, pp. 955–974.
- Delhomme, J.** (1976). *Application de la théorie des variables généralisées dans les sciences de l'eau*. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.
- Delrieu, G.** (1986). *Evaluation d'un radar météorologique pour la mesure des précipitations : validation et étalonnage par technique géostatistique ; application au bassin parisien*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Faure, H. et J. Gac** (1981). Will the sahelian drought end in 1985? *Nature* (291), pp. 475–478.
- Gamache, J. F. et R. A. Houze** (1983). Water budget of a mesoscale convective system in the tropics. *Journal of atmospheric Sciences* **40**, pp. 1835–1850.

- Goutorbe, J. P., A. Dolman, J. H. C. Gash, Y. H. Kerr, T. Lebel, S. D. Prince et J. N. M. Stricker** (1997). Hapex-sahel. *Elsvier-Sciences Editeurs*.
- Guillot, G.** (1998). *Modélisation statistique des champs de pluie sahéliens. Application à leur désagrégation spatio-temporelle*. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier.
- Hubert, P. et J.-P. Carbonnel** (1988a). Approche statistique de l'aridification de l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology* (110), pp. 349–367.
- Janicot, S.** (1992a). Spatio-temporal variability of west african rainfall. Part 1 : regionalization and typings. *Journal of Climate* 5(5), pp. 489–497.
- Janicot, S.** (1992b). Spatio-temporal variability of west african rainfall. Part 2 : Associated surface and air mass characteristics. *Journal of Climate* 5(5), pp. 499–511.
- Janicot, S. et B. Fontaine** (1993). L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest. *La Météorologie* 8(1), pp. 22–53.
- Journal, A. et C. Huijbregts** (1978). *Mining geostatistics*. Academic Press, London / New-York / San Francisco, 594p.
- Kamagaté, B.** (2006). *Fonctionnement hydrologique et origine des écoulements sur un bassin versant en milieu tropical de socle : bassin versant de la Donga (haute vallée de l'Ouémé au Bénin)*. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II.
- Lamb, P. J.** (1983). West african water variations between recent contrasting subsaharian droughts. *Tellus* A35, pp. 198–212.
- Le Barbé, L., G. Alé, B. Millet, H. Texier, Y. Borel et R. Gualde** (1993). *Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin*.
- Le Barbé, L. et T. Lebel** (1997). Rainfall climatology of the hapex-sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology* 188(189), pp. 43–73.
- Le Barbé, L., T. Lebel et D. Tapsoba** (2002). Rainfall variability in west africa during the years 1950-1990. *Journal of Climate* 15(2), pp. 187–202.
- Le Lay, M.** (2006). *Modélisation hydrologique dans un contexte de variabilité hydro-climatique. Une approche comparative pour l'étude du cycle hydrologique à méso-échelle au Bénin*. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Lebel, T.** (1984). *Moyenne spatiale de la pluie sur un bassin versant : estimation optimale, génération stochastique et gradex des valeurs extrêmes*. Thèse de Doctorat, Université Scientifique et Médicale et Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Lebel, T., A. Amani, F. Cazenave, J. Lecocq, J. D. Taupin, E. Elguero, M. Greard, L. Le Barbé, H. Laurent, N. d'Amato et J. Robin** (1996). La distribution spatio-temporelle des pluies au sahel : apports de l'expérience epsat-niger. *IAHS Publ.* 238, pp. 77–98.

- Lebel, T., F. Delclaux, L. Le Barbé et J. Polcher** (2000). From GCM scales to hydrological scales : rainfall variability in West Africa. *Stochastic Env. Res. and Risk Assessment*. **14**, pp. 275–295.
- Lebel, T., A. Diedhiou et H. Laurent** (2003). Seasonal cycle and interannual variability of the sahelian rainfall at hydrological scales. *Journal of Geophysical Research* **108**(D8), pp. 8389, 1401–1411.
- Lebel, T., H. Sauvageot, M. Hoepffner, M. Desbois, B. Guillot et P. Hubert** (1992). Rainfall estimation in the sahel : the epsat-niger experiment. *Hydrological Sciences* **37**(3), pp. 201–215.
- Lebel, T., J. D. Taupin et N. d'Amato** (1997). Rainfall monitoring during hapex-sahel, general rainfall conditions and climatology. *Journal of Hydrology* **188-189**, pp. 74–96.
- Lee, G. et I. Zawadzki** (2005). Variability of drop size distributions : Time-scale dependence of the variability and its effects on rain estimation. *J. Appl. Meteor.* **44**, pp. 241–255.
- Lelay, M. et S. Galle** (2005). Variabilité interannuelle et intra-saisonnière des pluies aux échelles hydrologiques. La mousson ouest-africaine en climat soudanien. *Hydrol. Sci. Jour.* **50**(3), pp. 509–524.
- Mahé, G.** (1992). *Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes*. Thèse de 3ème cycle, Université de Paris Sud.
- Maki, M., S. Y. Keenan, T. D. et K. Nakamura** (1995). The shape of averaged drop size distributions. *J. Atmos. Sci.* **52**(8), pp. 1070–1083.
- Maki, M., S. Y. Keenan, T. D. et K. Nakamura** (2001). Characteristics of the raindrop size distribution in tropical continental squall lines observed in darwin, australia. *J. Appl. Meteor.* **40**, pp. 1393–1412.
- Matheron, G.** (1965). *Les variables régionalisées et leur estimation*. Masson et Cie, Paris, 305p.
- Mathon, V.** (2001). *Etude climatologique des systèmes convectifs de méso-échelle en Afrique de l'Ouest*. Thèse de Doctorat, Université de Paris 7.
- Nash, J. et J. Sutcliffe** (1970). River flow forecasting through conceptual models. part i : A discussion of principles. *Journal of Hydrology* **10**, pp. 282–290.
- Nicholson, S.** (1980). The nature of rainfall fluctuations in Subtropical West Africa. *Monthly Weather Review* **108**, pp. 473–487.
- Nicholson, S.** (1986). The spatial coherence of african rainfall anomalies : inter-hemispheric teleconnections. *Journal of Climate and Applied Meteorology* **25**, pp. 1365–1381.
- Nicholson, S. E.** (1981). Rainfall and atmospheric circulation during drought periods and wetter years in west africa. *Month. Weath. Rev.* **117**, pp. 2191–2208.

- Obled, C.** (2000). Cours d'initiation à la géostatistique. *Cours de DEA MMGE, UJF Grenoble. Version révisée.*
- Onibon, H. G.** (2001). *Simulation conditionnée des champs de pluie événementiels au Sahel : Application de l'algorithme de Gibbs.* Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Pellarin, T.** (2001). *Visibilité Hydrologique de radars météorologiques opérant en régions montagneuses : Application au bassin versant de l'Ardèche.* Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier - Grenoble I.
- Redelsperger, J.-L., A. Diedhiou, C. Flamant, S. Janicot, J.-P. Lafore, T. Lebel, J. Polcher, B. Bourles, G. Caniaux, P. De Rosnay, M. Desbois, L. Eymard, B. Fontaine, I. Geneau, K. Ginoux, M. Hoepffner, C. Kane, K. Law, C. Mari, B. Marticorena, E. Mougin, J. Pelon, C. Peugeot, A. Protat, F. Roux, B. Sultant et E. Van Den Akker** (2006). Amma, une étude multidisciplinaire de la mousson ouest-africaine. *La Météorologie* (54), pp. 22–32.
- Saporta, G.** (1974). *Probabilités, Analyse des données et statistique.* Mir.
- Sircoulon, J.** (1976). Les sécheresses et les étiages : la récente sécheresse des régions sahéliennes. In *S.H.F, session des 18 et 19 Mars 1976.*
- Smith, R. E. et H. A. Schreiber** (1973). Point processes of seasonal thunderstorm rainfall 1. distribution of rainfall events. *Water Resources Research* **10**(4), pp. 871–884.
- Stein, M.** (1988). Asymptotically efficient spatial interpolation with a misspecified covariance function. *Annal of Statistics* **16**, pp. 55–63.
- Stein, M. et M. Handcock** (1989). Some asymptotic properties of kriging when the covariance function is misspecified. *Mathematical geology* **21**(2), pp. 171–190.
- Sultan, B. et S. Janicot** (2003). The west african monsoon dynamics. Part ii : The "Preonset" and "Oneset" of the Summer Monsoon. *Journal of Climate* **16**, pp. 3407–3427.
- Tapsoa, D.** (1997). *Caractérisation Événementielle des Régimes Pluviométriques ouest Africains et leur Recent Changement.* Thèse de Doctorat, Université de Paris-XI.
- Thauvin, V. et F. Delclaux** (1992). *SPATIAL : module Variogramme. Algorithme, traitement principaux manuel utilisateur et formats de fichiers.* IRD Hydrologie, 39p.
- Tokay, A., A. Kruger et W. F. Krajewski** (2001). Comparaison of drop size distribution measurements by impact and optical disdrometers. *J. Appl. Meteor.* **40**, pp. 2083–2097.
- Varado, N.** (2004). *Contribution au développement d'une modélisation hydrologique distribuée. Application au bassin versant de la Donga, au Bénin.* Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Zahiri, E.-P. G.** (2007). *Cycle de l'eau des systèmes convectifs Ouest-Africains : Préparation à l'exploitation des mesures radar Xport dans AMMA par simulations.* Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier - Toulouse III.



# Annexes



**ANNEXE A** : Paramètres statistiques des événements échantillonnés au cours des saisons 1999 à 2005.

## NOTATIONS

Dans toute la suite, on désigne par :

**N° Evt** : le numéro de l'événement.

**datedébut** : la date de début de l'événement

**datefin** : la date de fin de l'événement

**Durée** : la durée de l'événement

**NStF** : le nombre de stations en fonctionnement au cours de l'événement sur le réseau RM1 comportant 20 stations au total

**P** : le pourcentage du réseau touché par l'événement

**Max.** : le cumul maximal ponctuel de l'événement

**Moy ncd** : la pluie moyenne non conditionnée de l'événement

**Ect ncd** : l'écart-type non conditionnel

**Cv ncd** : le coefficient de variation non conditionnel

**Moy cd0** : la pluie moyenne de l'événement, conditionnée à 0

**Ect cd0** : l'écart-type conditionnel à 0

**Cv cd0** : le coefficient de variation conditionnel à 0



TAB. 1: Paramètres statistiques des 120 événements de la saison 1999.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
1999-1	06/04 à 10h15 - 06/04 à 13h25	190	12	58.3	8.1	2.4	2.7	1.1	4.2	2.3	0.5
1999-2	14/04 à 20h55 - 14/04 à 22h00	65	12	58.3	2.0	0.7	0.7	1.0	1.2	0.5	0.4
1999-3	16/04 à 04h35 - 16/04 à 07h00	145	12	58.3	22.6	6.7	8.4	1.3	11.4	8.1	0.7
1999-4	23/04 à 18h00 - 23/04 à 22h10	250	13	61.5	16.3	5.8	6.3	1.1	9.5	5.4	0.6
1999-5	09/05 à 07h15 - 09/05 à 08h50	95	14	50.0	8.2	3.0	3.5	1.2	6.0	2.2	0.4
1999-6	18/05 à 19h20 - 18/05 à 22h50	210	13	76.9	9.6	4.0	3.4	0.9	5.2	3.0	0.6
1999-7	20/05 à 02h10 - 20/05 à 05h30	200	13	61.5	28.1	5.4	10.2	1.9	8.8	11.9	1.4
1999-8	24/05 à 07h05 - 24/05 à 09h45	160	13	53.8	21.9	2.5	6.0	2.4	4.6	7.7	1.7
1999-9	02/06 à 23h20 - 03/06 à 02h20	180	14	71.4	27.3	8.2	8.9	1.1	11.5	8.5	0.7
1999-10	04/06 à 21h40 - 05/06 à 05h50	490	14	71.4	70.8	27.7	26.1	0.9	38.8	22.6	0.6
1999-11	09/06 à 04h25 - 09/06 à 09h05	280	16	81.2	25.3	10.9	9.9	0.9	13.4	9.2	0.7
1999-12	10/06 à 04h35 - 10/06 à 06h55	140	16	68.8	11.5	3.0	3.6	1.2	4.3	3.7	0.9
1999-13	19/06 à 05h00 - 19/06 à 10h10	310	17	76.5	30.6	9.3	7.6	0.8	12.1	6.3	0.5
1999-14	21/06 à 04h00 - 21/06 à 07h55	235	17	88.2	16.1	6.0	4.7	0.8	6.8	4.4	0.6
1999-15	24/06 à 05h30 - 24/06 à 15h05	575	17	88.2	41.8	20.2	14.6	0.7	22.9	13.3	0.6
1999-16	02/07 à 05h45 - 02/07 à 10h15	270	17	70.6	17.3	6.7	5.9	0.9	9.4	4.7	0.5
1999-17	02/07 à 17h40 - 02/07 à 18h55	75	17	47.1	6.1	1.3	1.8	1.4	2.8	1.7	0.6
1999-18	07/07 à 08h15 - 07/07 à 12h55	280	19	89.5	38.3	9.2	11.7	1.3	10.3	12.0	1.2
1999-19	08/07 à 16h45 - 08/07 à 19h45	180	19	63.2	23.5	6.1	7.7	1.3	9.7	7.7	0.8
1999-20	09/07 à 11h15 - 09/07 à 13h45	150	19	73.7	16.7	4.6	5.0	1.1	6.2	4.8	0.8

*Suite à la page suivante*

TAB. 1: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
1999-21	10/07 à 04h15 - 10/07 à 08h25	250	18	72.2	5.3	1.2	1.4	1.2	1.6	1.5	0.9
1999-22	11/07 à 14h15 - 11/07 à 17h35	200	18	55.6	15.8	2.4	4.3	1.8	4.3	5.1	1.2
1999-23	12/07 à 16h45 - 12/07 à 18h05	80	18	38.9	7.7	1.0	2.1	2.1	2.6	2.8	1.1
1999-24	13/07 à 12h30 - 13/07 à 16h30	240	18	77.8	54.0	12.1	17.2	1.4	15.6	18.1	1.2
1999-25	13/07 à 19h35 - 14/07 à 00h10	275	18	77.8	73.1	22.4	24.3	1.1	28.8	24.0	0.8
1999-26	14/07 à 13h35 - 14/07 à 18h00	265	18	44.4	30.6	4.8	9.7	2.0	10.7	12.4	1.2
1999-27	15/07 à 19h50 - 16/07 à 03h00	430	18	88.9	97.9	24.3	23.4	1.0	27.4	23.1	0.8
1999-28	16/07 à 19h10 - 17/07 à 00h10	300	18	55.6	63.1	5.3	14.7	2.8	9.6	19.0	2.0
1999-29	17/07 à 02h30 - 17/07 à 09h25	415	18	72.2	86.1	9.6	22.6	2.4	13.3	25.9	1.9
1999-30	17/07 à 15h10 - 17/07 à 18h10	180	18	61.1	22.3	3.4	5.4	1.6	5.5	6.0	1.1
1999-31	18/07 à 19h00 - 18/07 à 22h00	180	18	38.9	34.2	4.7	9.6	2.1	12.0	12.6	1.0
1999-32	19/07 à 10h25 - 19/07 à 11h55	90	18	50.0	35.9	5.0	9.2	1.8	9.9	11.1	1.1
1999-33	19/07 à 12h30 - 19/07 à 18h05	335	18	77.8	55.8	17.3	15.6	0.9	22.3	14.1	0.6
1999-34	21/07 à 18h10 - 22/07 à 02h45	515	18	72.2	59.2	23.0	22.6	1.0	31.8	20.5	0.6
1999-35	22/07 à 12h20 - 22/07 à 14h35	135	18	38.9	19.9	2.2	5.0	2.2	5.8	6.9	1.2
1999-36	22/07 à 15h15 - 22/07 à 18h00	165	18	38.9	14.6	1.2	3.4	2.8	3.2	5.1	1.6
1999-37	23/07 à 17h45 - 23/07 à 20h40	175	18	77.8	27.0	4.2	6.6	1.5	5.5	7.0	1.3
1999-38	24/07 à 12h15 - 24/07 à 16h10	235	18	72.2	26.4	4.6	7.8	1.7	6.4	8.6	1.3
1999-39	24/07 à 17h00 - 24/07 à 21h00	240	17	82.4	9.5	2.7	2.9	1.1	3.2	2.9	0.9
1999-40	24/07 à 21h40 - 25/07 à 00h10	150	17	47.1	2.0	0.4	0.6	1.4	0.9	0.5	0.6
1999-41	25/07 à 11h30 - 25/07 à 14h25	175	17	70.6	17.4	3.2	5.0	1.6	4.5	5.5	1.2

