

STRUCTURE STOCHASTIQUE DES PLUIES INTENSES PAR TYPE DE TEMPS

N. MAMASSIS et D. KOUTSOYIANNIS

Division de Ressources en Eau, de Travaux Hydrauliques et Portuaires,
Département de Génie Civil, Université Technique Nationale d'Athènes,

5, rue Iroon Polytechniou, 15700 Zografou, Grèce

Sommaire:

On étudie l'influence du type de temps sur la structure stochastique des événements de pluie intense. On utilise des données de pluie horaire de trois pluviographes du bassin de Evinos alors que les types de temps correspondants sont déterminés sur la base de la classification selon Maheras (1982). Tout d'abord, on a calculé la fréquence d'apparition des événements de pluie intense pour chaque type de temps. Ensuite, on a estimé les paramètres statistiques des caractéristiques de l'événement pluvieux (durée, hauteur horaire et totale, intensité moyenne) y inclus l'autocorrélation et la corrélation croisée des hauteurs horaires. Afin de détecter des différences significatives entre les caractéristiques de l'événement pluvieux pour différents types

Summary:

We studied the influence of weather types on the stochastic structure of the intense rainfall events. We used hourly rainfall depths from three rain recorders in Evinos River basin while the corresponding weather types were determined based on classification by Maheras (1982). Initially, we calculated the frequency of occurrence of intense rainfall events for each weather type. Also, we calculated the statistics of the rainfall event characteristics (duration, the hourly and the total rainfall depth), including the autocorrelation and cross correlation functions of hourly depths. To detect statistically significant differences between event characteristics for different weather types, we applied various statistical tests and analysis of variance.

Mots-clés: Types de temps; événement de pluie; analyse stochastique.

Key-words: Weather types; rainfall event; stochastic analysis.

Introduction

Le processus naturel de la pluie et son évolution spatio-temporelle a rarement fait l'objet de recherches sur la situation synoptique qui est à l'origine du phénomène. Le groupement ou classification des situations de temps similaires ont été effectués pour peu de cités et de climats. Les classifications des types de temps, employées dans le passé dans les études de la pluie, se distinguent en deux catégories selon la codification de la situation synoptique faite sur la base de données météorologiques et des cartes de temps.

Dans la première catégorie de classification on localise sur les cartes, le schéma météorologique qui a engendré la pluie comme, par exemple, le passage d'un front, la présence d'un secteur chaud ou l'apparition d'une instabilité thermique et autres phénomènes météorologiques locaux, la forme desquels varie selon le climat. Dans cette

catégorie on trouve la classifications de Shaw (1962) en Angleterre et celle de Huff (1969) aux Etats Unis qui a examiné la variation spatio-temporelle de la pluie journalière pour chaque type de temps. Dans les deux cas, des données météorologiques et des cartes du surface ont été utilisées. Une classification assez satisfaisante a été introduite par McCabe (1989). Elle est basée sur la combinaison de trois intervalles de valeurs de la direction du vent et de deux catégories de nébulosité. Les six types de temps qu'il a localisés, ont été utilisés par Hay et al. (1992) dans la classification, modélisation et simulation de la pluie journalière sur un bassin versant des Etats-Unis. Enfin, Wilson et al. (1991) ont classifié chaque jour dans une classe de temps sur la base de la pression en surface et la température au niveau de 850 mb. Cette classification a été utilisée par la suite dans une simulation de la pluie journalière sur l'Océan Pacifique du Nord.

Dans la deuxième catégorie, la classification se fait sur la base de la circulation atmosphérique dans la région géographique étudiée. On utilise la direction des trajectoires des dépressions, et la forme des isobares à des niveaux différents. Cette classification requiert une expérience importante sur les cartes des temps et elle est faite, le plus souvent, par les météorologues. Les deux classification des types de circulation qui ont été faites en Europe tombent dans cette catégorie (Banz et al., 1944; Shuepp, 1968). Bardosy et Plate (1992) ont employé la première classification pour modéliser la pluie journalière alors que la deuxième a été employée par Vander Gried et Seyhan (1984) pour étudier le débit journalier d'un bassin versant de montagne en Italie.

Dans le présent travail nous avons utilisé la classification proposée par Maheras (1982) qui appartient à la deuxième catégorie et elle classe la circulation atmosphérique en Méditerranée en cinq type anticycloniques (A1, A2, A3, A4, A5), six dépressionnaires (SW1, SW2, NW1, NW2, W1, W2), deux mixtes (MT1, MT2) et trois caractéristiques (DES, MB, DOR). Les types anticycloniques sont déterminés sur la base de la position du centre d'action, les dépressionnaires à partir du trajectoire de la dépression, les mixtes à partir de la direction des isobares et les caractéristiques sur la base de situations synoptiques particulières en surface et au niveau de 500 mb. La fréquence d'apparition ainsi que les caractéristiques de chaque type de temps varient selon la saison. En examinant les caractéristiques des différents types de temps on déduit que les événements de pluie intense sont liés aux six types dépressionnaires et au type DOR sans que l'apparition sporadique de pluies intenses soit exclue pour les autres types. Maheras et Flocas (1985) ont étudié la distribution de la pluie journalière en Grèce sur la base de cette classification.

