

PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES DANS LE SUD DE L'EUROPE

M. DESBORDES¹, J.M. MASSON¹

RÉSUMÉ

L'Europe du Sud est fréquemment le siège de précipitations « monstrueuses », génératrices, localement, de dégâts importants, en particulier lorsqu'elles se produisent dans des secteurs habités.

L'évaluation des probabilités d'occurrence des hauteurs de pluie tombées lors de ces précipitations, à partir de séries d'observations ponctuelles, manque, en général, de fiabilité. Pour l'améliorer, certains introduisent la notion d'« *outliers* », ou, en français, d'« horsains ».

En se fondant sur une similitude des mécanismes générateurs de ces précipitations, il est également possible de procéder à leur étude régionale, en vue d'améliorer l'estimation de leur probabilité d'apparition dans un secteur donné. De même, le recours à l'analyse historique des archives disponibles peut conduire à l'amélioration de cette estimation.

Les considérations ci-dessus sont illustrées, en particulier, par l'étude du site de Nîmes, victime de fortes inondations en octobre 1988.

¹ Laboratoire d'Hydrologie et de Modélisation, Université Montpellier II.

INTRODUCTION

Les régions méditerranéennes de l'Europe du Sud sont fréquemment le siège de précipitations intenses dont certaines donnent lieu à de véritables catastrophes lorsque les ruissellements qu'elles engendrent, qu'ils soient superficiels ou concentrés par des voies naturelles ou artificielles d'écoulement, traversent des secteurs habités.

Ainsi le 3 octobre 1988, la ville de Nîmes, en France, a-t-elle été très gravement endommagée lors d'une précipitation ayant atteint 250 à 350 mm, et plus, en 6 heures. Les dégâts résultant de l'événement ont été évalués à 6 milliards de francs.

De tels phénomènes sont également considérés, par les responsables locaux de l'aménagement du territoire, comme « exceptionnels », et relevant du concept de « catastrophe naturelle ». L'examen statistique classique des séries d'observation locales, généralement de courtes durées, dès lors que l'on s'intéresse à des bases de temps de l'ordre de quelques heures, confirme la rareté de ces phénomènes en leur attribuant des périodes de retour très importantes (plusieurs centaines d'années bien souvent) n'incitant pas à les prendre en considération dans les projets d'aménagement de l'espace, et en particulier dans les programmes d'urbanisation.

En réalité, l'étude du nombre d'apparitions de ces précipitations dans une région donnée montre qu'elles sont relativement fréquentes. De même, l'analyse historique des archives disponibles aboutit-elle à la même conclusion.

L'étude historique et régionale des pluies supposées localement exceptionnelles est donc nécessaire dès l'instant qu'il convient d'intégrer le « risque pluvial » dans un projet d'aménagement. Un tel risque est précisément caractéristique de certaines régions méditerranéennes comme le sont, en d'autres lieux, les risques sismiques, volcaniques, d'avalanches ou de glissements de terrain.

SPÉCIFICITÉS GÉOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES DES RÉGIONS MÉDITERRANÉENNES

Le bassin méditerranéen présente dans les régions du sud de l'Europe des structures géographiques semblables. Proches de la mer, s'élèvent des massifs montagneux importants (Sierras en Espagne, Pyrénées, Massif Central et Alpes en France, Appenins en Italie, Oros en Grèce) faisant obstacles aux flux d'air chaud et humide de sud-ouest et de sud-est.

Durant l'été les massifs montagneux peuvent produire d'importants systèmes convectifs donnant lieu à de puissants orages, souvent de courte durée. Lorsque ces phénomènes éclatent près de la mer, ils peuvent être alimentés par de l'air

humide (advection) et produire des hauteurs de pluie élevées. De tels phénomènes ont en général une extension limitée, atteignant rarement quelques centaines de km².

De même, les conditions météorologiques propres à l'Europe peuvent conduire en automne et, localement, en hiver, à des structures pluvieuses intenses de longue durée et pouvant couvrir plusieurs milliers de km². Ces structures résultent de la rencontre d'un front chaud et d'un front froid quasi-stationnaires, le front chaud étant associé à un flux d'air chaud et humide venant du sud. Les précipitations intenses et soutenues peuvent alors durer plusieurs jours, conduisant à des crues très importantes. Ainsi, pour des bassins versants naturels ou ruraux de moins de 100 km², à forte pente, très nombreux le long du littoral de la Méditerranée, peut-on observer des débits spécifiques dépassant les 20 m³/s par km².