Suite à la page suivante

TAB. 1: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
1999-42	27/07 à 11h45 - 27/07 à 14h10	145	17	58.8	5.7	1.4	1.9	1.4	2.4	2.0	0.8
1999-43	27/07 à 16h50 - 27/07 à 20h00	190	16	56.2	13.2	2.1	3.6	1.7	3.7	4.2	1.1
1999-44	28/07 à 05h00 - 28/07 à 11h00	360	16	81.2	26.3	4.7	7.3	1.6	5.8	7.8	1.4
1999-45	31/07 à 09h10 - 31/07 à 14h15	305	15	86.7	11.2	5.8	4.0	0.7	6.7	3.5	0.5
1999-46	02/08 à 13h40 - 02/08 à 17h00	200	17	58.8	24.1	4.4	7.0	1.6	7.4	7.9	1.1
1999-47	02/08 à 21h20 - 03/08 à 12h00	880	18	88.9	61.9	22.6	21.0	0.9	25.5	20.5	0.8
1999-48	03/08 à 14h05 - 03/08 à 15h25	80	18	38.9	6.5	0.5	1.5	2.9	1.3	2.3	1.7
1999-49	04/08 à 13h15 - 04/08 à 15h00	105	16	50.0	7.1	1.2	1.9	1.6	2.4	2.2	0.9
1999-50	06/08 à 12h20 - 06/08 à 16h05	225	17	64.7	19.5	3.4	6.1	1.8	5.3	6.9	1.3
1999-51	10/08 à 02h35 - 10/08 à 03h40	65	19	42.1	4.3	0.7	1.2	1.7	1.6	1.4	0.8
1999-52	10/08 à 06h55 - 10/08 à 09h50	175	19	57.9	7.7	1.8	2.4	1.4	3.0	2.5	0.8
1999-53	10/08 à 13h00 - 10/08 à 21h25	505	19	84.2	32.0	14.0	10.3	0.7	16.7	8.9	0.5
1999-54	11/08 à 03h25 - 11/08 à 09h50	385	19	63.2	23.2	3.5	5.3	1.5	5.5	5.8	1.1
1999-55	11/08 à 10h25 - 11/08 à 15h50	325	19	84.2	7.9	2.1	2.2	1.0	2.5	2.2	0.9
1999-56	11/08 à 16h20 - 11/08 à 20h40	260	19	84.2	25.7	5.1	6.1	1.2	6.0	6.2	1.0
1999-57	13/08 à 10h55 - 13/08 à 17h10	375	20	80.0	31.0	8.6	9.2	1.1	10.8	9.1	0.8
1999-58	14/08 à 16h00 - 15/08 à 02h55	655	21	76.2	83.8	24.1	24.8	1.0	31.6	23.8	0.8
1999-59	15/08 à 16h45 - 15/08 à 19h50	185	21	42.9	30.4	3.8	8.1	2.1	9.0	10.6	1.2
1999-60	16/08 à 13h25 - 16/08 à 16h45	200	21	47.6	43.3	6.1	12.4	2.0	12.8	15.7	1.2
1999-61	17/08 à 19h00 - 18/08 à 03h10	490	21	76.2	69.6	27.3	24.2	0.9	35.8	21.4	0.6
1999-62	18/08 à 03h55 - 18/08 à 05h55	120	21	33.3	7.0	0.6	1.5	2.6	1.7	2.3	1.3

Suite à la page suivante

TAB. 1: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
1999-63	18/08 à 16h15 - 19/08 à 03h00	645	21	85.7	80.5	29.7	29.1	1.0	34.7	28.5	0.8
1999-64	19/08 à 14h30 - 19/08 à 16h30	120	21	52.4	33.5	3.2	7.7	2.4	6.0	9.9	1.6
1999-65	19/08 à 21h50 - 20/08 à 00h40	170	21	38.1	3.2	0.5	0.9	1.6	1.4	0.9	0.6
1999-66	20/08 à 06h15 - 20/08 à 14h20	485	21	66.7	47.2	6.1	12.4	2.0	9.1	14.3	1.6
1999-67	21/08 à 19h00 - 21/08 à 20h55	115	20	40.0	38.3	2.8	8.6	3.1	6.9	12.9	1.9
1999-68	22/08 à 05h30 - 22/08 à 13h15	465	20	45.0	88.5	7.7	20.5	2.7	17.1	28.6	1.7
1999-69	22/08 à 20h15 - 23/08 à 00h50	275	20	60.0	12.7	4.6	4.6	1.0	7.7	3.2	0.4
1999-70	24/08 à 16h20 - 24/08 à 17h50	90	20	35.0	14.7	2.1	4.2	1.9	6.1	5.2	0.8
1999-71	24/08 à 22h55 - 25/08 à 07h05	490	20	90.0	44.4	20.6	14.6	0.7	22.9	13.5	0.6
1999-72	25/08 à 17h35 - 25/08 à 22h20	285	20	80.0	19.0	10.5	6.9	0.7	13.1	4.9	0.4
1999-73	26/08 à 05h10 - 26/08 à 18h15	785	20	85.0	78.6	31.1	22.8	0.7	36.6	20.1	0.5
1999-74	27/08 à 12h45 - 27/08 à 14h50	125	20	35.0	3.5	0.8	1.3	1.7	2.3	1.3	0.6
1999-75	27/08 à 15h40 - 27/08 à 19h05	205	20	65.0	28.1	7.4	9.9	1.3	11.4	10.3	0.9
1999-76	27/08 à 19h45 - 28/08 à 02h40	415	20	75.0	47.9	16.3	16.1	1.0	21.8	15.0	0.7
1999-77	28/08 à 20h55 - 29/08 à 00h00	185	20	35.0	9.5	1.3	2.8	2.1	3.8	3.6	0.9
1999-78	29/08 à 16h50 - 29/08 à 23h20	390	19	84.2	40.6	11.0	12.7	1.2	13.1	12.8	1.0
1999-79	30/08 à 12h35 - 30/08 à 14h40	125	19	73.7	36.2	5.0	8.4	1.7	6.7	9.3	1.4
1999-80	31/08 à 16h20 - 31/08 à 19h20	180	19	42.1	24.4	1.8	5.5	3.0	4.4	8.1	1.9
1999-81	01/09 à 14h35 - 01/09 à 16h45	130	19	63.2	24.5	4.6	6.6	1.4	7.3	7.0	0.9
1999-82	02/09 à 08h55 - 02/09 à 12h55	240	19	84.2	15.5	4.6	4.2	0.9	5.4	4.0	0.7
1999-83	04/09 à 02h55 - 04/09 à 07h10	255	19	57.9	44.1	4.6	10.1	2.2	8.0	12.4	1.6

Suite à la page suivante

TAB. 1: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
1999-84	05/09 à 16h40 - 05/09 à 17h45	65	19	36.8	36.5	3.7	9.1	2.4	10.2	13.2	1.3
1999-85	06/09 à 09h20 - 06/09 à 11h40	140	19	68.4	22.2	5.0	5.8	1.2	7.3	5.7	0.8
1999-86	06/09 à 23h10 - 07/09 à 03h15	245	18	72.2	23.8	2.3	5.6	2.4	3.2	6.5	2.0
1999-87	07/09 à 16h30 - 07/09 à 17h45	75	18	44.4	11.0	1.8	3.0	1.7	4.1	3.4	0.8
1999-88	09/09 à 14h40 - 09/09 à 16h50	130	18	61.1	11.7	3.0	3.8	1.3	4.9	3.8	0.8
1999-89	09/09 à 21h20 - 10/09 à 00h40	200	18	72.2	40.0	14.6	13.6	0.9	20.3	11.8	0.6
1999-90	10/09 à 22h30 - 11/09 à 04h15	345	19	63.2	48.3	12.8	14.3	1.1	20.3	12.9	0.6
1999-91	11/09 à 05h30 - 11/09 à 09h50	260	19	68.4	24.2	7.0	7.8	1.1	10.2	7.5	0.7
1999-92	11/09 à 16h40 - 11/09 à 20h45	245	18	61.1	42.5	5.1	10.5	2.1	8.4	12.6	1.5
1999-93	13/09 à 12h05 - 13/09 à 15h55	230	18	77.8	24.8	7.6	7.6	1.0	9.7	7.3	0.7
1999-94	14/09 à 05h35 - 14/09 à 09h20	225	16	50.0	24.8	3.4	6.2	1.8	6.8	7.5	1.1
1999-95	15/09 à 01h45 - 15/09 à 02h15	30	17	41.2	5.3	1.1	1.5	1.5	2.6	1.3	0.5
1999-96	16/09 à 01h35 - 16/09 à 03h35	120	17	70.6	3.2	0.8	0.9	1.2	1.1	0.9	0.8
1999-97	17/09 à 00h30 - 17/09 à 01h15	45	18	44.4	16.0	4.3	5.7	1.3	9.8	4.2	0.4
1999-98	17/09 à 06h35 - 17/09 à 09h10	155	18	50.0	37.0	3.1	8.7	2.8	6.3	11.8	1.9
1999-99	17/09 à 11h15 - 17/09 à 14h35	200	18	72.2	17.5	6.5	6.2	1.0	9.0	5.6	0.6
1999-100	18/09 à 08h10 - 18/09 à 09h55	105	18	61.1	1.5	0.4	0.4	1.0	0.7	0.3	0.5
1999-101	19/09 à 22h10 - 20/09 à 00h25	135	18	55.6	20.7	5.0	6.3	1.3	9.0	6.0	0.7
1999-102	20/09 à 06h45 - 20/09 à 09h05	140	18	66.7	11.2	3.0	3.7	1.3	4.4	3.8	0.8
1999-103	20/09 à 21h10 - 21/09 à 02h20	310	18	83.3	88.8	41.1	32.7	0.8	49.3	29.5	0.6
1999-104	24/09 à 19h55 - 24/09 à 21h00	65	19	52.6	38.4	3.6	8.7	2.4	6.9	11.3	1.6

*Suite à la page suivante*

TAB. 1: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
1999-105	25/09 à 12h10 - 25/09 à 17h45	335	18	77.8	59.3	21.6	16.2	0.7	27.8	12.5	0.5
1999-106	26/09 à 16h05 - 26/09 à 22h10	365	19	57.9	52.5	8.3	13.4	1.6	14.4	15.1	1.1
1999-107	28/09 à 13h45 - 28/09 à 16h35	170	17	76.5	15.0	4.6	4.5	1.0	6.1	4.2	0.7
1999-108	30/09 à 02h10 - 30/09 à 04h30	140	17	58.8	30.5	8.6	10.9	1.3	14.7	10.7	0.7
1999-109	01/10 à 20h50 - 02/10 à 02h05	315	18	72.2	57.1	10.7	15.8	1.5	14.8	17.0	1.2
1999-110	04/10 à 04h45 - 04/10 à 08h35	230	18	72.2	19.7	9.6	7.4	0.8	13.3	4.9	0.4
1999-111	05/10 à 01h15 - 05/10 à 05h25	250	18	77.8	36.1	17.3	11.6	0.7	22.3	7.5	0.3
1999-112	06/10 à 02h30 - 06/10 à 07h15	285	18	72.2	36.9	12.5	11.9	1.0	17.3	10.5	0.6
1999-113	06/10 à 17h40 - 07/10 à 03h25	585	18	77.8	57.6	14.8	14.6	1.0	19.0	13.8	0.7
1999-114	09/10 à 02h15 - 09/10 à 06h00	225	18	61.1	27.1	8.2	9.4	1.1	13.5	8.6	0.6
1999-115	09/10 à 15h35 - 09/10 à 18h50	195	18	61.1	25.9	7.2	7.8	1.1	11.7	6.8	0.6
1999-116	09/10 à 23h50 - 10/10 à 05h20	330	18	66.7	29.9	12.1	10.6	0.9	18.2	7.2	0.4
1999-117	13/10 à 01h00 - 13/10 à 04h30	210	18	55.6	22.8	5.8	7.3	1.3	10.5	6.8	0.6
1999-118	14/10 à 16h30 - 14/10 à 21h00	270	18	66.7	34.1	13.5	12.2	0.9	20.2	9.0	0.4
1999-119	25/10 à 20h20 - 26/10 à 00h15	235	19	47.4	21.8	5.1	7.7	1.5	10.8	8.0	0.7
1999-120	26/10 à 16h55 - 26/10 à 21h40	285	19	57.9	39.3	7.8	10.7	1.4	13.4	11.0	0.8

TAB. 2: Paramètres statistiques des 90 événements de la saison 2000.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2000-1	04/04 à 21h25 - 04/04 à 23h05	100	14	71.4	2.0	0.9	0.7	0.8	1.2	0.4	0.3
2000-2	10/04 à 18h45 - 10/04 à 21h30	165	13	76.9	21.5	5.7	6.9	1.2	7.4	7.0	0.9
2000-3	13/04 à 18h10 - 13/04 à 19h50	100	13	61.5	22.8	6.2	7.6	1.2	10.1	7.4	0.7
2000-4	17/04 à 00h15 - 17/04 à 01h40	85	14	57.1	27.0	2.6	7.2	2.7	4.6	9.2	2.0
2000-5	21/04 à 19h05 - 22/04 à 00h00	295	15	93.3	27.3	9.2	7.5	0.8	9.9	7.3	0.7
2000-6	30/04 à 01h40 - 30/04 à 04h25	165	15	73.3	33.6	5.7	8.9	1.6	7.8	9.7	1.2
2000-7	01/05 à 05h25 - 01/05 à 11h00	335	15	100.0	39.5	8.9	9.9	1.1	8.9	9.9	1.1
2000-8	04/05 à 01h20 - 04/05 à 06h30	310	15	100.0	22.5	7.6	7.6	1.0	7.6	7.6	1.0
2000-9	14/05 à 20h00 - 15/05 à 02h20	380	15	86.7	54.9	11.2	14.9	1.3	13.0	15.3	1.2
2000-10	21/05 à 16h40 - 21/05 à 18h55	135	14	57.1	20.3	7.8	8.4	1.1	13.7	6.4	0.5
2000-11	21/05 à 21h05 - 21/05 à 23h35	150	14	57.1	26.7	6.4	8.7	1.4	11.2	9.0	0.8
2000-12	22/05 à 01h00 - 22/05 à 06h15	315	14	92.9	34.3	10.5	10.8	1.0	11.3	10.8	1.0
2000-13	23/05 à 21h45 - 24/05 à 03h20	335	14	85.7	30.9	6.8	9.0	1.3	8.0	9.3	1.2
2000-14	31/05 à 00h35 - 31/05 à 06h10	335	13	92.3	38.0	19.0	13.3	0.7	20.6	12.5	0.6
2000-15	01/06 à 01h30 - 01/06 à 04h20	170	13	76.9	21.1	6.9	6.5	0.9	9.0	6.0	0.7
2000-16	05/06 à 11h35 - 05/06 à 16h10	275	14	92.9	27.8	8.6	10.6	1.2	9.2	10.7	1.2
2000-17	06/06 à 09h05 - 06/06 à 11h25	140	14	71.4	11.1	3.1	3.5	1.1	4.3	3.4	0.8
2000-18	08/06 à 02h45 - 08/06 à 06h55	250	22	63.6	15.8	3.3	5.4	1.6	5.3	6.1	1.2
2000-19	09/06 à 10h35 - 09/06 à 17h55	440	21	90.5	39.7	15.8	10.8	0.7	17.5	9.9	0.6
2000-20	11/06 à 02h40 - 11/06 à 08h15	335	22	90.9	39.4	14.3	10.4	0.7	15.8	9.8	0.6