Le présent travail fait une analyse statistique suivant le type de temps, les caractéristiques des événements de pluie intense et leur variabilité spatio-temporelle sur un pas de temps d'une heure. Dans le chapitre 2 nous présentons les données alors que dans le chapitre 3 on calcule les fréquences d'apparition de pluies intense pour chaque type de temps et on analyse les caractéristiques principales des événements de pluie spatiale on ponctuelle. De plus, on évalue les résultats à l'aide de tests statistiques et une analyse de variances. Dans la chapitre 4 on compare les résultats de notre travail avec ceux d'autres travaux et enfin on présente les conclusions dans le chapitre 5.

1. Les données

Les événements de pluie intense ont été localisés sur les bandes de trois pluviographes du bassin versant de la rivière Evinos en Grèce d'Ouest (Krikello, Aniada, Drimonas), pour une période de 20 années hydrologiques (1970-71 à 1989-90). Les stations se trouvent respectivement aux altitudes 1120, 1060 et 900 m et leur distance est assez faible (7 km pour les deux premiers). Drimonas se situe au sud-ouest de deux autres pluviographes dans une distance de 20 km.

Les données sont fiables malgré les interruptions de fonctionnement en période de chute de neige. Pour localiser les événements de pluie intense on a utilisé deux seuils: le premier pour la hauteur totale (25 mm) et le deuxième pour la hauteur horaire (7 mm). Pour la pluie spatiale, l'événement est intense si les seuils ci-dessus sont dépassés pour (au moins) une station. Pour la pluie spatiale on a extrait 358 événements et pour la pluie ponctuelle (à Krikello) 293. On distingue deux saisons: la saison humide (Octobre-Avril) et la saison sèche (Mai-Septembre) selon la définition de Maheras (1989). La détermination du type de temps pour chaque événement a été effectuée sur la base des travaux de Maheras (1993). Pour la classification de certains événements on a utilisé de cartes de temps (en surface et aux 500 mb) publiées par les services météorologiques nationaux de la Grèce (pour la période 1970-79) et de l'Allemagne (pour la période 1980-90).

2. Analyse statistique des caractéristiques des événements de pluie

2.1 Fréquences d'apparition de types de temps et de pluies intenses

Nous avons calculé pour les deux saisons de l'année la fréquence d'apparition de chaque type de temps et de chaque événement ainsi que la probabilité de réalisation d'un événement pour chaque type. Les résultats sont les suivants:

- (a) En période humide les deux tiers des événements de pluie intense sont liés aux types NW1 et SW1 alors que la fréquence de l'apparition de ces deux types est 28%. De plus, 91.4% des pluies intenses sont liées aux types dépressionnaires dont la fréquence est 45.9%.
- (b) En saison sèche un événement sur trois est lié au type DOR dont la fréquence d'apparition est 11.5%. Les types dépressionnaires avec une fréquence de 24.5% ont donné le reste des événements.
- (c) Pour toute saison et surtout pour la saison sèche, il y a des événements intenses qui ne sont pas engendrés par des types de temps pluvieux mais ils sont plutôt dus à des instabilités locales. Ces pluies n'apparaissent que sur une seule station et elles ont une durée très courte.

Les données de chacune des saisons peuvent se grouper en quatre types de temps, avec une probabilité d'apparition différente pour chaque catégorie. Sur Le Tableau 1 on présente l'intervalle de variation et la moyenne de cette probabilité pour chaque saison.

Tableau 1: Probabilité d'apparition de pluies intenses par groupe de type de temps.

Groupe	Saison humide		Saison sèche	
	Type de temps	Probabilité moyenne (%)	Type de temps	Probabilité moyenne (%)
A (probabilité >15%)	W1, W2, NW1, SW1	19.1	W2, NW1, DOR	17.9
B (probabilité 8-15%)	SW2, NW2	10.8	SW1, SW2	9.1
C (probabilité 2-8%)	MT2, DOR	3.9	W1, NW2, MT1, DES, MB	4.4
D (probabilité <2%)	A1, A2, A3, A4, A5, MT1, DES, MB	0.8	A1, A2, A3, A4, A5, MT2	1.1

Par la suite, on a testé si la fréquence d'apparition d'un événement est différente d'un type de temps à l'autre. L'hypothèse que la fréquence d'apparition d'un événement pour un type de temps donné ne varie pas selon la saison, n'est pas acceptée pour aucun des niveaux usuels de signification (jusqu'à 1%). On conclue alors que la saison influe sur la probabilité d'apparition d'un événement de pluie intense engendré par un type de temps donné.

Les figures 1a et 1b présentent la probabilité d'apparition de pluies pour les types de temps testés.

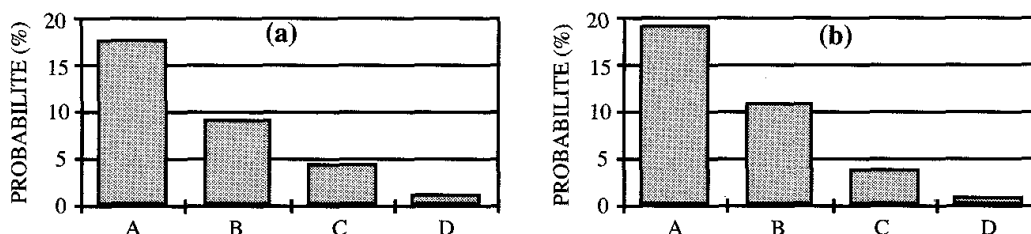


Figure 1: Probabilité d'apparition d'une pluie intense par groupe de type de temps (a) Saison humide (A: W1, W2, NW1, SW1; B: SW2, NW2; C: MT2, DOR; D: A1-A5, MT1, DES, MB) (b) Groupes de saison sèche (A: WZ, NW1, DOR; B: SW1, SW2; C: W1, NW2, MT1, DES, MB; D: A1-A5, MT2).