Si la période d'apparition de ces phénomènes présente une forte composante déterministe, leur localisation semble, par contre, relativement aléatoire, ce qui leur confère un caractère dangereux en terme d'aménagement de l'espace. Jusqu'à ce jour, aucune étude de synthèse à l'échelle des régions méditerranéennes de l'Europe n'a tenté d'identifier des caractéristiques géographiques et météorologiques autorisant la délimitation de secteurs pouvant être plus particulièrement exposés à de tels phénomènes.

QUELQUES CARACTÉRISTIQUES DES PRÉCIPITATIONS INTENSES EN EUROPE DU SUD

Les informations données ci-dessous ne concernent que l'Espagne, la France et l'Italie. Des situations comparables peuvent être rencontrées dans d'autres secteurs du bassin méditerranéen, même si elles sont gouvernées par des conditions météorologiques ou saisonnières différentes.

ESPAGNE

Selon ELIAS-CASTILLO et RUIZ-BELTRAN (1979), la plus grande partie de la côte méditerranéenne espagnole connaît des intensités de précipitation beaucoup plus élevées que dans le reste du pays. A titre d'exemple, les hauteurs de pluie en 12 heures, de période de retour 50 ans, atteignent sur cette côte 150 à 200 mm alors qu'elles sont de l'ordre de 50 à 80 mm dans les autres régions espagnoles.

Cependant, quelques secteurs de la côte échappent à cette règle en raison de conditions orographiques locales (régions d'Almería et de Murcia par exemple).

Dans les zones fortement urbanisées, les précipitations intenses engendrent des dégâts de plus en plus fréquents et importants, nécessitant des mesures de protection très coûteuses (comme à Barcelone par exemple).

FRANCE

La situation est comparable à celle de l'Espagne. La façade méditerranéenne, des Pyrénées aux Alpes, connaît des intensités de précipitation qui, à équivalence de probabilité d'apparition, sont de 2 à 3 fois plus fortes que dans le centre et le nord du pays.

Les maxima observés sur des durées de 1 h à 24 h ont lieu de septembre à novembre, avec des records atteignant 70 à 100 mm/h sur des durées de 1 h à 4 h : 190 mm en 2 h, 312 mm en 3 h, 356 mm en 4 h. Le maximum en 24 heures aurait été de 840 mm, lors de la crue de la Têt, dans les Pyrénées Orientales, en 1940. En réalité, ces valeurs constituent des bornes inférieures des maxima en raison de la faible densité des réseaux de pluviographes, au regard de la taille moyenne des cellules des pluies extrêmes.

ITALIE

La situation italienne est sans nul doute plus complexe que les situations espagnoles et françaises en raison des influences combinées de la Méditerranée et de l'Adriatique, et de l'omniprésence des chaînes de montagnes, des Alpes aux Appenins.

Diverses études régionales témoignent de cette complexité. Dans le nord de l'Italie, selon ANSELMO *et al.* (1989), les versants montagneux exposés au sud (régions de Ligurie et du Frioul) ont des intensités deux à trois fois plus fortes que les plaines abritées des influences maritimes. Les hauteurs de pluie de période de retour 50 ans, sur des durées de 12 heures peuvent atteindre 200 à 300 mm sur les versants les plus exposés, alors qu'elles sont de l'ordre de 100 mm dans la plaine du Pô.

Dans le sud de l'Italie, et en particulier en Calabre, les précipitations extrêmes peuvent donner lieu à des inondations catastrophiques. CALOIERO et MERCURI (1980) ont ainsi étudié ces phénomènes sur la période 1921-1970. Durant l'épisode du 16 au 18 octobre 1951, par exemple, les hauteurs de pluie auraient atteint 1400 mm, l'isohyète 400 mm étant de l'ordre de 3000 km². Cependant, comme dans le nord, des flux maritimes créent des hétérogénéités climatiques spatiales. Ainsi, en Calabre, les hauteurs de pluie cinquantennales en 12 heures varient de 100 à 250 mm.

COMPARAISON ENTRE LES RÉGIONS DU NORD ET DU SUD DE L'EUROPE

Le tableau 1 ci-après, résume pour des périodes de retour de 10 et 50 ans, et des durées de 30 minutes à 12 heures, les observations réalisées dans quelques villes ou régions de l'Europe du nord et du sud. Les intensités dans cette dernière région sont de 2 à 3 fois plus élevées que dans la première.