*Suite à la page suivante*

TAB. 2: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2000-21	14/06 à 04h50 - 14/06 à 10h45	355	22	81.8	41.1	8.8	11.0	1.3	10.7	11.3	1.1
2000-22	18/06 à 13h15 - 18/06 à 21h40	505	19	89.5	51.3	14.6	15.4	1.1	16.3	15.3	0.9
2000-23	21/06 à 23h35 - 22/06 à 06h45	430	20	90.0	50.8	15.5	18.2	1.2	17.2	18.4	1.1
2000-24	23/06 à 04h40 - 23/06 à 12h45	485	20	65.0	21.3	4.0	6.2	1.6	6.2	6.9	1.1
2000-25	25/06 à 14h45 - 25/06 à 16h55	130	20	40.0	23.6	2.3	5.7	2.5	5.7	8.2	1.4
2000-26	29/06 à 18h30 - 30/06 à 04h05	575	20	90.0	82.8	21.0	23.0	1.1	23.3	23.1	1.0
2000-27	03/07 à 18h00 - 04/07 à 02h10	490	20	90.0	59.4	13.0	15.1	1.2	14.5	15.3	1.1
2000-28	05/07 à 23h05 - 06/07 à 02h35	210	20	50.0	32.2	6.5	10.1	1.6	12.9	11.1	0.9
2000-29	06/07 à 03h20 - 06/07 à 06h30	190	20	55.0	17.4	4.8	6.4	1.3	8.7	6.4	0.7
2000-30	06/07 à 12h25 - 06/07 à 20h50	505	20	70.0	47.3	12.6	14.8	1.2	17.9	14.8	0.8
2000-31	10/07 à 12h15 - 10/07 à 17h55	340	21	76.2	56.7	14.0	18.5	1.3	18.4	19.2	1.0
2000-32	13/07 à 20h00 - 14/07 à 05h05	545	22	86.4	64.2	27.9	16.7	0.6	32.3	13.2	0.4
2000-33	19/07 à 23h10 - 20/07 à 05h40	390	22	36.4	53.5	5.7	14.2	2.5	15.6	20.6	1.3
2000-34	20/07 à 14h50 - 20/07 à 20h30	340	20	80.0	41.5	9.2	13.0	1.4	11.5	13.6	1.2
2000-35	21/07 à 13h40 - 21/07 à 21h20	460	19	73.7	85.7	14.7	22.3	1.5	20.0	24.0	1.2
2000-36	21/07 à 22h00 - 22/07 à 00h30	150	21	42.9	11.1	1.1	2.5	2.3	2.6	3.4	1.3
2000-37	22/07 à 15h20 - 22/07 à 21h05	345	21	61.9	86.0	12.8	21.2	1.7	20.7	23.9	1.2
2000-38	24/07 à 15h50 - 25/07 à 03h30	700	21	61.9 1	31.4	24.3	40.8	1.7	39.2	46.2	1.2
2000-39	25/07 à 16h45 - 25/07 à 20h15	210	21	61.9	33.1	4.5	9.0	2.0	7.3	10.7	1.5
2000-40	25/07 à 20h55 - 26/07 à 03h55	420	20	80.0	17.1	4.5	5.2	1.2	5.6	5.2	0.9
2000-41	26/07 à 17h35 - 26/07 à 21h25	230	20	40.0	12.0	1.9	3.4	1.8	4.8	4.1	0.9

*Suite à la page suivante*

TAB. 2: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2000-42	27/07 à 19h05 - 27/07 à 21h30	145	20	45.0	16.8	2.3	4.9	2.2	5.1	6.4	1.3
2000-43	28/07 à 14h10 - 29/07 à 01h15	665	20	80.0	73.6	19.3	22.7	1.2	24.1	22.9	1.0
2000-44	29/07 à 14h55 - 29/07 à 18h35	220	20	55.0	9.2	1.6	2.5	1.5	2.9	2.7	0.9
2000-45	30/07 à 00h20 - 30/07 à 07h10	410	20	55.0	17.9	2.2	4.8	2.2	3.9	5.9	1.5
2000-46	30/07 à 08h15 - 30/07 à 14h20	365	20	80.0	42.4	7.0	10.7	1.5	8.7	11.4	1.3
2000-47	30/07 à 14h50 - 30/07 à 20h40	350	20	65.0	53.7	7.7	14.6	1.9	11.8	16.9	1.4
2000-48	01/08 à 08h30 - 01/08 à 16h30	480	20	80.0	33.8	18.8	10.5	0.6	23.5	4.6	0.2
2000-49	03/08 à 10h40 - 03/08 à 17h20	400	20	85.0	24.9	8.0	6.8	0.9	9.4	6.4	0.7
2000-50	04/08 à 07h05 - 04/08 à 13h55	410	20	80.0	11.5	2.2	3.2	1.5	2.7	3.4	1.3
2000-51	04/08 à 17h50 - 05/08 à 00h10	380	20	85.0	9.6	3.4	2.8	0.8	4.0	2.6	0.6
2000-52	07/08 à 15h25 - 07/08 à 19h15	230	19	42.1	42.5	3.4	9.8	2.9	8.0	14.2	1.8
2000-53	08/08 à 15h40 - 08/08 à 20h50	310	19	73.7	58.3	11.9	14.6	1.2	16.2	14.8	0.9
2000-54	09/08 à 03h40 - 09/08 à 07h45	245	19	73.7	16.0	5.6	5.0	0.9	7.6	4.2	0.6
2000-55	09/08 à 15h20 - 09/08 à 17h30	130	19	52.6	11.5	2.7	3.8	1.4	5.1	3.9	0.8
2000-56	11/08 à 05h15 - 11/08 à 11h30	375	19	63.2	19.2	2.8	5.0	1.8	4.4	5.8	1.3
2000-57	13/08 à 04h00 - 13/08 à 10h30	390	19	89.5	23.0	10.6	6.8	0.6	11.8	6.0	0.5
2000-58	14/08 à 17h25 - 15/08 à 01h35	490	19	89.5	36.5	15.1	12.4	0.8	16.9	11.9	0.7
2000-59	16/08 à 06h45 - 16/08 à 10h00	195	19	52.6	24.1	2.9	5.8	2.0	5.4	7.2	1.3
2000-60	18/08 à 05h00 - 18/08 à 13h20	500	20	90.0	54.6	17.5	14.3	0.8	19.4	13.7	0.7
2000-61	20/08 à 02h05 - 20/08 à 07h10	305	20	40.0	42.6	4.6	11.8	2.5	11.6	16.8	1.5
2000-62	20/08 à 07h55 - 20/08 à 13h30	335	20	50.0	33.9	3.3	7.6	2.3	6.5	9.9	1.5

*Suite à la page suivante*

TAB. 2: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2000-63	22/08 à 13h40 - 22/08 à 18h30	290	20	75.0	59.7	11.6	14.5	1.3	15.5	14.9	1.0
2000-64	25/08 à 16h40 - 26/08 à 01h10	510	18	72.2	87.2	17.2	21.6	1.3	23.8	22.2	0.9
2000-65	27/08 à 14h40 - 27/08 à 18h55	255	19	89.5	30.2	8.2	10.3	1.3	9.2	10.5	1.1
2000-66	28/08 à 16h30 - 28/08 à 21h25	295	20	65.0	12.7	3.3	3.7	1.1	5.0	3.4	0.7
2000-67	30/08 à 21h20 - 31/08 à 04h15	415	20	85.0	27.1	7.5	7.0	0.9	8.8	6.7	0.8
2000-68	31/08 à 12h20 - 31/08 à 15h35	195	20	60.0	12.0	1.1	2.6	2.3	1.9	3.2	1.7
2000-69	31/08 à 18h40 - 01/09 à 00h05	325	20	75.0	26.1	7.3	8.0	1.1	9.7	7.8	0.8
2000-70	05/09 à 18h45 - 05/09 à 23h15	270	20	45.0	78.0	5.5	17.5	3.2	12.2	25.2	2.1
2000-71	06/09 à 01h30 - 06/09 à 09h00	450	19	84.2	51.9	19.2	16.1	0.8	22.8	14.9	0.7
2000-72	06/09 à 23h30 - 07/09 à 07h20	470	19	84.2	46.6	13.8	14.2	1.0	16.4	14.0	0.9
2000-73	10/09 à 01h55 - 10/09 à 09h25	450	19	84.2	57.9	25.9	19.2	0.7	30.7	16.9	0.5
2000-74	11/09 à 03h35 - 11/09 à 09h50	375	19	84.2	24.2	10.7	7.7	0.7	12.8	6.7	0.5
2000-75	13/09 à 15h25 - 13/09 à 22h30	425	19	78.9	43.9	16.1	15.8	1.0	20.4	15.0	0.7
2000-76	14/09 à 13h20 - 14/09 à 20h40	440	18	83.3	45.1	9.7	13.5	1.4	11.7	14.0	1.2
2000-77	16/09 à 17h15 - 16/09 à 21h35	260	19	63.2	34.8	6.0	10.0	1.7	9.5	11.2	1.2
2000-78	17/09 à 10h50 - 17/09 à 12h15	85	18	55.6	7.5	1.0	1.9	1.9	1.8	2.2	1.3
2000-79	19/09 à 21h10 - 20/09 à 04h40	450	20	85.0	26.5	12.6	8.2	0.6	14.9	6.6	0.4
2000-80	25/09 à 00h10 - 25/09 à 06h30	380	19	84.2	41.9	13.4	12.5	0.9	15.9	12.0	0.8
2000-81	28/09 à 04h15 - 28/09 à 08h15	240	19	57.9	10.4	2.0	2.9	1.5	3.4	3.2	0.9
2000-82	30/09 à 21h50 - 01/10 à 03h10	320	19	73.7	31.5	6.8	8.6	1.3	9.2	8.9	1.0
2000-83	06/10 à 05h10 - 06/10 à 10h35	325	19	63.2	14.2	5.3	5.4	1.0	8.4	4.5	0.5

*Suite à la page suivante*

TAB. 2: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2000-84	06/10 à 16h45 - 06/10 à 19h30	165	21	47.6	24.1	2.8	5.4	2.0	5.8	6.8	1.2
2000-85	07/10 à 15h30 - 07/10 à 17h25	115	21	42.9	19.2	3.1	5.9	1.9	7.1	7.3	1.0
2000-86	08/10 à 22h50 - 09/10 à 05h20	390	21	76.2	34.7	14.0	12.1	0.9	18.4	10.5	0.6
2000-87	09/10 à 13h20 - 09/10 à 22h05	525	19	84.2	33.9	11.9	12.1	1.0	14.1	11.9	0.8
2000-88	10/10 à 10h30 - 10/10 à 12h45	135	19	47.4	5.5	1.2	1.7	1.5	2.5	1.8	0.7
2000-89	12/10 à 23h50 - 13/10 à 01h40	110	20	40.0	7.6	1.1	2.1	1.8	2.8	2.5	0.9
2000-90	16/10 à 21h10 - 17/10 à 01h00	230	20	75.0	14.8	3.4	3.8	1.1	4.6	3.7	0.8



TAB. 3: Paramètres statistiques des 90 événements de la saison 2001.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2001-1	18/04 à 10h00 - 18/04 à 13h20	200	21	42.9	14.6	2.3	3.9	1.7	5.4	4.3	0.8
2001-2	24/04 à 15h35 - 24/04 à 18h50	195	21	57.1	29.9	6.2	8.6	1.4	10.8	8.8	0.8
2001-3	24/04 à 21h05 - 25/04 à 01h00	235	21	66.7	14.5	3.5	4.8	1.4	5.2	5.1	1.0
2001-4	25/04 à 21h05 - 25/04 à 23h15	130	21	52.4	26.8	4.4	6.6	1.5	8.4	7.1	0.8
2001-5	29/04 à 05h55 - 29/04 à 10h40	285	21	76.2	44.7	15.6	14.6	0.9	20.5	13.3	0.6
2001-6	02/05 à 00h40 - 02/05 à 10h25	585	21	100.0	52.8	23.5	14.4	0.6	23.5	14.4	0.6
2001-7	06/05 à 00h10 - 06/05 à 08h05	475	22	95.5	64.7	23.5	17.6	0.8	24.6	17.2	0.7
2001-8	12/05 à 16h15 - 13/05 à 00h35	500	21	90.5	37.2	14.5	12.5	0.9	16.0	12.2	0.8
2001-9	13/05 à 05h00 - 13/05 à 07h15	135	21	47.6	2.5	0.6	0.8	1.3	1.3	0.7	0.5
2001-10	18/05 à 15h45 - 18/05 à 20h40	295	23	60.9	28.4	5.3	8.6	1.6	8.6	9.6	1.1
2001-11	26/05 à 22h30 - 27/05 à 00h25	115	23	43.5	18.8	2.1	4.9	2.3	4.9	6.7	1.4
2001-12	29/05 à 05h00 - 29/05 à 15h15	615	23	87.0	74.1	17.1	19.9	1.2	19.7	20.2	1.0
2001-13	31/05 à 17h30 - 31/05 à 23h15	345	22	54.5	35.7	9.1	12.3	1.4	16.8	12.3	0.7
2001-14	01/06 à 03h45 - 01/06 à 08h20	275	22	54.5	23.0	4.2	7.0	1.7	7.7	8.0	1.0
2001-15	05/06 à 09h55 - 05/06 à 15h05	310	22	59.1	6.2	1.6	2.0	1.3	2.6	2.0	0.8
2001-16	08/06 à 16h30 - 09/06 à 00h00	450	22	90.9	37.8	14.5	13.3	0.9	15.9	13.1	0.8
2001-17	09/06 à 03h30 - 09/06 à 07h10	220	22	54.5	20.0	2.2	4.3	2.0	4.0	5.3	1.3
2001-18	10/06 à 21h50 - 11/06 à 05h50	480	22	50.0	62.7	8.2	15.9	1.9	16.3	19.5	1.2
2001-19	13/06 à 15h35 - 13/06 à 19h35	240	22	50.0	39.2	8.2	12.2	1.5	16.5	12.7	0.8
2001-20	17/06 à 21h40 - 18/06 à 09h10	690	25	76.0	78.3	21.0	20.5	1.0	27.7	19.1	0.7