2.2 Caractéristiques d'un événement de pluie intense par type de temps

L'analyse a été effectuée pour chaque saison, séparément. Les événements ont été classifiés selon le type de temps et ensuite on a calculé les caractéristiques de l'événement pluvieux qui sont la durée, la hauteur totale, la hauteur horaire et l'intensité moyenne de l'événement pluvieux. De plus, pour les hauteurs horaires on a

calculé le coefficient d'autocorrélation au pas 1. Plus particulièrement, pour la saison sèche, le nombre réduit des événements les similarités entre les caractéristiques de la pluie par type de temps et la similarité des situations météorologiques entre les types de temps nous a conduits à grouper les types des temps en quatre catégories. La première comprend les types d'ouest W1 et W2 et les types de sud-ouest SW1 et SW2. La deuxième catégorie comprend les types de nord-ouest (NW1, NW2) et la troisième le type DOR. La quatrième catégorie comprend tous les autres types. Les analyses ont été faites à la fois sur la pluie spatiale et la pluie ponctuelle (à la station de Krikello). La durée d'un événement de pluie spatiale correspond au temps écoulé entre le tout premier début de la pluie à toutes les stations et sa cessation à toutes les stations. Pour les hauteurs de pluie spatiale (totale et horaire) on a tout simplement considéré la moyenne sur les trois stations. L'intensité moyenne s'obtient par la hauteur totale divisée par la durée de l'événement.

Les tableaux 2 et 3 montrent respectivement pour la pluie ponctuelle et la pluie spatiale, les moyennes et les écarts-type des caractéristiques des événements de pluie par type de temps et par saison de l'année. La figure 2 présente, pour la saison humide, les moyennes des durées, des hauteurs totales et des intensités moyennes ainsi que les coefficients d'autocorrélation des hauteurs horaires au pas 1. Les mêmes caractéristiques sont présentées sur la figure 3 pour la saison sèche.

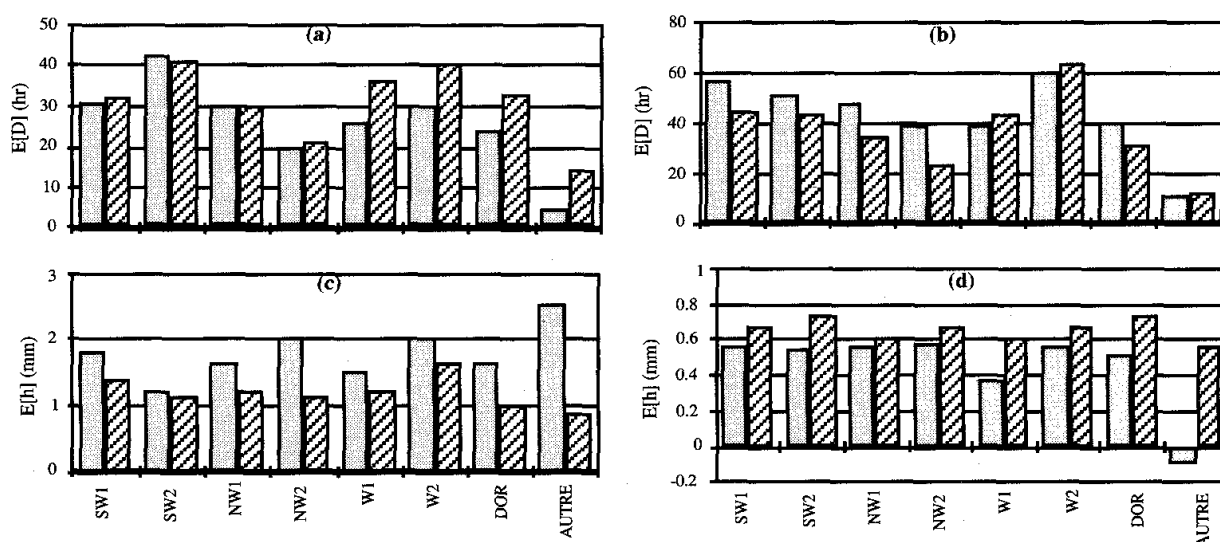


Figure 2: Caractéristiques d'événements de pluie intense pour la saison humide, par type de temps sur une base ponctuelle (couleur claire) et spatiale (couleur sombre): (a) durée moyenne, (b) hauteur totale moyenne, (c) intensité moyenne, et (d) coefficient d'autocorrélation au pas 1.

Les tableaux 2 et 3 ainsi que les Figures 2 et 3 nous permettent de noter que

- Les échantillons de toutes les caractéristiques de l'événement de pluie ponctuelle et surtout la hauteur horaire ont une variance importante.
- Les types de temps groupés comme "autres" pour les deux saisons ne sont pas caractérisés par des phénomènes météorologiques qui justifient la réalisation

d'une pluie intense. Il s'agit de cinq types anticycloniques (A1-A5), le type sans pluie MB et les types mixtes MT1 et MT2. Le dernier type peut provoquer de la pluie en saison humide mais il a été classifié avec les autres à cause du nombre réduit d'événements disponibles. De manière générale, l'apparition d'un événement de pluie lié à un de ces types, est due à l'instabilité de l'atmosphère. Comme on peut le voir sur les tableaux 2 et 3 ces événements ont une durée et une hauteur totale très faibles.