*Suite à la page suivante*

TAB. 3: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2001-21	21/06 à 12h25 - 21/06 à 18h10	345	26	92.3	39.3	9.2	10.5	1.1	10.0	10.5	1.1
2001-22	22/06 à 20h20 - 23/06 à 03h35	435	26	80.8	57.8	14.9	15.1	1.0	18.4	14.7	0.8
2001-23	23/06 à 17h20 - 24/06 à 01h05	465	25	92.0	43.0	10.8	9.9	0.9	11.8	9.7	0.8
2001-24	24/06 à 15h00 - 24/06 à 20h45	345	25	56.0	41.6	6.2	11.3	1.8	11.1	13.4	1.2
2001-25	26/06 à 18h45 - 26/06 à 23h45	300	25	56.0	39.9	8.8	10.9	1.2	15.8	10.0	0.6
2001-26	28/06 à 20h55 - 29/06 à 03h15	380	25	52.0	44.9	11.4	16.0	1.4	22.0	16.1	0.7
2001-27	29/06 à 10h45 - 29/06 à 15h55	310	25	84.0	25.0	9.1	7.2	0.8	10.8	6.5	0.6
2001-28	01/07 à 08h30 - 01/07 à 11h35	185	25	56.0	20.0	2.2	4.4	2.0	3.9	5.3	1.4
2001-29	04/07 à 04h20 - 04/07 à 17h25	785	25	84.0	52.8	21.7	16.8	0.8	25.9	15.1	0.6
2001-30	10/07 à 01h35 - 10/07 à 06h20	285	25	48.0	33.8	6.3	9.4	1.5	13.1	9.8	0.8
2001-31	11/07 à 15h20 - 12/07 à 01h40	620	25	72.0	24.9	5.6	6.7	1.2	7.8	6.7	0.9
2001-32	16/07 à 12h40 - 16/07 à 16h05	205	25	36.0	40.9	5.1	10.8	2.1	14.3	14.1	1.0
2001-33	20/07 à 10h25 - 20/07 à 17h30	425	21	85.7	40.5	12.6	11.3	0.9	14.7	10.8	0.7
2001-34	21/07 à 04h45 - 21/07 à 11h20	395	25	92.0	25.5	9.4	6.6	0.7	10.2	6.2	0.6
2001-35	23/07 à 00h55 - 23/07 à 04h45	230	26	38.5	31.6	2.4	6.9	2.9	6.2	10.3	1.7
2001-36	23/07 à 05h40 - 23/07 à 06h55	75	26	34.6	1.9	0.3	0.5	1.8	0.7	0.5	0.7
2001-37	24/07 à 14h20 - 24/07 à 18h10	230	24	50.0	7.9	1.4	2.3	1.6	2.9	2.5	0.9
2001-38	25/07 à 14h00 - 25/07 à 22h15	495	25	72.0	54.2	10.1	15.2	1.5	14.1	16.4	1.2
2001-39	28/07 à 03h05 - 28/07 à 08h35	330	25	96.0	38.1	20.3	11.5	0.6	21.2	10.9	0.5
2001-40	29/07 à 05h55 - 29/07 à 10h40	285	25	52.0	50.1	6.5	11.8	1.8	12.4	14.1	1.1
2001-41	30/07 à 19h40 - 30/07 à 21h40	120	25	36.0	20.1	2.5	5.1	2.0	7.0	6.6	0.9

Suite à la page suivante

TAB. 3: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2001-42	30/07 à 23h55 - 31/07 à 05h35	340	25	44.0	29.3	6.3	25.9	4.1	14.3	38.5	2.7
2001-43	01/08 à 02h05 - 01/08 à 13h45	700	24	95.8	48.2	18.1	13.1	0.7	18.9	12.8	0.7
2001-44	04/08 à 14h30 - 04/08 à 17h50	200	25	36.0	28.8	3.5	7.5	2.1	9.7	10.0	1.0
2001-45	04/08 à 19h30 - 05/08 à 04h25	535	25	80.0	90.5	22.2	23.0	1.0	27.8	22.5	0.8
2001-46	05/08 à 15h35 - 05/08 à 19h00	205	25	60.0	8.9	2.3	2.8	1.2	3.9	2.5	0.7
2001-47	07/08 à 06h20 - 07/08 à 13h30	430	24	91.7	51.6	25.2	11.4	0.5	27.5	8.7	0.3
2001-48	07/08 à 15h35 - 07/08 à 17h05	90	24	37.5	1.9	0.2	0.4	1.8	0.6	0.5	0.7
2001-49	08/08 à 12h25 - 08/08 à 14h20	115	24	37.5	3.4	0.5	1.0	1.9	1.4	1.2	0.9
2001-50	09/08 à 15h55 - 10/08 à 00h10	495	24	87.5	50.4	10.4	12.8	1.2	11.9	13.0	1.1
2001-51	11/08 à 00h05 - 11/08 à 04h35	270	24	79.2	21.1	5.3	6.4	1.2	6.7	6.6	1.0
2001-52	12/08 à 08h05 - 12/08 à 16h15	490	23	87.0	39.1	18.6	13.5	0.7	21.4	12.2	0.6
2001-53	13/08 à 19h55 - 14/08 à 01h45	350	24	66.7	23.9	3.3	5.3	1.6	4.9	5.9	1.2
2001-54	14/08 à 15h40 - 14/08 à 18h55	195	24	37.5	7.1	0.9	1.7	2.0	2.3	2.1	0.9
2001-55	14/08 à 21h50 - 15/08 à 09h40	710	24	87.5	79.7	10.9	15.9	1.5	12.5	16.5	1.3
2001-56	15/08 à 16h35 - 15/08 à 18h30	115	24	54.2	4.7	1.0	1.4	1.3	1.9	1.3	0.7
2001-57	21/08 à 02h05 - 21/08 à 08h45	400	27	88.9	13.4	3.6	3.2	0.9	4.0	3.1	0.8
2001-58	21/08 à 12h35 - 21/08 à 23h40	665	24	87.5	43.8	37.0	40.9	1.1	42.3	41.1	1.0
2001-59	22/08 à 08h10 - 22/08 à 10h30	140	26	34.6	12.2	0.6	2.4	3.8	1.8	3.9	2.2
2001-60	24/08 à 01h15 - 24/08 à 11h10	595	26	88.5	76.0	25.8	19.7	0.8	29.2	18.3	0.6
2001-61	25/08 à 10h00 - 25/08 à 15h40	340	26	50.0	20.6	2.7	5.3	1.9	5.5	6.6	1.2
2001-62	27/08 à 01h50 - 27/08 à 16h45	895	26	96.2	62.7	24.7	16.1	0.7	25.7	15.6	0.6

*Suite à la page suivante*

TAB. 3: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2001-63	27/08 à 17h15 - 27/08 à 20h10	175	26	46.2	20.6	2.2	4.5	2.0	4.8	5.6	1.2
2001-64	02/09 à 20h00 - 03/09 à 10h15	855	25	92.0	92.2	24.6	30.7	1.2	26.7	31.1	1.2
2001-65	03/09 à 14h25 - 03/09 à 20h15	350	25	76.0	43.9	8.8	13.7	1.6	11.6	14.7	1.3
2001-66	03/09 à 21h30 - 04/09 à 03h50	380	25	48.0	39.4	2.9	8.4	2.9	6.1	11.5	1.9
2001-67	04/09 à 17h00 - 04/09 à 22h40	340	25	84.0	58.6	13.3	17.3	1.3	15.8	17.9	1.1
2001-68	06/09 à 05h15 - 06/09 à 09h55	280	25	92.0	34.0	15.4	10.0	0.7	16.7	9.3	0.6
2001-69	08/09 à 19h40 - 09/09 à 01h55	375	25	92.0	32.2	16.4	8.7	0.5	17.8	7.5	0.4
2001-70	12/09 à 00h25 - 12/09 à 03h55	210	25	72.0	33.7	10.1	10.3	1.0	14.1	9.6	0.7
2001-71	14/09 à 01h55 - 14/09 à 15h10	795	25	92.0	15.0	23.9	27.2	1.1	26.0	27.4	1.1
2001-72	17/09 à 06h55 - 17/09 à 09h45	170	25	56.0	14.1	3.5	4.1	1.2	6.2	3.7	0.6
2001-73	18/09 à 17h55 - 19/09 à 03h40	585	25	88.0	70.4	18.8	17.9	1.0	21.3	17.5	0.8
2001-74	19/09 à 04h50 - 19/09 à 07h00	130	25	44.0	2.0	0.4	0.5	1.5	0.8	0.5	0.6
2001-75	21/09 à 16h25 - 22/09 à 06h10	825	25	96.0	60.0	27.8	15.2	0.5	29.0	14.3	0.5
2001-76	23/09 à 13h15 - 23/09 à 17h05	230	25	96.0	25.4	7.1	6.3	0.9	7.4	6.3	0.9
2001-77	25/09 à 01h20 - 25/09 à 05h55	275	26	80.8	36.7	10.8	10.3	1.0	13.4	9.8	0.7
2001-78	25/09 à 15h10 - 25/09 à 19h15	245	26	84.6	20.2	5.2	5.6	1.1	6.2	5.5	0.9
2001-79	26/09 à 02h05 - 26/09 à 06h35	270	26	65.4	11.2	3.6	4.1	1.1	5.5	3.9	0.7
2001-80	27/09 à 05h40 - 27/09 à 09h15	215	28	57.1	29.2	3.6	6.5	1.8	6.4	7.5	1.2
2001-81	27/09 à 15h50 - 27/09 à 20h35	285	27	96.3	43.8	12.4	10.4	0.8	12.9	10.3	0.8
2001-82	30/09 à 19h40 - 30/09 à 23h40	240	28	64.3	33.7	3.5	6.8	2.0	5.4	7.9	1.5
2001-83	01/10 à 22h50 - 02/10 à 01h45	175	28	57.1	7.0	1.3	2.0	1.5	2.3	2.2	1.0

Suite à la page suivante

TAB. 3: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2001-84	03/10 à 04h05 - 03/10 à 08h40	275	28	60.7	11.3	2.3	3.4	1.5	3.8	3.7	1.0
2001-85	03/10 à 23h50 - 04/10 à 04h50	300	28	35.7	30.5	4.2	8.7	2.1	11.7	11.4	1.0
2001-86	06/10 à 21h35 - 07/10 à 02h50	315	28	85.7	28.5	9.9	8.9	0.9	11.6	8.5	0.7
2001-87	07/10 à 05h50 - 07/10 à 08h40	170	28	35.7	2.5	0.5	0.9	1.6	1.5	0.8	0.6
2001-88	08/10 à 03h25 - 08/10 à 07h15	230	28	57.1	34.9	4.2	8.6	2.1	7.3	10.4	1.4
2001-89	08/10 à 18h50 - 08/10 à 21h45	175	28	46.4	24.3	2.9	5.5	1.9	6.3	6.7	1.1
2001-90	10/10 à 03h05 - 10/10 à 05h40	155	28	46.4	7.4	1.3	2.1	1.6	2.8	2.3	0.8



TAB. 4: Paramètres statistiques des 105 événements de la saison 2002.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2002-1	09/03 à 18h50 - 10/03 à 05h20	630	17	70.6	70.5	16.5	19.3	1.2	23.4	19.2	0.8
2002-2	28/03 à 17h30 - 29/03 à 03h15	585	23	73.9	39.8	12.6	11.5	0.9	17.1	10.1	0.6
2002-3	06/04 à 17h15 - 06/04 à 21h45	270	26	69.2	36.9	11.2	12.8	1.1	16.2	12.4	0.8
2002-4	07/04 à 06h45 - 07/04 à 14h15	450	26	84.6	54.5	17.1	16.0	0.9	20.2	15.5	0.8
2002-5	08/04 à 00h45 - 08/04 à 03h05	140	26	38.5	4.0	0.5	0.9	1.7	1.4	1.1	0.7
2002-6	13/04 à 09h50 - 13/04 à 16h15	385	26	100.0	53.5	17.3	11.8	0.7	17.3	11.8	0.7
2002-7	17/04 à 20h00 - 18/04 à 01h55	355	26	100.0	40.1	13.3	12.3	0.9	13.3	12.3	0.9
2002-8	23/04 à 18h10 - 23/04 à 22h45	275	25	36.0	30.7	2.3	6.3	2.8	6.3	9.5	1.5
2002-9	04/05 à 11h15 - 04/05 à 15h35	260	26	38.5	30.6	3.6	7.8	2.1	9.4	10.3	1.1
2002-10	05/05 à 16h45 - 05/05 à 23h55	430	26	80.8	46.7	7.6	10.8	1.4	9.4	11.3	1.2
2002-11	07/05 à 19h25 - 07/05 à 22h35	190	26	42.3	25.8	4.8	7.9	1.7	11.3	8.6	0.8
2002-12	09/05 à 01h25 - 09/05 à 05h35	250	26	73.1	22.8	9.6	8.2	0.9	13.1	6.7	0.5
2002-13	12/05 à 18h30 - 12/05 à 21h25	175	26	57.7	19.5	3.5	6.0	1.7	6.1	6.9	1.1
2002-14	13/05 à 17h15 - 14/05 à 01h30	495	26	100.0	42.9	20.7	11.2	0.5	20.7	11.2	0.5
2002-15	19/05 à 01h50 - 19/05 à 08h50	420	25	100.0	72.9	21.5	20.2	0.9	21.5	20.2	0.9
2002-16	24/05 à 01h55 - 24/05 à 06h15	260	24	75.0	62.2	18.0	18.6	1.0	24.0	17.7	0.7
2002-17	26/05 à 19h30 - 26/05 à 22h15	165	24	50.0	29.2	6.6	9.3	1.4	13.1	9.2	0.7
2002-18	28/05 à 03h15 - 28/05 à 10h05	410	24	100.0	34.5	9.6	8.7	0.9	9.6	8.7	0.9
2002-19	01/06 à 02h50 - 01/06 à 08h05	315	24	100.0	54.6	18.2	14.8	0.8	18.2	14.8	0.8
2002-20	02/06 à 17h20 - 02/06 à 20h30	190	24	54.2	16.8	3.0	4.9	1.6	5.6	5.6	1.0

*Suite à la page suivante*

TAB. 4: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2002-21	05/06 à 02h00 - 05/06 à 06h25	265	24	66.7	17.0	2.3	3.8	1.6	3.5	4.2	1.2
2002-22	06/06 à 16h50 - 06/06 à 23h00	370	24	100.0	33.9	12.8	6.5	0.5	12.8	6.5	0.5
2002-23	09/06 à 16h15 - 09/06 à 18h00	105	24	58.3	17.2	2.2	3.7	1.7	3.8	4.2	1.1
2002-24	13/06 à 00h40 - 13/06 à 06h40	360	24	87.5	30.5	10.6	9.0	0.9	12.1	8.6	0.7
2002-25	14/06 à 03h30 - 14/06 à 08h00	270	24	45.8	37.3	5.0	10.2	2.0	10.9	12.9	1.2
2002-26	16/06 à 09h20 - 16/06 à 12h45	205	24	70.8	7.6	2.3	2.3	1.0	3.2	2.2	0.7
2002-27	20/06 à 20h35 - 21/06 à 00h50	255	24	91.7	22.3	6.7	6.5	1.0	7.3	6.4	0.9
2002-28	23/06 à 22h55 - 24/06 à 03h45	290	24	50.0	35.5	4.2	8.6	2.0	8.4	10.8	1.3
2002-29	24/06 à 10h25 - 24/06 à 15h50	325	24	70.8	71.0	9.5	16.4	1.7	13.4	18.2	1.4
2002-30	25/06 à 17h25 - 25/06 à 23h20	355	24	75.0	70.4	19.3	18.3	1.0	25.7	16.7	0.7
2002-31	27/06 à 02h45 - 27/06 à 06h45	240	24	100.0	24.7	10.9	6.5	0.6	10.9	6.5	0.6
2002-32	01/07 à 21h15 - 02/07 à 01h40	265	25	64.0	37.8	5.3	8.5	1.6	8.2	9.5	1.2
2002-33	03/07 à 00h50 - 03/07 à 06h05	315	25	52.0	55.4	8.6	15.5	1.8	16.6	18.4	1.1
2002-34	06/07 à 04h15 - 06/07 à 07h40	205	26	61.5	17.1	3.8	5.3	1.4	6.1	5.6	0.9
2002-35	09/07 à 07h05 - 09/07 à 12h40	335	26	92.3	46.9	12.2	9.2	0.8	13.2	8.8	0.7
2002-36	11/07 à 11h10 - 11/07 à 15h20	250	26	73.1	23.6	6.7	7.5	1.1	9.2	7.3	0.8
2002-37	12/07 à 01h10 - 12/07 à 06h40	330	26	92.3	22.6	10.3	6.4	0.6	11.1	5.9	0.5
2002-38	16/07 à 06h15 - 16/07 à 17h20	665	26	100.0	39.5	17.6	10.8	0.6	17.6	10.8	0.6
2002-39	17/07 à 19h55 - 18/07 à 06h10	615	26	57.7	65.6	7.7	16.3	2.1	13.3	19.9	1.5
2002-40	20/07 à 19h25 - 21/07 à 03h05	460	27	81.5	56.3	10.6	12.4	1.2	13.0	12.6	1.0
2002-41	21/07 à 10h40 - 21/07 à 12h50	130	27	51.9	1.1	0.3	0.4	1.1	0.6	0.2	0.4

*Suite à la page suivante*

TAB. 4: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2002-42	21/07 à 14h50 - 21/07 à 17h55	185	27	40.7	18.8	1.8	4.1	2.2	4.5	5.5	1.2
2002-43	26/07 à 19h00 - 26/07 à 23h05	245	27	55.6	18.6	3.2	5.5	1.8	5.7	6.5	1.1
2002-44	27/07 à 15h25 - 27/07 à 21h00	335	27	51.9	30.9	6.6	10.4	1.6	12.7	11.6	0.9
2002-45	28/07 à 16h25 - 28/07 à 20h30	245	27	33.3	20.1	2.8	5.8	2.1	8.5	7.5	0.9
2002-46	29/07 à 18h45 - 30/07 à 03h10	505	27	77.8	10.3	17.8	28.4	1.6	22.9	30.4	1.3
2002-47	30/07 à 03h40 - 30/07 à 09h45	365	26	57.7	66.5	10.4	18.7	1.8	18.0	21.8	1.2
2002-48	31/07 à 11h35 - 31/07 à 16h45	310	26	96.2	18.7	7.0	5.2	0.7	7.3	5.1	0.7
2002-49	01/08 à 20h05 - 02/08 à 03h35	450	27	66.7	44.5	5.8	9.0	1.6	8.7	9.9	1.1
2002-50	02/08 à 13h50 - 02/08 à 16h55	185	27	37.0	14.6	1.0	3.1	3.1	2.8	4.8	1.7
2002-51	04/08 à 22h35 - 05/08 à 05h20	405	27	37.0	03.4	13.2	24.2	1.8	35.8	28.3	0.8
2002-52	05/08 à 09h10 - 05/08 à 17h35	505	27	100.0	62.8	27.6	16.8	0.6	27.6	16.8	0.6
2002-53	06/08 à 13h25 - 06/08 à 16h15	170	26	69.2	4.3	1.2	1.3	1.1	1.7	1.2	0.7
2002-54	06/08 à 16h50 - 06/08 à 18h50	120	26	34.6	11.8	1.4	3.0	2.1	4.0	4.0	1.0
2002-55	06/08 à 19h20 - 07/08 à 00h20	300	26	61.5	32.8	4.6	8.0	1.7	7.5	9.2	1.2
2002-56	09/08 à 11h00 - 09/08 à 16h05	305	24	95.8	41.9	13.1	9.4	0.7	13.7	9.2	0.7
2002-57	11/08 à 23h10 - 12/08 à 03h10	240	26	38.5	23.8	3.9	6.9	1.8	10.1	7.9	0.8
2002-58	12/08 à 03h40 - 12/08 à 07h30	230	26	88.5	37.4	8.1	8.1	1.0	9.1	8.0	0.9
2002-59	12/08 à 21h20 - 13/08 à 03h35	375	26	50.0	51.5	4.2	11.8	2.8	8.5	15.9	1.9
2002-60	14/08 à 02h05 - 14/08 à 09h40	455	25	96.0	90.1	26.6	26.4	1.0	27.8	26.4	0.9
2002-61	16/08 à 15h55 - 16/08 à 23h45	470	26	92.3	55.0	12.7	13.1	1.0	13.7	13.1	1.0
2002-62	17/08 à 14h25 - 17/08 à 18h20	235	26	65.4	25.4	5.2	6.8	1.3	8.0	7.0	0.9

*Suite à la page suivante*

TAB. 4: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2002-63	17/08 à 18h55 - 17/08 à 22h45	230	26	34.6	45.9	4.6	11.3	2.4	13.4	16.4	1.2
2002-64	19/08 à 14h05 - 19/08 à 21h10	425	25	68.0	45.2	5.6	10.8	1.9	8.2	12.3	1.5
2002-65	20/08 à 15h10 - 20/08 à 20h30	320	25	72.0	20.2	2.9	5.1	1.8	4.0	5.7	1.4
2002-66	20/08 à 21h15 - 21/08 à 06h35	560	25	100.0	54.5	21.2	14.9	0.7	21.2	14.9	0.7
2002-67	23/08 à 17h20 - 24/08 à 02h20	540	25	96.0	58.1	14.0	13.4	1.0	14.5	13.3	0.9
2002-68	25/08 à 13h40 - 25/08 à 15h50	130	23	39.1	12.7	2.8	4.5	1.6	7.3	4.5	0.6
2002-69	26/08 à 14h20 - 26/08 à 18h05	225	24	54.2	27.4	4.4	7.1	1.6	8.0	8.1	1.0
2002-70	26/08 à 18h45 - 26/08 à 23h05	260	26	57.7	11.7	2.3	3.6	1.6	4.0	4.0	1.0
2002-71	28/08 à 20h45 - 29/08 à 09h30	765	27	100.0	75.8	38.4	16.4	0.4	38.4	16.4	0.4
2002-72	01/09 à 21h10 - 02/09 à 04h45	455	27	100.0	24.8	10.4	6.4	0.6	10.4	6.4	0.6
2002-73	03/09 à 15h55 - 03/09 à 23h55	480	27	100.0	54.9	30.4	15.8	0.5	30.4	15.8	0.5
2002-74	05/09 à 20h10 - 06/09 à 04h20	490	27	100.0	87.1	29.6	18.6	0.6	29.6	18.6	0.6
2002-75	09/09 à 17h55 - 09/09 à 20h35	160	26	61.5	21.0	2.3	5.2	2.3	3.7	6.3	1.7
2002-76	10/09 à 22h10 - 11/09 à 02h35	265	26	69.2	15.0	3.0	3.8	1.3	4.3	3.8	0.9
2002-77	11/09 à 08h20 - 11/09 à 12h40	260	26	69.2	30.9	6.4	7.1	1.1	9.2	6.8	0.7
2002-78	12/09 à 15h00 - 12/09 à 17h25	145	25	52.0	18.7	2.5	4.6	1.9	4.7	5.6	1.2
2002-79	12/09 à 18h35 - 12/09 à 22h50	255	26	73.1	21.8	6.1	7.7	1.3	8.3	7.9	0.9
2002-80	13/09 à 03h55 - 13/09 à 10h50	415	26	96.2	50.1	14.6	11.4	0.8	15.2	11.3	0.7
2002-81	13/09 à 16h55 - 14/09 à 02h55	600	26	76.9	46.9	16.3	15.9	1.0	21.2	15.0	0.7
2002-82	14/09 à 23h50 - 15/09 à 07h00	430	26	100.0	48.7	33.2	9.9	0.3	33.2	9.9	0.3
2002-83	18/09 à 00h35 - 18/09 à 06h45	370	26	96.2	83.3	21.1	20.3	1.0	22.0	20.2	0.9

*Suite à la page suivante*

TAB. 4: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2002-84	18/09 à 21h05 - 19/09 à 05h40	515	26	96.2	36.6	15.8	10.9	0.7	16.4	10.7	0.6
2002-85	21/09 à 20h00 - 21/09 à 23h00	180	26	84.6	29.8	7.3	7.5	1.0	8.6	7.4	0.9
2002-86	24/09 à 10h25 - 24/09 à 14h25	240	26	96.2	37.1	12.2	8.5	0.7	12.6	8.3	0.7
2002-87	29/09 à 19h15 - 30/09 à 05h50	635	27	88.9	82.1	18.5	19.6	1.1	20.8	19.6	0.9
2002-88	30/09 à 13h55 - 30/09 à 20h50	415	27	55.6	37.2	5.1	9.5	1.8	9.2	11.2	1.2
2002-89	01/10 à 16h45 - 01/10 à 19h40	175	26	42.3	33.7	3.2	7.5	2.3	7.7	10.2	1.3
2002-90	02/10 à 05h30 - 02/10 à 11h45	375	25	68.0	72.4	9.0	16.2	1.8	13.2	18.3	1.4
2002-91	02/10 à 23h15 - 03/10 à 04h20	305	26	53.8	25.9	3.5	7.7	2.2	6.6	9.6	1.5
2002-92	03/10 à 04h50 - 03/10 à 06h50	120	26	38.5	10.7	1.2	2.4	2.1	3.0	3.1	1.0
2002-93	03/10 à 12h25 - 03/10 à 19h35	430	26	61.5	14.6	3.1	4.7	1.5	5.0	5.2	1.0
2002-94	03/10 à 20h05 - 04/10 à 02h00	355	26	53.8	42.9	4.2	10.4	2.5	7.7	13.3	1.7
2002-95	05/10 à 14h05 - 05/10 à 16h15	130	26	34.6	29.8	3.8	8.6	2.3	10.9	12.0	1.1
2002-96	05/10 à 23h45 - 06/10 à 02h00	135	26	46.2	18.8	2.2	4.2	1.9	4.8	5.2	1.1
2002-97	06/10 à 14h35 - 06/10 à 18h00	205	26	50.0	41.7	4.9	10.2	2.1	9.8	12.8	1.3
2002-98	06/10 à 23h10 - 07/10 à 04h20	310	26	38.5	52.0	4.8	12.6	2.6	12.4	18.3	1.5
2002-99	07/10 à 10h05 - 07/10 à 14h45	280	26	46.2	24.1	4.0	6.5	1.6	8.8	7.2	0.8
2002-100	07/10 à 15h20 - 07/10 à 21h35	375	26	76.9	42.1	9.3	11.5	1.2	12.1	11.8	1.0
2002-101	09/10 à 00h55 - 09/10 à 08h00	425	26	69.2	33.3	5.5	9.6	1.7	8.0	10.7	1.3
2002-102	10/10 à 15h50 - 10/10 à 22h00	370	26	88.5	21.7	5.9	5.5	0.9	6.6	5.4	0.8
2002-103	13/10 à 23h25 - 14/10 à 01h35	130	26	42.3	40.5	5.6	11.6	2.1	13.2	15.0	1.1
2002-104	15/10 à 10h20 - 15/10 à 17h25	425	26	76.9	16.4	5.4	5.9	1.1	7.1	5.8	0.8

*Suite à la page suivante*

TAB. 4: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2002-105	18/10 à 23h10 - 19/10 à 01h35	145	26	50.0	3.8	0.9	1.2	1.4	1.7	1.2	0.7

TAB. 5: Paramètres statistiques des 123 événements de la saison 2003.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2003-1	16/02 à 20h10 - 17/02 à 03h55	465	33	90.9	51.7	13.7	14.1	1.0	15.1	14.1	0.9
2003-2	22/03 à 18h45 - 23/03 à 02h50	485	33	84.8	39.8	14.6	12.3	0.8	17.2	11.5	0.7
2003-3	11/04 à 04h55 - 11/04 à 08h35	220	35	94.3	22.6	6.8	5.3	0.8	7.2	5.1	0.7
2003-4	14/04 à 15h35 - 15/04 à 00h05	510	34	85.3	34.4	10.1	11.3	1.1	11.8	11.4	1.0
2003-5	18/04 à 15h35 - 18/04 à 17h50	135	34	41.2	30.9	4.5	8.9	2.0	11.0	11.2	1.0
2003-6	19/04 à 13h55 - 19/04 à 21h50	475	34	100.0	86.0	27.4	17.7	0.6	27.4	17.7	0.6
2003-7	22/04 à 19h10 - 22/04 à 21h30	140	34	35.3	39.9	5.0	10.3	2.1	14.1	13.4	0.9
2003-8	26/04 à 19h05 - 26/04 à 22h10	185	34	47.1	39.9	6.6	10.2	1.6	13.9	10.8	0.8
2003-9	28/04 à 18h35 - 29/04 à 00h35	360	34	82.4	66.4	13.8	18.7	1.4	16.7	19.4	1.2
2003-10	06/05 à 16h50 - 07/05 à 00h15	445	34	55.9	55.8	9.1	17.2	1.9	16.3	20.5	1.3
2003-11	11/05 à 19h50 - 11/05 à 23h35	225	34	58.8	20.3	5.7	7.0	1.2	9.7	6.7	0.7
2003-12	17/05 à 01h50 - 17/05 à 04h20	150	34	38.2	21.4	2.1	4.7	2.2	5.4	6.3	1.2
2003-13	17/05 à 11h25 - 17/05 à 13h40	135	34	32.4	26.1	3.1	6.3	2.0	9.5	7.9	0.8
2003-14	19/05 à 16h15 - 19/05 à 19h30	195	34	47.1	16.4	3.1	4.8	1.5	6.7	5.0	0.7
2003-15	20/05 à 18h20 - 20/05 à 22h00	220	34	50.0	23.4	5.1	7.3	1.4	10.3	7.4	0.7
2003-16	21/05 à 04h35 - 21/05 à 09h10	275	34	91.2	30.1	10.6	7.9	0.7	11.6	7.5	0.6
2003-17	28/05 à 18h25 - 29/05 à 08h50	865	35	91.4	86.9	35.2	25.9	0.7	38.5	24.6	0.6
2003-18	31/05 à 00h00 - 31/05 à 05h25	325	35	48.6	75.8	6.0	14.9	2.5	12.4	19.7	1.6
2003-19	01/06 à 12h30 - 01/06 à 19h10	400	35	91.4	45.3	23.2	10.7	0.5	25.3	8.3	0.3
2003-20	02/06 à 23h20 - 03/06 à 04h55	335	35	42.9	23.0	1.2	3.9	3.3	2.8	5.7	2.0

*Suite à la page suivante*

TAB. 5: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2003-21	04/06 à 14h25 - 04/06 à 16h45	140	35	37.1	24.5	2.5	5.5	2.2	6.8	7.3	1.1
2003-22	05/06 à 21h10 - 06/06 à 06h45	575	35	94.3	35.9	15.8	9.3	0.6	16.7	8.7	0.5
2003-23	07/06 à 19h55 - 08/06 à 09h10	795	35	94.3	41.8	20.2	10.9	0.5	21.4	9.9	0.5
2003-24	10/06 à 04h25 - 10/06 à 13h10	525	35	94.3	69.7	20.0	21.3	1.1	21.3	21.3	1.0
2003-25	11/06 à 09h20 - 11/06 à 13h35	255	35	40.0	15.6	1.6	3.5	2.2	4.0	4.7	1.2
2003-26	12/06 à 13h30 - 13/06 à 08h35	1145	35	94.3	72.9	29.9	19.6	0.7	31.7	18.7	0.6
2003-27	15/06 à 00h50 - 15/06 à 04h00	190	35	45.7	18.3	2.5	4.2	1.7	5.4	4.7	0.9
2003-28	17/06 à 16h30 - 17/06 à 19h55	205	33	33.3	25.5	2.4	5.8	2.4	7.1	8.4	1.2
2003-29	17/06 à 20h30 - 18/06 à 00h15	225	34	67.6	26.9	6.6	7.9	1.2	9.8	7.8	0.8
2003-30	19/06 à 19h35 - 20/06 à 00h15	280	33	90.9	41.2	12.1	10.9	0.9	13.3	10.7	0.8
2003-31	22/06 à 11h55 - 22/06 à 16h10	255	33	36.4	32.1	3.0	6.7	2.3	8.1	9.3	1.1
2003-32	23/06 à 11h45 - 23/06 à 20h10	505	33	60.6	33.6	3.7	8.4	2.2	6.1	10.1	1.6
2003-33	24/06 à 14h10 - 24/06 à 23h50	580	30	90.0	09.5	18.8	20.8	1.1	20.9	20.9	1.0
2003-34	25/06 à 02h10 - 25/06 à 08h40	390	33	90.9	50.0	11.9	13.9	1.2	13.1	14.0	1.1
2003-35	25/06 à 13h45 - 26/06 à 02h30	765	30	96.7	02.9	27.7	23.5	0.8	28.7	23.3	0.8
2003-36	26/06 à 14h20 - 26/06 à 20h10	350	32	56.2	13.6	1.7	2.8	1.6	3.0	3.2	1.0
2003-37	28/06 à 16h15 - 28/06 à 23h45	450	34	82.4	70.1	17.7	16.7	0.9	21.5	16.0	0.7
2003-38	29/06 à 01h10 - 29/06 à 04h35	205	34	58.8	31.3	3.0	6.1	2.0	5.2	7.3	1.4
2003-39	01/07 à 13h25 - 01/07 à 19h20	355	34	94.1	45.8	12.8	11.7	0.9	13.6	11.6	0.9
2003-40	03/07 à 10h30 - 03/07 à 14h15	225	33	87.9	34.2	9.6	11.1	1.1	11.0	11.2	1.0
2003-41	07/07 à 15h30 - 07/07 à 18h45	195	31	54.8	24.0	4.3	6.4	1.5	7.9	6.8	0.9