Tableau 2: Paramètres statistiques des caractéristiques des événements de pluie ponctuelle.

Type de temps	Durée (hr)		Hauteur totale (mm)		Intensité moyenne (mm/hr)		Hauteur horaire (mm)		
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	r_1^{**}
SAISON HUMIDE									
SW1	30.7	20.0	56.1	44.6	2.1	1.3	1.8	2.6	0.55
SW2	42.6	17.8	51.5	17.4	1.4	0.6	1.2	1.9	0.54
NW1	29.5	16.9	48.1	30.5	2.1	1.5	1.6	2.2	0.55
NW2	19.4	9.7	39.0	19.8	2.2	0.9	2.0	2.6	0.58
W1	25.4	14.7	39.2	28.1	1.6	0.5	1.5	2.0	0.38
W2	30.3	21.6	60.7	46.2	3.3	3.9	2.0	3.5	0.56
DOR*	24.0		39.5		1.7		1.6		0.52
AUTRES*	4.3		10.9		3.2		2.5		-0.11
SAISON SECHE									
SW1, SW2, W1, W2	12.7	11.8	25.0	12.1	4.0	3.9	2.0	3.7	0.44
NW1, NW2	8.2	6.6	29.8	22.4	5.0	3.5	3.6	6.1	0.20
DOR	5.8	3.0	18.4	9.6	3.6	1.6	3.2	5.5	-0.03
AUTRES	4.3	5.2	14.7	6.3	5.8	3.9	3.4	4.9	0.01

* Pour ces types on donne seulement la moyenne à cause du nombre d'événements très faible .

** Coefficient d'autocorrélation au pas 1.

- (c) En saison humide les différences les pluies importantes entre les types de temps sont liées à la durée des événements. Le type NW2 engendre des événements d'une durée plutôt petite alors que pour SW2 la durée est plus grande (Fig. 2a). De plus, le type W2 a les plus grandes hauteurs totales et intensités moyennes les plus élevées (Fig. 2b et 2c).
- (d) Pendant la saison sèche les différences entre les types des temps sont plus grandes pour toutes les caractéristiques. Les types dépressionnaires ont la plus grande hauteur totale et intensité (Fig. 3a et 3b). L'intensité moyenne importante

des types NW1, NW2 et des "autres" types sont aussi à noter (Fig. 3c).

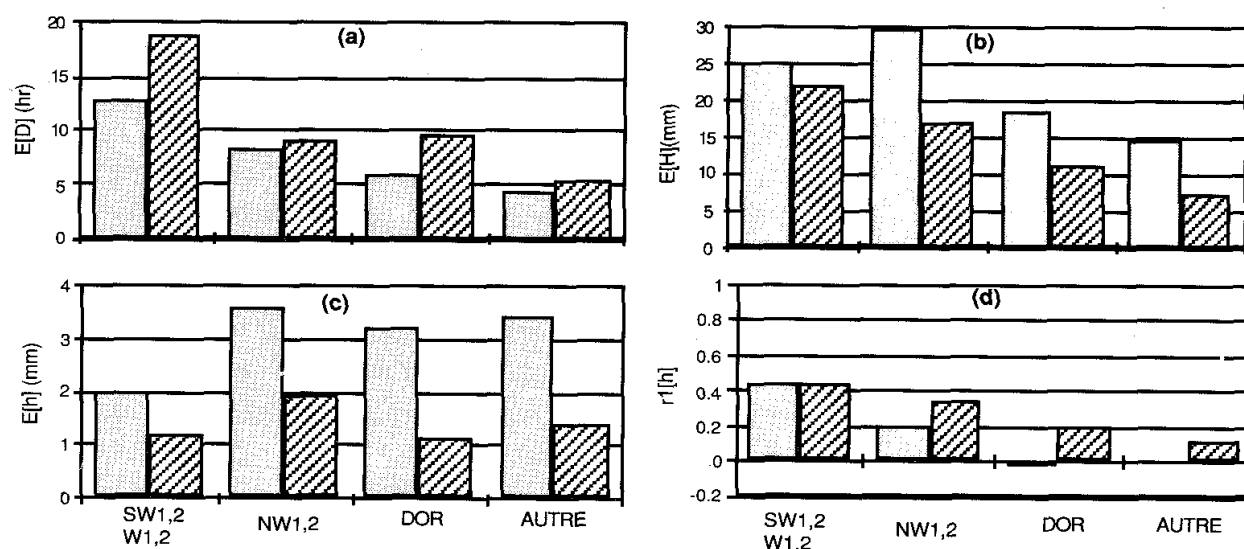


Figure 3: Caractéristiques d'événements de pluie intense pour la saison sèche, par type de temps sur une base ponctuelle (couleur claire) et spatiale (couleur sombre): (a) durée moyenne, (b) hauteur totale moyenne, (c) intensité moyenne, et (d) coefficient d'autocorrélation au pas 1.

Tableau 3: Paramètres statistiques des caractéristiques des événements de pluie spatiale.

Type de temps	Durée (hr)		Hauteur totale (mm)		Intensité moyenne (mm/hr)		Hauteur horaire (mm)		
	Moyenne	Ecarttype	Moyenne	Ecarttype	Moyenne	Ecarttype	Moyenne	Ecarttype	r_1^{**}
SAISON HUMIDE									
SW1	31.9	20.1	45.0	38.9	1.4	0.7	1.4	1.8	0.67
SW2	40.8	24.2	43.5	25.4	1.2	0.6	1.1	1.3	0.73
NW1	29.8	14.9	34.8	21.9	1.4	1.0	1.2	1.6	0.62
NW2	20.7	11.7	23.4	17.1	1.4	1.0	1.1	1.6	0.67
W1	36.3	22.2	44.1	47.2	1.2	0.5	1.2	1.5	0.61
W2	40.2	20.4	63.0	45.9	1.7	0.9	1.6	2.5	0.67
DOR	32.8	14.6	31.6	23.3	0.9	0.4	1.0	1.6	0.73
AUTRE	14.1	13.6	12.0	8.9	1.1	0.5	0.9	1.0	0.56
SAISON SECHE									
SW1, SW2, W1	18.9	13.2	21.9	14.0	1.5	0.9	1.2	1.8	0.44
NW1, NW2	9.0	7.8	17.1	18.0	2.3	1.3	1.9	3.0	0.34
DOR	9.7	6.1	10.8	6.8	1.3	0.8	1.1	2.1	0.20
AUTRE	5.3	3.9	7.3	5.1	1.8	1.2	1.4	1.9	0.11

** Coefficient d'autocorrélation au pas 1.

L'autocorrélation des hauteurs horaires est très élevée pour tous les types de la saison humide par rapport à ceux de la saison sèche où elle devient pratiquement nulle. Dans tous les cas les types dépressionnaires en saison sèche ont l'autocorrélation la plus élevée ce qui signifie que ces types gardent une structure "hivernale" (Fig. 3d).

Afin de tester la différence des paramètres statistiques entre les différents types de temps, on a employé le test de Cruskal-Wallis, qui teste essentiellement si deux ou plusieurs échantillons proviennent de la même population. Ce choix a été dicté par le fait que ce test est non paramétrique et il ne fait aucune hypothèse sur la répartition des variables testées. Tout d'abord, on a testé si les caractéristiques d'événement de pluie (durée, hauteur totale, intensité moyenne) appartiennent à la même population et ceci séparément pour les deux saisons et types de variable (pluie spatiale ou ponctuelle). L'analyse a mis en évidence de différences qui sont statistiquement significatives dans les points suivants:

- (a) Les types NW2 de la saison humide engendrent des événements avec une durée et une hauteur totale faibles.
- (b) De même pour les "autres" types de la saison humide (A1-A5, MT1, MT2, DIES, MB)
- (c) Le type W2 de la saison humide engendrent les événements avec la durée et hauteur totale les plus importantes.
- (d) Les durées d'événements des quatre catégories de types de temps de la saison sèche sont significativement différentes l'une de l'autre.
- (e) Les hauteurs totales des types dépressionnaires de la saison sèche sont plus grandes que celles de DOR et des "autres" types.
- (f) Les intensités moyennes des groupes de NW1 et NW2 et des "autres" types sont plus grandes que celles des autres groupes.

2.3. Analyse de variances

On a effectué une analyse de variances afin d'évaluer la variance expliquée par l'introduction du facteur "type de temps". Le Tableau 4 qui suit montre le pourcentage de variance expliqué par les types de temps pour chaque caractéristique de l'événement pluvieux.

Tableau 4: Pourcentage de variance expliquée par les types de temps.

	SAISON HUMIDE		SAISON SECHE	
	PLUIE PONCTUELLE	PLUIE SPATIALE	PLUIE PONCTUELLE	PLUIE SPATIALE
DUREE	7%	11%	18%	28%
HAUTEUR TOTALE	3%	10%	18%	22%
INTENSITE MOYENNE	7%	4%	8%	9%
HAUTEUR HORAIRE	1%	1%	2%	2%

Le tableau ci-dessus montre que l'introduction du type de temps explique un pourcentage significatif de la variance des caractéristiques de l'événement pluvieux pour la saison sèche. Ceci n'est toutefois plus valable pour la saison humide.

2.4. Structure de corrélation des hauteurs de pluie horaire

Pour tout type de temps on a calculé les coefficients de corrélation croisée des hauteurs de pluie horaire des différentes stations à des pas qui varient de -5 à $+5$. On a aussi calculé les cinq premiers coefficients d'autocorrélation de la pluie spatiale. Les figures 2a et 4c montrent les coefficients de corrélation croisée pour deux types (SW2 et DOR) de la saison humide et les figures 4b et 4d les autocorrélations respectives. Les mêmes paramètres pour la station sèche sont donnés par les figures 5a à 5d. Une analyse plus étendue est donnée ailleurs (Mamassis, 1993).