Suite à la page suivante

TAB. 5: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2003-42	07/07 à 19h25 - 07/07 à 21h35	130	33	33.3	3.4	0.6	1.0	1.8	1.7	1.1	0.7
2003-43	08/07 à 01h15 - 08/07 à 05h00	225	33	48.5	38.4	4.5	8.1	1.8	9.3	9.6	1.0
2003-44	08/07 à 08h55 - 08/07 à 11h50	175	32	50.0	9.0	1.3	2.2	1.7	2.7	2.5	1.0
2003-45	09/07 à 16h30 - 10/07 à 09h10	1000	33	97.0	61.1	13.0	13.2	1.0	13.4	13.2	1.0
2003-46	13/07 à 13h40 - 13/07 à 18h00	260	33	51.5	60.7	5.6	12.3	2.2	11.0	15.5	1.4
2003-47	16/07 à 05h50 - 16/07 à 09h00	190	33	36.4	24.2	2.6	5.6	2.2	7.1	7.5	1.1
2003-48	16/07 à 20h05 - 17/07 à 07h00	655	33	100.0	51.0	21.7	14.4	0.7	21.7	14.4	0.7
2003-49	18/07 à 13h35 - 18/07 à 19h35	360	33	63.6	44.8	7.2	11.9	1.6	11.4	13.3	1.2
2003-50	19/07 à 12h40 - 19/07 à 15h20	160	33	33.3	21.2	1.6	4.3	2.7	4.8	6.5	1.4
2003-51	19/07 à 16h05 - 19/07 à 19h30	205	33	36.4	34.0	2.3	6.5	2.8	6.4	9.7	1.5
2003-52	20/07 à 18h40 - 20/07 à 20h35	115	33	33.3	27.5	1.9	5.4	2.9	5.6	8.4	1.5
2003-53	20/07 à 23h25 - 21/07 à 06h45	440	33	93.9	59.6	13.4	16.3	1.2	14.2	16.4	1.2
2003-54	21/07 à 15h00 - 21/07 à 22h35	455	33	66.7	22.5	4.6	6.9	1.5	6.8	7.5	1.1
2003-55	22/07 à 21h55 - 23/07 à 08h45	650	33	66.7	40.4	9.0	12.1	1.3	13.5	12.6	0.9
2003-56	25/07 à 16h00 - 25/07 à 23h00	420	32	56.2	36.8	5.1	9.4	1.9	9.0	11.1	1.2
2003-57	26/07 à 13h50 - 26/07 à 16h05	135	32	53.1	21.3	2.4	4.7	2.0	4.5	5.8	1.3
2003-58	27/07 à 15h40 - 27/07 à 19h20	220	32	50.0	24.7	2.7	5.2	1.9	5.4	6.4	1.2
2003-59	29/07 à 14h45 - 30/07 à 06h20	935	33	90.9	68.2	14.9	19.4	1.3	16.4	19.8	1.2
2003-60	30/07 à 15h40 - 31/07 à 13h35	1315	30	100.0	82.8	70.0	41.9	0.6	70.0	41.9	0.6
2003-61	01/08 à 15h40 - 01/08 à 22h20	400	32	59.4	59.9	5.1	11.4	2.2	8.6	13.8	1.6
2003-62	03/08 à 18h15 - 04/08 à 04h25	610	33	78.8	71.0	14.0	18.7	1.3	17.7	19.5	1.1

*Suite à la page suivante*

TAB. 5: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2003-63	05/08 à 15h45 - 05/08 à 23h40	475	33	78.8	46.7	9.4	13.1	1.4	12.0	13.7	1.1
2003-64	06/08 à 01h50 - 06/08 à 20h50	1140	33	97.0	69.1	21.0	15.5	0.7	21.6	15.3	0.7
2003-65	09/08 à 14h10 - 10/08 à 02h55	765	32	96.9	63.9	18.4	15.4	0.8	19.0	15.3	0.8
2003-66	10/08 à 16h10 - 10/08 à 22h00	350	31	74.2	30.2	8.8	10.9	1.2	11.8	11.2	0.9
2003-67	11/08 à 14h20 - 11/08 à 20h35	375	30	83.3	52.4	8.8	12.0	1.4	10.6	12.4	1.2
2003-68	11/08 à 21h10 - 12/08 à 01h55	285	31	58.1	35.3	3.1	7.4	2.4	5.3	9.2	1.7
2003-69	12/08 à 17h10 - 13/08 à 03h20	610	31	96.8	56.9	25.5	19.6	0.8	26.4	19.3	0.7
2003-70	13/08 à 16h30 - 13/08 à 22h40	370	32	62.5	38.1	7.2	10.6	1.5	11.5	11.5	1.0
2003-71	14/08 à 09h10 - 14/08 à 11h30	140	32	37.5	2.5	0.5	0.8	1.6	1.3	0.8	0.6
2003-72	14/08 à 12h10 - 14/08 à 17h25	315	32	43.8	23.5	1.2	4.1	3.6	2.6	6.1	2.3
2003-73	16/08 à 01h25 - 16/08 à 13h20	715	32	93.8	77.5	19.1	21.1	1.1	20.4	21.2	1.0
2003-74	17/08 à 08h55 - 17/08 à 16h00	425	30	83.3	02.0	10.6	19.6	1.8	12.8	20.9	1.6
2003-75	18/08 à 23h15 - 19/08 à 06h50	455	29	89.7	47.6	15.7	15.7	1.0	17.5	15.6	0.9
2003-76	19/08 à 09h55 - 19/08 à 21h15	680	29	96.6	64.4	20.3	18.0	0.9	21.0	17.9	0.9
2003-77	20/08 à 15h00 - 20/08 à 22h45	465	29	65.5	23.1	5.1	6.6	1.3	7.8	6.8	0.9
2003-78	22/08 à 06h15 - 22/08 à 11h10	295	29	86.2	20.2	6.6	5.7	0.9	7.7	5.5	0.7
2003-79	22/08 à 15h30 - 22/08 à 18h35	185	31	45.2	17.1	3.3	5.5	1.7	7.3	6.3	0.9
2003-80	23/08 à 05h15 - 23/08 à 09h55	280	32	68.8	4.0	0.8	1.1	1.3	1.2	1.1	0.9
2003-81	23/08 à 15h55 - 23/08 à 22h25	390	33	75.8	58.2	9.0	14.5	1.6	11.8	15.6	1.3
2003-82	25/08 à 11h00 - 25/08 à 14h35	215	32	40.6	8.1	1.3	2.2	1.7	3.2	2.4	0.8
2003-83	26/08 à 13h45 - 26/08 à 17h55	250	35	37.1	42.1	3.4	8.4	2.5	9.2	12.0	1.3

*Suite à la page suivante*

TAB. 5: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2003-84	26/08 à 19h55 - 27/08 à 00h45	290	35	54.3	20.3	2.2	4.3	1.9	4.1	5.1	1.2
2003-85	27/08 à 15h45 - 27/08 à 21h40	355	34	94.1	53.4	15.8	14.6	0.9	16.8	14.4	0.9
2003-86	28/08 à 14h20 - 28/08 à 18h45	265	35	48.6	45.2	5.3	9.2	1.7	11.0	10.8	1.0
2003-87	28/08 à 19h35 - 29/08 à 01h45	370	35	45.7	80.4	5.2	16.4	3.2	11.3	23.2	2.1
2003-88	29/08 à 12h00 - 29/08 à 20h35	515	35	97.1	77.8	19.6	17.7	0.9	20.2	17.6	0.9
2003-89	30/08 à 22h10 - 31/08 à 12h35	865	34	100.0	51.8	50.7	43.4	0.9	50.7	43.4	0.9
2003-90	01/09 à 17h55 - 01/09 à 21h30	215	34	52.9	34.1	3.6	7.2	2.0	6.9	8.8	1.3
2003-91	02/09 à 19h20 - 03/09 à 05h15	595	33	90.9	59.1	7.0	11.7	1.7	7.7	12.1	1.6
2003-92	04/09 à 10h35 - 04/09 à 15h20	285	31	87.1	43.4	7.9	9.5	1.2	9.0	9.6	1.1
2003-93	05/09 à 15h20 - 05/09 à 21h05	345	33	63.6	41.8	4.6	8.2	1.8	7.2	9.4	1.3
2003-94	06/09 à 12h00 - 07/09 à 05h50	1070	33	97.0	59.3	18.5	15.5	0.8	19.0	15.4	0.8
2003-95	07/09 à 06h40 - 07/09 à 10h45	245	33	48.5	26.8	3.6	6.9	2.0	7.3	8.6	1.2
2003-96	07/09 à 13h30 - 07/09 à 19h50	380	33	72.7	49.3	6.2	11.1	1.8	8.6	12.2	1.4
2003-97	08/09 à 15h35 - 08/09 à 21h40	365	33	81.8	65.9	9.6	13.1	1.4	11.7	13.6	1.2
2003-98	12/09 à 05h05 - 12/09 à 12h10	425	33	90.9	45.8	11.2	10.9	1.0	12.3	10.8	0.9
2003-99	12/09 à 13h00 - 12/09 à 17h10	250	33	48.5	21.2	2.8	5.3	1.9	5.7	6.4	1.1
2003-100	13/09 à 03h55 - 13/09 à 10h35	400	33	45.5	29.2	2.9	6.0	2.1	6.3	7.7	1.2
2003-101	14/09 à 15h50 - 14/09 à 20h25	275	33	72.7	61.4	8.4	16.8	2.0	11.5	18.9	1.6
2003-102	15/09 à 14h50 - 15/09 à 19h20	270	33	60.6	39.3	3.0	7.4	2.5	4.9	9.0	1.8
2003-103	16/09 à 01h20 - 16/09 à 06h05	285	33	72.7	30.8	5.2	7.9	1.5	7.1	8.5	1.2
2003-104	17/09 à 18h00 - 17/09 à 23h55	355	33	84.8	29.4	6.0	6.7	1.1	7.1	6.7	1.0

*Suite à la page suivante*

TAB. 5: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2003-105	18/09 à 16h05 - 19/09 à 00h00	475	33	100.0	55.0	24.9	15.2	0.6	24.9	15.2	0.6
2003-106	21/09 à 04h00 - 21/09 à 11h00	420	33	93.9	41.4	14.0	12.4	0.9	14.9	12.3	0.8
2003-107	22/09 à 16h55 - 23/09 à 02h40	585	32	100.0	65.9	23.6	14.6	0.6	23.6	14.6	0.6
2003-108	24/09 à 23h15 - 25/09 à 06h15	420	33	93.9	29.1	8.4	6.3	0.8	8.9	6.2	0.7
2003-109	27/09 à 18h35 - 28/09 à 03h50	555	32	100.0	63.8	22.4	14.3	0.6	22.4	14.3	0.6
2003-110	28/09 à 04h25 - 28/09 à 06h55	150	33	45.5	1.5	0.3	0.4	1.4	0.6	0.4	0.6
2003-111	30/09 à 00h10 - 30/09 à 05h45	335	33	33.3	36.4	4.3	8.7	2.0	12.9	10.9	0.9
2003-112	01/10 à 23h20 - 02/10 à 06h20	420	33	97.0	67.7	15.6	12.7	0.8	16.1	12.6	0.8
2003-113	05/10 à 19h10 - 06/10 à 01h10	360	34	67.6	32.2	3.4	6.5	1.9	5.0	7.4	1.5
2003-114	06/10 à 15h35 - 06/10 à 20h10	275	34	79.4	18.8	4.8	5.2	1.1	6.0	5.2	0.9
2003-115	07/10 à 18h35 - 07/10 à 20h10	95	34	44.1	28.1	2.1	5.2	2.4	4.8	7.0	1.5
2003-116	07/10 à 21h50 - 08/10 à 03h50	360	34	88.2	12.0	2.9	3.1	1.1	3.2	3.1	1.0
2003-117	12/10 à 17h15 - 13/10 à 01h55	520	34	73.5	24.1	5.1	6.5	1.3	6.9	6.7	1.0
2003-118	14/10 à 02h50 - 14/10 à 07h20	270	34	64.7	56.9	10.0	14.8	1.5	15.4	16.0	1.0
2003-119	14/10 à 13h50 - 14/10 à 18h25	275	34	88.2	40.1	8.9	10.7	1.2	10.1	10.8	1.1
2003-120	14/10 à 22h30 - 15/10 à 02h45	255	34	58.8	25.6	4.1	7.0	1.7	7.0	8.0	1.1
2003-121	15/10 à 22h05 - 16/10 à 04h40	395	34	85.3	26.7	6.2	7.3	1.2	7.3	7.5	1.0
2003-122	16/10 à 19h00 - 16/10 à 20h45	105	34	47.1	22.6	2.4	4.8	2.0	5.1	5.9	1.2
2003-123	17/10 à 00h00 - 17/10 à 06h10	370	33	48.5	37.0	2.3	6.9	3.0	4.7	9.5	2.0