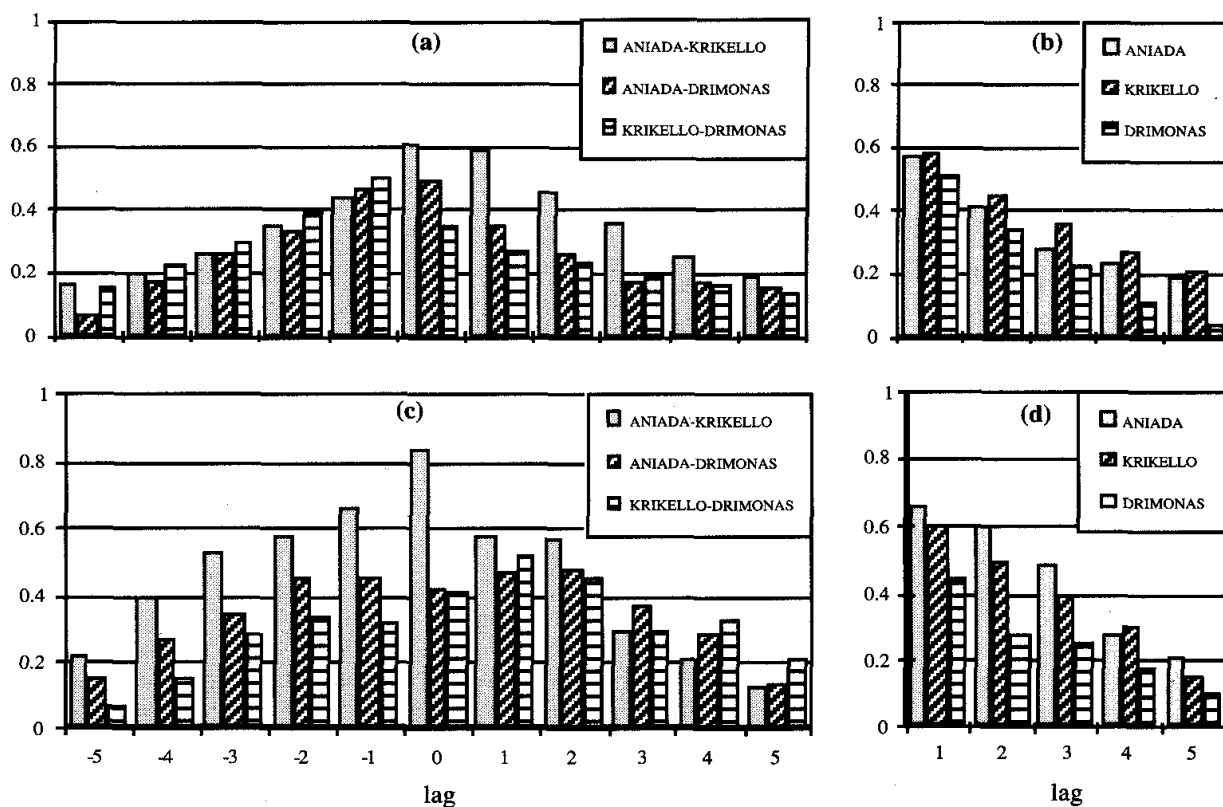


Figure 4: Coefficients de corrélation croisée ((a) et (c)) et d'autocorrélation ((b) et (d)): pour les types SW2 ((a) et (b)) et DOR ((c) et (d)) pour la saison humide.

L'analyse ci-dessus nous permet aussi de noter que:

- (a) Les coefficients de corrélation (croisée et d'autocorrélation) sont bien plus importants pour la saison humide que pour la saison sèche. Ceci est dû à la forte variabilité spatio-temporelle de la hauteur de pluie en été à cause des instabilités atmosphériques qui caractérisent les jours de pluie de cette saison.
- (b) Pour la saison humide il n'y a pas de différences significatives entre les types de

temps et dans tous les cas les coefficients calculés étaient statistiquement significatives. Les "autres" types qui comprennent des événements avec instabilités forment une exception.

- (c) Les deux types dépressionnaires de la saison sèche montrent des corrélations importantes qui justifient notre résultat des analyses précédentes qui ont mis en évidence le caractère "hivernal" de ces types. Les figures 5a et 5b donnent les résultats pour SW2 et les figures 5c et 5d pour DOR.

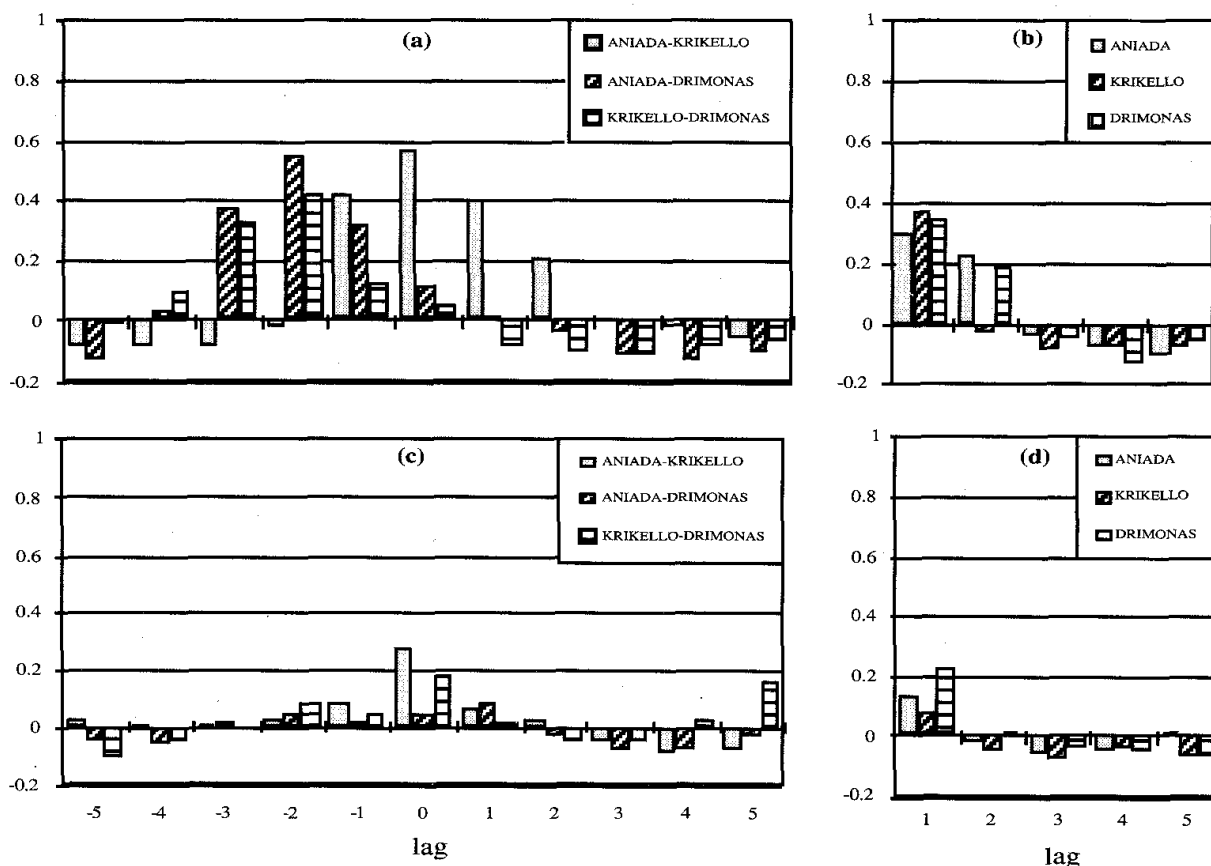


Figure 5: Coefficients de corrélation croisée ((a) et (c)) et d'autocorrélation ((b) et (d)): pour les types SW2 ((a) et (b)) et DOR ((c) et (d)) pour la saison sèche.

- (d) Les corrélations croisées sont plus fortes entre les stations de Krikello et Aniada ce qui est dû à leur faible distance. Le pic du corrélogramme croisé apparaît au pas 0 ce qui signifie qu'il y a un synchronisme dans le processus de la pluie sur les trois stations. Parfois sur la station de Drimonas la pluie vient avant les deux autres stations (pic au pas -1).

3. Comparaison avec d'autres travaux

Maheras dans son papier (1982) introduisant les types de temps, a étudié beaucoup de variables - météorologiques sur la région de Thessalonique et il a corrélé les paramètres de ces variables avec le type de temps. Il a, entre autres, calculé la hau-

teur moyenne et la durée moyenne de la pluie journalière pour chaque type de temps. Les résultats de ce travail sont très proches de ceux du nôtre, bien qu'ici on s'est limité aux événements de pluie intense dans une région bien différente de la sienne. Plus précisément les résultats similaires sont les suivants:

- (a) Le type NW2 de la saison humide présente une hauteur totale et une durée d'événement faibles.
- (b) L'inverse est valable pour W2.
- (c) Les types MB, DES, A1, de la saison sèche engendrent des orages.
- (d) Pour ce qui est la durée des événements de la saison sèche les résultats sont similaires pour tout type.

Dans un deuxième travail, Maheras (1985) a calculé la fréquence d'apparition de pluie en saison sèche, sur la base de 13 stations de Grèce en faisant une classification selon le type de temps des jours de pluie où la pluie dépassait 5.5 mm sur deux stations au moins. Il avait trouvé que le type DOR correspondait à 58% des événements alors que le reste est dû à un des types dépressionnaires. Dans notre travail, le type DOR donne 34% des événements, les types dépressionnaires 34% et les autres types 32%. La différence est dû au fait que Maheras, dans la sélection des événements, a mis un seuil de 5.5 mm sur deux stations alors que ce critère n'est satisfait pour aucun des "autres" types (32%) que nous avons étudiés car ces types correspondent à des orages locaux.

Sur la base de résultats de l'analyse statistique de la pluie ponctuelle nous avons calibré un modèle à facteurs d'échelle à l'aide duquel on a généré des séries synthétiques de pluie horaire (Mamassis et Koutsoyiannis, 1993). Ce modèle, proposé par Koutsoyiannis et Foufoula (1993), est basé sur l'idée que, pour un site et une saison donnés, les pluies intenses ont des similitudes dans leur structure interne indépendamment de leur durée et hauteur totale. Le modèle est basé sur l'observation que la hauteur totale et la hauteur horaire de l'événement pluvieux dépendent de la durée. Afin de déterminer les pourcentages de variance de la hauteur totale et de l'intensité moyenne qui sont expliqués par la durée, nous avons effectué une analyse de variances en considérant différents classes de durée d'événement. L'analyse a montré que pour la pluie spatiale la durée de l'événement explique 47% et 41% de la variance de la hauteur totale respectivement pour la saison humide et la saison sèche, alors que pour l'intensité moyenne ces pourcentages deviennent 6% et 18% pour les deux saisons. On constate que ces pourcentage sont bien plus grands (doubles) que ceux expliqués par l'introduction du type de temps.