TAB. 6: Paramètres statistiques des 105 événements de la saison 2004.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2004-1	20/01 à 20h05 - 21/01 à 07h50	705	21	95.2	121.2	36.4	29.1	0.8	38.3	28.6	0.7
2004-2	31/03 à 16h50 - 31/03 à 21h20	270	32	37.5	32.5	3.0	7.0	2.3	7.9	9.7	1.2
2004-3	01/04 à 15h25 - 01/04 à 18h00	155	32	43.8	20.0	3.1	5.9	1.9	7.2	7.2	1.0
2004-4	06/04 à 21h45 - 07/04 à 07h05	560	32	87.5	58.8	16.6	17.9	1.1	19.0	17.9	0.9
2004-5	11/04 à 17h20 - 11/04 à 19h00	100	31	38.7	16.2	2.5	4.5	1.8	6.4	5.4	0.8
2004-6	15/04 à 15h45 - 15/04 à 20h05	260	31	48.4	77.3	8.3	17.0	2.1	17.1	21.4	1.3
2004-7	21/04 à 19h25 - 21/04 à 23h45	260	31	51.6	14.3	2.0	3.4	1.7	3.9	3.8	1.0
2004-8	26/04 à 17h35 - 26/04 à 23h55	380	31	77.4	47.2	14.7	14.5	1.0	18.9	13.7	0.7
2004-9	28/04 à 22h10 - 29/04 à 06h35	505	31	87.1	78.1	17.1	19.2	1.1	19.6	19.3	1.0
2004-10	04/05 à 02h35 - 04/05 à 04h35	120	31	48.4	12.8	2.0	3.6	1.8	4.2	4.2	1.0
2004-11	05/05 à 17h05 - 06/05 à 00h25	440	31	87.1	55.5	10.7	14.8	1.4	12.3	15.3	1.2
2004-12	06/05 à 01h10 - 06/05 à 04h30	200	31	61.3	34.9	2.7	6.8	2.5	4.4	8.3	1.9
2004-13	12/05 à 02h25 - 12/05 à 07h10	285	30	73.3	21.0	3.8	4.7	1.2	5.2	4.8	0.9
2004-14	15/05 à 00h45 - 15/05 à 08h15	450	30	86.7	88.8	10.6	18.9	1.8	12.3	19.9	1.6
2004-15	19/05 à 11h00 - 19/05 à 14h50	230	29	72.4	33.1	4.3	7.2	1.7	5.9	7.9	1.3
2004-16	23/05 à 00h50 - 23/05 à 07h40	410	27	96.3	26.2	10.2	7.7	0.8	10.6	7.6	0.7
2004-17	23/05 à 08h55 - 23/05 à 11h05	130	25	44.0	3.1	0.5	0.9	1.6	1.2	1.0	0.8
2004-18	26/05 à 03h40 - 26/05 à 09h45	365	30	96.7	50.1	19.6	10.6	0.5	20.3	10.1	0.5
2004-19	28/05 à 08h20 - 28/05 à 11h00	160	33	33.3	16.3	1.1	2.9	2.8	3.2	4.5	1.4
2004-20	28/05 à 23h10 - 29/05 à 18h15	1145	33	84.8	33.2	5.9	6.9	1.2	7.0	6.9	1.0

*Suite à la page suivante*

TAB. 6: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2004-21	31/05 à 02h50 - 31/05 à 07h55	305	33	100.0	56.4	13.2	10.6	0.8	13.2	10.6	0.8
2004-22	01/06 à 23h45 - 02/06 à 07h30	465	33	97.0	52.9	21.8	11.6	0.5	22.5	11.1	0.5
2004-23	04/06 à 03h55 - 04/06 à 06h50	175	33	84.8	27.5	5.2	7.0	1.3	6.1	7.2	1.2
2004-24	06/06 à 10h45 - 06/06 à 15h05	260	33	75.8	22.4	3.3	4.9	1.5	4.4	5.2	1.2
2004-25	07/06 à 13h10 - 07/06 à 18h25	315	31	71.0	22.2	4.2	5.8	1.4	5.9	6.2	1.0
2004-26	09/06 à 02h10 - 09/06 à 09h15	425	31	96.8	55.4	25.0	12.2	0.5	25.9	11.5	0.4
2004-27	12/06 à 02h00 - 12/06 à 08h15	375	28	100.0	61.9	28.1	16.5	0.6	28.1	16.5	0.6
2004-28	15/06 à 07h10 - 15/06 à 12h10	300	25	84.0	14.5	5.6	5.7	1.0	6.7	5.6	0.8
2004-29	17/06 à 00h50 - 17/06 à 08h50	480	29	100.0	53.5	29.0	10.8	0.4	29.0	10.8	0.4
2004-30	20/06 à 22h45 - 21/06 à 05h25	400	32	62.5	49.8	6.5	11.0	1.7	10.4	12.4	1.2
2004-31	21/06 à 17h05 - 21/06 à 20h05	180	31	58.1	44.6	8.2	12.9	1.6	14.1	14.3	1.0
2004-32	24/06 à 05h45 - 24/06 à 11h45	360	30	100.0	40.1	16.5	8.5	0.5	16.5	8.5	0.5
2004-33	28/06 à 04h25 - 28/06 à 08h55	270	30	100.0	51.5	19.6	13.8	0.7	19.6	13.8	0.7
2004-34	30/06 à 09h30 - 30/06 à 12h25	175	30	66.7	16.5	2.6	4.5	1.7	3.9	5.1	1.3
2004-35	03/07 à 00h00 - 03/07 à 07h30	450	30	90.0	57.5	21.7	13.7	0.6	24.1	12.3	0.5
2004-36	04/07 à 12h30 - 04/07 à 18h05	335	29	79.3	53.6	10.2	12.4	1.2	12.9	12.7	1.0
2004-37	05/07 à 20h55 - 06/07 à 05h20	505	30	90.0	40.8	12.8	12.6	1.0	14.2	12.5	0.9
2004-38	06/07 à 22h55 - 07/07 à 03h55	300	30	73.3	28.3	5.2	7.2	1.4	7.1	7.6	1.1
2004-39	08/07 à 21h50 - 08/07 à 23h25	95	33	48.5	20.6	1.3	3.6	2.9	2.6	4.9	1.9
2004-40	09/07 à 10h00 - 09/07 à 14h45	285	33	100.0	17.7	8.0	3.1	0.4	8.0	3.1	0.4
2004-41	10/07 à 15h15 - 10/07 à 18h00	165	34	44.1	9.8	1.4	2.4	1.7	3.3	2.8	0.8

*Suite à la page suivante*

TAB. 6: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2004-42	10/07 à 18h30 - 11/07 à 07h45	795	34	100.0	65.1	18.8	14.2	0.8	18.8	14.2	0.8
2004-43	13/07 à 15h50 - 13/07 à 19h45	235	34	94.1	38.8	11.3	9.8	0.9	12.0	9.7	0.8
2004-44	14/07 à 18h10 - 14/07 à 22h00	230	34	50.0	29.5	4.8	7.5	1.6	9.5	8.3	0.9
2004-45	15/07 à 19h55 - 16/07 à 01h55	360	34	61.8	36.7	4.3	7.7	1.8	7.0	8.8	1.3
2004-46	16/07 à 17h05 - 17/07 à 01h10	485	34	73.5	20.3	2.5	4.2	1.7	3.4	4.6	1.4
2004-47	17/07 à 03h00 - 17/07 à 06h30	210	34	70.6	38.1	8.2	8.9	1.1	11.6	8.5	0.7
2004-48	17/07 à 11h35 - 17/07 à 16h10	275	33	51.5	19.4	1.8	3.8	2.1	3.5	4.8	1.4
2004-49	18/07 à 13h40 - 18/07 à 20h55	435	33	69.7	50.9	11.3	15.8	1.4	16.2	16.7	1.0
2004-50	19/07 à 10h40 - 19/07 à 15h30	290	32	53.1	19.3	2.9	4.8	1.6	5.5	5.5	1.0
2004-51	21/07 à 01h00 - 21/07 à 07h30	390	32	71.9	68.3	7.0	13.6	1.9	9.8	15.2	1.6
2004-52	21/07 à 14h10 - 22/07 à 06h45	995	32	93.8	80.8	17.7	20.0	1.1	18.9	20.1	1.1
2004-53	23/07 à 14h50 - 24/07 à 02h40	710	31	93.5	94.6	23.0	24.6	1.1	24.6	24.6	1.0
2004-54	24/07 à 16h55 - 25/07 à 07h30	875	30	76.7	63.2	11.1	16.9	1.5	14.5	18.1	1.2
2004-55	25/07 à 12h15 - 25/07 à 16h55	280	28	50.0	32.5	4.1	8.8	2.2	8.2	11.2	1.4
2004-56	26/07 à 08h25 - 26/07 à 13h20	295	29	89.7	30.2	5.7	7.7	1.3	6.4	7.9	1.2
2004-57	27/07 à 12h35 - 28/07 à 01h55	800	29	93.1	71.1	14.8	19.9	1.3	15.9	20.2	1.3
2004-58	28/07 à 06h25 - 28/07 à 14h20	475	27	92.6	49.4	8.2	10.5	1.3	8.9	10.6	1.2
2004-59	30/07 à 13h55 - 30/07 à 23h45	590	30	76.7	51.7	12.0	14.3	1.2	15.7	14.5	0.9
2004-60	31/07 à 00h20 - 31/07 à 11h15	655	32	93.8	39.4	9.6	11.8	1.2	10.3	12.0	1.2
2004-61	05/08 à 11h40 - 05/08 à 17h45	365	32	96.9	39.3	15.1	10.7	0.7	15.6	10.5	0.7
2004-62	08/08 à 07h20 - 08/08 à 09h55	155	32	53.1	16.3	2.1	3.4	1.6	3.9	3.9	1.0

*Suite à la page suivante*

TAB. 6: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2004-63	08/08 à 10h45 - 08/08 à 14h00	195	32	62.5	29.3	3.2	6.6	2.1	5.1	7.7	1.5
2004-64	10/08 à 17h20 - 11/08 à 08h00	880	32	78.1	125.2	28.4	28.5	1.0	36.4	27.4	0.8
2004-65	11/08 à 11h35 - 11/08 à 14h55	200	32	40.6	8.7	1.2	2.4	1.9	3.0	2.9	1.0
2004-66	13/08 à 14h30 - 13/08 à 23h05	515	34	91.2	51.7	11.9	14.0	1.2	13.0	14.2	1.1
2004-67	15/08 à 13h15 - 15/08 à 18h00	285	31	83.9	17.7	5.8	5.5	0.9	6.9	5.3	0.8
2004-68	19/08 à 19h10 - 20/08 à 03h25	495	33	48.5	31.3	5.2	9.0	1.7	10.7	10.5	1.0
2004-69	20/08 à 23h55 - 21/08 à 12h25	750	30	86.7	60.0	10.9	15.8	1.4	12.6	16.3	1.3
2004-70	21/08 à 15h20 - 21/08 à 22h00	400	33	69.7	69.2	14.2	20.1	1.4	20.4	21.3	1.0
2004-71	22/08 à 02h05 - 23/08 à 08h50	1845	26	100.0	125.7	39.6	26.7	0.7	39.6	26.7	0.7
2004-72	23/08 à 20h15 - 24/08 à 03h25	430	33	48.5	14.6	1.8	3.1	1.8	3.7	3.6	1.0
2004-73	24/08 à 15h05 - 24/08 à 20h30	325	33	48.5	21.0	2.8	4.9	1.7	5.8	5.7	1.0
2004-74	25/08 à 16h25 - 26/08 à 04h45	740	32	93.8	70.9	28.5	19.3	0.7	30.5	18.4	0.6
2004-75	26/08 à 13h55 - 26/08 à 20h15	380	32	68.8	24.3	3.8	5.7	1.5	5.5	6.2	1.1
2004-76	28/08 à 14h30 - 28/08 à 20h45	375	32	56.2	21.5	3.5	5.2	1.5	6.2	5.5	0.9
2004-77	29/08 à 06h35 - 29/08 à 09h00	145	32	37.5	8.0	0.8	2.0	2.6	2.0	2.9	1.4
2004-78	30/08 à 01h40 - 30/08 à 07h30	350	32	90.6	24.6	8.5	6.9	0.8	9.4	6.6	0.7
2004-79	30/08 à 14h05 - 30/08 à 19h15	310	32	96.9	31.1	11.9	9.5	0.8	12.3	9.4	0.8
2004-80	02/09 à 11h55 - 02/09 à 16h45	290	32	46.9	21.9	2.2	4.7	2.1	4.7	5.9	1.3
2004-81	04/09 à 01h05 - 04/09 à 06h45	340	32	93.8	47.6	21.3	10.5	0.5	22.7	9.1	0.4
2004-82	06/09 à 01h45 - 06/09 à 08h30	405	33	100.0	49.0	24.0	10.7	0.4	24.0	10.7	0.4
2004-83	06/09 à 17h25 - 06/09 à 20h35	190	32	40.6	16.0	1.0	2.9	2.9	2.5	4.3	1.7

*Suite à la page suivante*

TAB. 6: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2004-84	08/09 à 17h20 - 08/09 à 21h45	265	32	71.9	25.0	7.5	7.4	1.0	10.5	6.8	0.6
2004-85	09/09 à 02h25 - 09/09 à 07h25	300	34	88.2	25.9	5.7	5.8	1.0	6.5	5.7	0.9
2004-86	09/09 à 17h10 - 09/09 à 21h25	255	34	38.2	39.1	3.0	7.3	2.4	7.9	10.3	1.3
2004-87	11/09 à 01h35 - 11/09 à 07h05	330	34	97.1	24.9	7.5	7.0	0.9	7.8	7.0	0.9
2004-88	11/09 à 15h45 - 11/09 à 19h15	210	34	50.0	52.7	5.5	11.0	2.0	11.0	13.7	1.2
2004-89	13/09 à 01h50 - 13/09 à 07h15	325	34	76.5	18.6	2.9	4.9	1.7	3.8	5.2	1.4
2004-90	15/09 à 21h35 - 16/09 à 02h40	305	34	100.0	35.2	10.5	6.7	0.6	10.5	6.7	0.6
2004-91	16/09 à 22h55 - 17/09 à 05h50	415	34	100.0	28.2	11.4	6.3	0.6	11.4	6.3	0.6
2004-92	19/09 à 04h35 - 19/09 à 11h50	435	34	100.0	45.4	14.5	10.6	0.7	14.5	10.6	0.7
2004-93	20/09 à 04h00 - 20/09 à 09h50	350	33	100.0	32.6	8.3	6.3	0.8	8.3	6.3	0.8
2004-94	20/09 à 23h35 - 21/09 à 06h15	400	33	84.8	29.0	9.0	8.4	0.9	10.6	8.1	0.8
2004-95	22/09 à 00h50 - 22/09 à 05h15	265	33	48.5	24.7	3.4	6.6	1.9	7.1	8.0	1.1
2004-96	23/09 à 01h45 - 23/09 à 09h10	445	33	84.8	51.3	16.9	16.9	1.0	19.9	16.6	0.8
2004-97	25/09 à 23h20 - 26/09 à 07h50	510	33	97.0	47.6	23.2	11.5	0.5	23.9	10.9	0.5
2004-98	30/09 à 00h35 - 30/09 à 07h15	400	33	97.0	58.3	16.5	14.2	0.9	17.0	14.1	0.8
2004-99	01/10 à 04h10 - 01/10 à 07h25	195	33	81.8	13.1	2.6	3.3	1.2	3.2	3.4	1.0
2004-100	04/10 à 05h50 - 04/10 à 09h00	190	33	51.5	41.8	3.4	8.0	2.3	6.7	10.3	1.5
2004-101	04/10 à 18h30 - 05/10 à 01h30	420	33	78.8	14.9	3.3	3.4	1.0	4.1	3.3	0.8
2004-102	01/11 à 18h35 - 02/11 à 00h25	350	34	61.8	69.8	10.9	15.9	1.5	17.7	17.0	1.0
2004-103	02/11 à 15h00 - 02/11 à 21h55	415	34	52.9	86.3	8.9	17.2	1.9	16.9	20.7	1.2
2004-104	03/11 à 01h40 - 03/11 à 04h55	195	34	38.2	38.7	3.2	8.8	2.8	8.3	12.9	1.6

*Suite à la page suivante*

TAB. 6: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2004-105	12/11 à 14h00 - 12/11 à 18h00	240	34	41.2	26.1	3.6	6.8	1.9	8.8	8.4	1.0

TAB. 7: Paramètres statistiques des 104 événements de la saison 2005.