Conclusions

1. On a constaté des différences statistiquement significatives entre les types de temps en ce qui concerne la probabilité d'apparition d'un événement de pluie intense.
2. Pour ce qui est de la structure stochastique interne de l'événement de pluie, il existe des différences significatives entre les deux saisons (humide et sèche), indépendamment du type de temps. Ces différences sont bien plus grandes que

celles dues au type de temps.

3. Les échantillons des caractéristiques de l'événement pluvieux, et surtout la hauteur horaire, présentent une variabilité importante pour tout type de temps et pour toute saison.
4. Les types de temps de la saison humide ne diffèrent pas significativement dans les caractéristiques de l'événement pluvieux sauf pour la durée de l'événement pluvieux et deux types de temps (NW2 et SW2).
5. Les types de temps de la saison sèche diffèrent dans toutes les caractéristiques des événements pluvieux. La première catégorie de types dépressionnaires est caractérisée par des durées et hauteurs totales importantes et la deuxième par des intensités moyennes importantes. Les autres catégories ont des durées et hauteurs totales faibles.
6. Les types de temps de la saison humide présentent des corrélations croisées et des autocorrélations des hauteurs horaires bien plus importantes que les types de la saison sèche à l'exception des types dépressionnaires de la saison sèche dont l'image est intermédiaire entre les deux saisons.
7. L'introduction du type de temps explique un pourcentage significatif de la variance de la durée et de la hauteur totale pour la saison sèche (respectivement 28% et 22%) alors que pour la saison humide ce pourcentage est faible (11% et 10%). Pour l'intensité moyenne et surtout pour la hauteur horaire, le pourcentage de variance expliquée est négligeable.
8. La classification des événements selon leur durée conduit à des pourcentages de variance expliquée qui sont les doubles que ceux présentés ci-dessus (pour la hauteur totale et l'intensité moyenne).

Remerciements

La plus grande partie de ce travail a été effectuée dans le cadre du programme AFORISM qui est financé par les Communautés Européennes, DG XII (EPOC-CT90-0023) et coordonné par le professeur E. Todini. Les auteurs remercient chaleureusement le professeur P. Maheras qui a mis à leur disposition son calendrier de types de temps sans lequel ce travail n'aurait pas été possible. Il nous a aussi aidés dans des problèmes de météorologie. Nous remercions aussi Dr I. Nalbantis pour son aide précieuse, ainsi que le département de données hydrologiques de l'Entreprise Publique d'Electricité pour la fourniture des données.

Références

- BARDOSSY, A. and PLATE, E., 1992: Space time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns, *Water Resour. Res.*, 28(5), 1247-1259.
- BAUR, F., HESS, P. and NAGEL, H., 1944: *Kalender der Grosswetterlagen Europas 1881-1939*, DWD, Bad Homburg, Germany.
- HAY, L., Mc CABE, G., WOLOCK, D. and AYERS, M., 1992: Simulation of precipitation by weather type analysis, *Water Resour. Res.*, 27(4), 493-501.

- HUFF, F., 1969: Climatological assessment of natural precipitation characteristics for use in weather modification, *J. Appl. Meteor.*, 8, 401-410.
- KOUTSOYIANNIS, D. and FOUFOULA, E., 1993: A scaling model of storm hyetograph, *Water Resour. Res.*, 29(7), 2345-2361.
- Mc CABE, G., 1989: A conceptual weather-type classification procedure for the Philadelphia, Pennsylvania area, *U. S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep.*, 89-4183.
- MAMASSIS, N., 1993: *Rapport intermédiaire d'une thèse de doctorat*, Athènes (en grec).
- MAMASSIS, N. and KOUTSOYIANNIS, D., 1993: An attempt for stochastic forecasting of rainfall (using weather types and the scaling model), *Presentation at 4th meeting of the AFORISM project*.
- MAHERAS, P., 1982: *Situation synoptique et analyse multidimensionnelle du temps à Thessalonique*, Monographie, n° 15, Publ. Lab. Climat, Univers. d'Athènes.
- MAHERAS, P. and FLOCAS, A., 1985: Synoptic conditions and geographic distribution of daily rainfall during the warm period, *Proceedings of the 3rd Hellenic-British climatological congress*, Athens.
- MAHERAS, P., 1989: Delimitation of the Summer-Dry Period in Greece According to the Frequency of Weather Types, *Theor. Appl. Climatol.* 39, 171-176.
- MAHERAS, P., 1993 *Calendrier de types de temps*, Thessalonique (inédit).
- SCHUEPP, M., 1968: Kalender der Wetter und Witterungslagen von 1955 bis 1967, *Veroffntl. Schweiz. Meteorol. Zentralanst.*, 11, 43p.
- SHAW, E., 1962: An analysis of the origins of precipitation in Northern England, 1956-1960, *Quart. J. R. Soc.*, 539-547.
- VAN DE GRIED, A. AND SEYHAN, E., 1984: Statistical analysis of weather-type runoff phenomena in an alpine environment, *J. Hydrol.*, 70, 51-69.
- WILSON, L., LETTENMAIER, D. AND WOOD, E., 1991: Simulation of daily precipitation in the Pacific Northwest using a weather type classification scheme, *Surveys in Geophysics*, 12(1-3), 127-142.