N° Evt	date début - date fin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2005-1	19/02 à 20h25 - 20/02 à 06h45	620	32	96.9	31.2	11.1	7.5	0.7	11.4	7.3	0.6
2005-2	06/03 à 22h45 - 07/03 à 06h00	435	32	96.9	86.5	25.6	20.8	0.8	26.5	20.6	0.8
2005-3	14/03 à 12h50 - 14/03 à 15h45	175	32	40.6	40.2	2.7	7.5	2.7	6.7	10.8	1.6
2005-4	14/03 à 23h35 - 15/03 à 03h25	230	32	46.9	33.2	4.1	8.2	2.0	8.8	10.2	1.2
2005-5	22/03 à 22h05 - 23/03 à 05h00	415	32	53.1	25.5	4.9	8.1	1.7	9.2	9.2	1.0
2005-6	24/03 à 16h50 - 24/03 à 20h35	225	32	37.5	18.5	1.6	3.7	2.4	4.2	5.1	1.2
2005-7	16/04 à 21h35 - 17/04 à 00h25	170	36	50.0	50.0	9.3	15.2	1.6	18.7	17.2	0.9
2005-8	17/04 à 16h20 - 18/04 à 00h40	500	36	50.0	38.2	4.8	9.5	2.0	9.5	11.7	1.2
2005-9	19/04 à 14h00 - 19/04 à 22h40	520	36	94.4	81.0	22.8	20.4	0.9	24.1	20.2	0.8
2005-10	20/04 à 00h55 - 20/04 à 07h05	370	36	72.2	27.0	5.8	7.1	1.2	8.1	7.2	0.9
2005-11	24/04 à 03h10 - 24/04 à 07h40	270	36	80.6	29.7	6.3	6.8	1.1	7.8	6.7	0.9
2005-12	28/04 à 21h15 - 29/04 à 09h35	740	36	94.4	65.5	14.4	15.9	1.1	15.2	16.0	1.0
2005-13	04/05 à 16h30 - 05/05 à 03h00	630	36	86.1	78.8	10.8	17.4	1.6	12.5	18.2	1.5
2005-14	05/05 à 16h30 - 05/05 à 22h55	385	36	50.0	45.7	6.1	10.6	1.7	12.2	12.3	1.0
2005-15	08/05 à 07h25 - 08/05 à 11h10	225	34	55.9	28.4	4.3	6.0	1.4	7.7	6.2	0.8
2005-16	10/05 à 16h45 - 10/05 à 18h45	120	33	36.4	11.5	1.9	3.3	1.8	5.2	3.6	0.7
2005-17	16/05 à 18h15 - 16/05 à 22h20	245	34	52.9	16.7	2.9	4.9	1.7	5.5	5.5	1.0
2005-18	18/05 à 19h50 - 18/05 à 22h20	150	34	58.8	30.7	5.4	7.8	1.4	9.1	8.3	0.9
2005-19	21/05 à 18h40 - 21/05 à 23h40	300	36	88.9	45.5	15.0	13.7	0.9	16.9	13.4	0.8
2005-20	22/05 à 21h35 - 23/05 à 01h10	215	36	38.9	23.6	2.1	5.1	2.4	5.4	7.1	1.3

*Suite à la page suivante*

TAB. 7: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2005-21	30/05 à 08h20 - 31/05 à 00h35	975	36	94.4	55.0	22.6	14.1	0.6	23.9	13.4	0.6
2005-22	31/05 à 15h30 - 31/05 à 17h25	115	36	30.6	9.3	1.1	2.1	2.0	3.5	2.5	0.7
2005-23	02/06 à 17h30 - 02/06 à 20h30	180	36	38.9	13.4	1.6	3.4	2.1	4.1	4.4	1.1
2005-24	03/06 à 15h15 - 03/06 à 19h10	235	36	30.6	24.4	2.2	5.2	2.4	7.1	7.4	1.1
2005-25	04/06 à 13h35 - 04/06 à 20h50	435	34	88.2	49.3	21.9	14.5	0.7	24.8	12.8	0.5
2005-26	07/06 à 20h00 - 08/06 à 00h15	255	34	52.9	30.4	4.5	7.5	1.7	8.5	8.5	1.0
2005-27	11/06 à 04h20 - 11/06 à 11h15	415	34	94.1	42.9	17.7	12.2	0.7	18.9	11.7	0.6
2005-28	11/06 à 23h10 - 12/06 à 03h00	230	34	41.2	13.5	2.1	3.6	1.7	5.2	3.9	0.7
2005-29	15/06 à 00h50 - 15/06 à 06h05	315	34	50.0	22.0	2.2	5.3	2.4	4.4	7.0	1.6
2005-30	15/06 à 15h45 - 15/06 à 21h50	365	34	55.9	31.9	7.2	9.9	1.4	13.0	10.1	0.8
2005-31	16/06 à 01h55 - 16/06 à 06h50	295	34	91.2	43.5	9.3	9.9	1.1	10.2	9.9	1.0
2005-32	17/06 à 15h00 - 18/06 à 02h10	670	32	96.9	65.5	22.2	15.8	0.7	22.9	15.5	0.7
2005-33	19/06 à 16h15 - 20/06 à 01h20	545	32	96.9	67.3	17.3	19.9	1.2	17.8	20.0	1.1
2005-34	20/06 à 14h10 - 20/06 à 19h15	305	32	46.9	28.5	3.5	7.2	2.1	7.4	9.1	1.2
2005-35	21/06 à 19h40 - 21/06 à 22h35	175	33	60.6	20.2	5.0	5.9	1.2	8.2	5.6	0.7
2005-36	22/06 à 17h15 - 22/06 à 20h25	190	33	48.5	27.6	4.9	8.0	1.6	10.2	8.9	0.9
2005-37	26/06 à 01h45 - 26/06 à 10h05	500	34	82.4	65.8	10.2	13.9	1.4	12.3	14.4	1.2
2005-38	27/06 à 03h40 - 27/06 à 08h15	275	34	70.6	8.6	2.2	2.6	1.2	3.1	2.6	0.8
2005-39	30/06 à 17h50 - 30/06 à 20h30	160	35	37.1	25.2	2.2	5.0	2.3	5.8	6.9	1.2
2005-40	02/07 à 13h20 - 03/07 à 06h25	1025	35	97.1	94.0	28.5	21.5	0.8	29.3	21.2	0.7
2005-41	05/07 à 07h25 - 05/07 à 13h30	365	35	88.6	73.2	13.9	16.4	1.2	15.7	16.7	1.1

*Suite à la page suivante*

TAB. 7: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2005-42	09/07 à 16h20 - 09/07 à 21h45	325	35	77.1	69.3	12.0	17.0	1.4	15.5	18.0	1.2
2005-43	10/07 à 13h10 - 10/07 à 16h00	170	35	34.3	25.9	2.4	6.2	2.6	6.9	9.2	1.3
2005-44	12/07 à 22h00 - 13/07 à 12h35	875	32	93.8	80.0	50.7	43.2	0.9	54.1	42.5	0.8
2005-45	13/07 à 14h40 - 14/07 à 04h15	815	33	84.8	72.1	22.7	21.2	0.9	26.8	20.4	0.8
2005-46	15/07 à 23h40 - 16/07 à 07h55	495	36	52.8	01.8	7.2	18.7	2.6	13.7	24.2	1.8
2005-47	16/07 à 17h45 - 17/07 à 05h15	690	36	100.0	57.3	20.8	13.6	0.7	20.8	13.6	0.7
2005-48	17/07 à 13h55 - 17/07 à 18h30	275	36	50.0	30.3	2.1	5.4	2.5	4.3	7.1	1.7
2005-49	18/07 à 18h15 - 19/07 à 00h05	350	36	50.0	67.9	8.2	15.2	1.9	16.4	18.3	1.1
2005-50	19/07 à 15h45 - 20/07 à 08h00	975	36	100.0	53.1	23.6	13.4	0.6	23.6	13.4	0.6
2005-51	20/07 à 15h45 - 20/07 à 20h20	275	36	69.4	21.4	3.3	4.8	1.4	4.8	5.1	1.1
2005-52	21/07 à 00h30 - 21/07 à 07h10	400	36	91.7	57.9	16.0	13.9	0.9	17.5	13.6	0.8
2005-53	24/07 à 17h05 - 25/07 à 03h05	600	36	100.0	91.8	23.0	19.6	0.9	23.0	19.6	0.9
2005-54	26/07 à 11h50 - 26/07 à 15h10	200	36	33.3	7.9	0.9	1.8	2.1	2.7	2.4	0.9
2005-55	26/07 à 23h20 - 27/07 à 03h55	275	36	41.7	24.7	2.5	6.0	2.4	5.9	8.2	1.4
2005-56	28/07 à 00h55 - 28/07 à 09h25	510	36	94.4	64.5	16.9	18.0	1.1	17.9	18.1	1.0
2005-57	29/07 à 18h30 - 30/07 à 04h35	605	36	63.9	33.9	6.4	9.1	1.4	10.1	9.7	1.0
2005-58	30/07 à 11h55 - 30/07 à 16h35	280	36	41.7	43.5	3.9	9.3	2.4	9.3	12.8	1.4
2005-59	01/08 à 15h00 - 01/08 à 20h00	300	36	50.0	64.2	7.7	14.8	1.9	15.4	18.0	1.2
2005-60	06/08 à 16h50 - 07/08 à 02h00	550	34	97.1	81.9	16.7	22.8	1.4	17.2	22.9	1.3
2005-61	07/08 à 16h55 - 07/08 à 21h10	255	36	38.9	25.8	2.6	5.4	2.1	6.7	7.0	1.0
2005-62	08/08 à 05h50 - 08/08 à 08h10	140	36	36.1	17.6	2.1	4.3	2.0	5.9	5.5	0.9

*Suite à la page suivante*

TAB. 7: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2005-63	08/08 à 14h45 - 08/08 à 20h05	320	36	38.9	43.0	3.9	8.7	2.3	9.9	11.8	1.2
2005-64	08/08 à 20h55 - 09/08 à 02h50	355	36	33.3	45.8	5.1	24.3	4.8	15.3	41.4	2.7
2005-65	09/08 à 17h05 - 09/08 à 22h50	345	36	47.2	56.6	8.9	16.8	1.9	18.8	20.5	1.1
2005-66	10/08 à 02h40 - 10/08 à 11h10	510	34	52.9	43.1	3.2	8.8	2.8	6.0	11.5	1.9
2005-67	11/08 à 14h40 - 11/08 à 16h55	135	34	32.4	32.1	1.4	5.6	3.9	4.4	9.4	2.1
2005-68	13/08 à 15h45 - 13/08 à 20h25	280	36	47.2	25.6	4.1	7.7	1.9	8.7	9.4	1.1
2005-69	14/08 à 16h30 - 14/08 à 21h50	320	36	41.7	48.7	5.8	10.9	1.9	13.9	13.2	1.0
2005-70	15/08 à 23h35 - 16/08 à 16h35	1020	36	97.2	47.9	12.2	11.1	0.9	12.6	11.1	0.9
2005-71	17/08 à 11h30 - 17/08 à 19h35	485	36	77.8	11.0	1.9	2.7	1.4	2.5	2.8	1.1
2005-72	20/08 à 12h35 - 20/08 à 20h20	465	36	88.9	60.1	13.7	15.9	1.2	15.4	16.1	1.0
2005-73	20/08 à 20h50 - 21/08 à 01h40	290	36	63.9	17.8	2.3	3.5	1.5	3.6	3.9	1.1
2005-74	23/08 à 07h15 - 23/08 à 13h40	385	34	88.2	39.3	13.3	9.9	0.8	15.0	9.2	0.6
2005-75	28/08 à 17h05 - 28/08 à 23h10	365	36	100.0	67.1	26.7	14.5	0.5	26.7	14.5	0.5
2005-76	29/08 à 01h40 - 29/08 à 05h50	250	36	91.7	11.4	2.8	2.9	1.1	3.0	2.9	1.0
2005-77	29/08 à 08h35 - 29/08 à 17h20	525	35	91.4	14.5	2.9	3.1	1.1	3.2	3.1	1.0
2005-78	01/09 à 09h20 - 01/09 à 22h05	765	34	100.0	60.1	23.0	12.6	0.5	23.0	12.6	0.5
2005-79	04/09 à 11h10 - 04/09 à 23h50	760	34	91.2	45.0	13.5	13.3	1.0	14.8	13.2	0.9
2005-80	05/09 à 02h10 - 05/09 à 05h20	190	34	55.9	23.7	3.5	6.0	1.7	6.3	6.9	1.1
2005-81	05/09 à 13h50 - 05/09 à 17h30	220	34	44.1	30.7	3.7	6.5	1.7	8.4	7.5	0.9
2005-82	08/09 à 02h25 - 08/09 à 09h45	440	34	97.1	39.8	16.6	11.1	0.7	17.1	10.9	0.6
2005-83	13/09 à 20h05 - 14/09 à 00h00	235	34	82.4	24.6	6.6	6.3	1.0	8.0	6.0	0.8

*Suite à la page suivante*

TAB. 7: suite

N° Evt	datedébut - datefin	Durée (min)	NStF	P (%)	Max.	Moy ncd	Ect ncd	Cv ncd	Moy cd0	Ect cd0	Cv cd0
2005-84	15/09 à 01h40 - 15/09 à 07h10	330	34	97.1	29.9	9.6	8.4	0.9	9.9	8.3	0.8
2005-85	20/09 à 06h35 - 20/09 à 12h15	340	33	97.0	19.0	7.8	5.5	0.7	8.1	5.4	0.7
2005-86	21/09 à 03h20 - 21/09 à 11h25	485	33	97.0	95.6	30.9	20.0	0.6	31.8	19.5	0.6
2005-87	23/09 à 01h20 - 23/09 à 05h55	275	34	88.2	33.5	5.4	6.7	1.2	6.1	6.8	1.1
2005-88	24/09 à 03h20 - 24/09 à 13h10	590	34	100.0	54.1	25.7	13.2	0.5	25.7	13.2	0.5
2005-89	24/09 à 13h40 - 24/09 à 20h30	410	34	97.1	32.8	6.0	7.1	1.2	6.1	7.1	1.2
2005-90	26/09 à 03h45 - 26/09 à 07h55	250	34	38.2	19.3	2.6	5.5	2.1	6.8	7.3	1.1
2005-91	26/09 à 16h25 - 26/09 à 22h25	360	33	63.6	26.9	4.4	7.8	1.8	6.9	9.0	1.3
2005-92	26/09 à 23h55 - 27/09 à 05h30	335	34	67.6	24.9	6.4	8.3	1.3	9.5	8.6	0.9
2005-93	27/09 à 20h00 - 28/09 à 02h40	400	34	85.3	21.8	4.9	5.0	1.0	5.8	4.9	0.8
2005-94	28/09 à 17h45 - 28/09 à 20h10	145	34	35.3	15.0	1.4	3.1	2.2	4.0	4.3	1.1
2005-95	01/10 à 07h00 - 01/10 à 10h10	190	36	30.6	10.1	1.3	2.8	2.2	4.1	3.9	0.9
2005-96	03/10 à 12h00 - 03/10 à 18h30	390	36	50.0	52.0	4.4	11.3	2.6	8.8	14.9	1.7
2005-97	03/10 à 19h05 - 04/10 à 03h20	495	36	88.9	67.3	17.5	13.7	0.8	19.7	13.0	0.7
2005-98	05/10 à 03h25 - 05/10 à 08h50	325	36	86.1	33.0	13.5	8.9	0.7	15.7	7.6	0.5
2005-99	06/10 à 14h50 - 06/10 à 20h35	345	35	94.3	53.1	22.1	11.8	0.5	23.4	10.7	0.5
2005-100	08/10 à 23h35 - 09/10 à 06h00	385	35	82.9	27.9	10.8	8.5	0.8	13.0	7.6	0.6
2005-101	09/10 à 23h25 - 10/10 à 04h40	315	35	88.6	51.4	13.8	13.0	0.9	15.6	12.8	0.8
2005-102	11/10 à 01h30 - 11/10 à 06h40	310	35	74.3	20.9	3.8	4.4	1.1	5.2	4.4	0.9
2005-103	16/10 à 02h05 - 16/10 à 05h55	230	35	65.7	22.9	4.8	5.4	1.1	7.3	5.1	0.7
2005-104	21/10 à 16h35 - 21/10 à 20h20	225	36	52.8	26.7	4.4	8.1	1.8	8.3	9.6	1.2