Ces informations ont des conséquences immédiates en terme d'aménagement de l'espace et en particulier d'urbanisation : les investissements pour une protection contre un risque d'occurrence donnée seront, toutes proportions gardées, beaucoup plus importantes dans le sud que dans le nord. Ainsi, en matière d'assainissement pluvial urbain banal, le surcoût peut atteindre 30 à 50 % (indépendamment des secteurs présentant un risque pluvial caractérisé).

Tableau 1
Hauteurs de pluie dans le nord et le sud de l'Europe

	T = 10 ans		T = 50 ans	
	0,5 h	1 h	1 h	12 h
U.K. (synthèse)	10/20	15/25	25/35	55/110
Germany (N.O.)	13,5	22		
Germany (S.O.)	25	35		
Stockholm	21,5	29		
Lisboa	23,5	31		
Paris	24	31	47	70
Montpellier	41	55	75	175
Madrid	18	22	30	55
Barcelone	44	52	70	130
Valenzia	50	67	97	185
Firenze	31	35	46	95
Milano	40	49		150
Genova	54	78	110/120	250
Liguria Friouli			79/90	200/300
Galabria		35/60	45/80	110/250
Split (Yougoslavie)	38	53	80	

PROBABILITÉ D'OCCURRENCE DES PLUIES EXTRÊMES

En un point donné d'observation des précipitations, le qualificatif « extrême » caractérise un événement très peu fréquent. Dans l'analyse des dégâts qu'il peut provoquer, les juristes parlent parfois de « force majeure », impliquant l'imprévisibilité, parce que jamais observé, de mémoire d'homme. Des discussions faisant jurisprudence, concernent cependant l'extension spatiale du terme « jamais ». Les événements extrêmes étant, par définition rares, on conçoit que leur traitement statistique puisse soulever quelques problèmes, même s'il existe à leur sujet de multiples réflexions théoriques, mettant en oeuvre des modèles abstraits, dont les structures peuvent être éloignées de la réalité stochastique mal connue de ces événements.

Les séries d'observation ponctuelles sont généralement trop courtes pour autoriser une estimation fiable des probabilités d'occurrence de ces événements. Diverses approches sont utilisées pour améliorer cette estimation. Elles sont illustrées, ci-après, par exemple de la station météorologique de Nîmes.

ANALYSE STATISTIQUE DES SÉRIES PONCTUELLES

Lorsque l'on s'intéresse à des précipitations tombées sur des durées inférieures à 24 heures, on dispose rarement d'observations couvrant des périodes de plus de 50 ans. En outre, pour les stations présentant des séries plus longues, ces dernières ont souvent été l'objet de perturbations diverses (changements du type de capteur, d'enregistrement, de dépouillement, dans l'environnement du capteur, etc.). De plus, même sur des surfaces limitées, la variabilité spatiale des précipitations montre le manque de fiabilité de l'estimation de la probabilité d'occurrence d'une hauteur de pluie tombée sur une durée donnée, au sein d'un événement particulier. Le tableau 2, issue des observations réalisées à Nîmes le 3 octobre 1988, illustre le propos. Aux 3 points d'observation de l'agglomération, distants de quelques kilomètres, les écarts de précipitation sur des durées de 3 à 8 heures ont varié, au moins, de 60 % (M. DESBORDES *et al.*, 1989).

Tableau 2
Hauteurs de pluie à Nîmes le 3 octobre 1988

	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h
Courbessac	~ 80	≥ 110	160	190		230		260
Kennedy		95	135	175	215	260	295	310
Mas de Ponge		> 200				350		> 420

Un traitement statistique classique de la série de référence de Nîmes-Courbessac montre ainsi des écarts considérables dans l'estimation des périodes de retour des hauteurs de pluie tombées sur diverses durées et en divers lieux au cours de l'événement, comme en témoigne le tableau 3. Ce tableau montre également des écarts significatifs selon que l'on retient la série complète 1946-1988 (mais peu fiables pour des durées inférieures à 6 heures) ou la série partielle 1964-1988. Il montre enfin, en particulier pour les pluies en 6 heures, que le modèle de distribution ajusté à l'échantillon conduit à des variations très élevées en un même lieu de l'estimation des périodes de retour. Dans le cas présent, c'est le modèle dit de « valeurs extrêmes » (ou de Gumbel) qui fournit les ajustements les plus médiocres mais aussi les périodes de retour les plus élevées.

Si l'on procède à une approche « hydrologique » des précipitations extrêmes sur le site nîmois, c'est-à-dire à une étude du risque d'inondation par ruissellement pluvial du site, on doit s'intéresser à des pluies sur des durées « critiques » pour le système hydrologique de l'ordre de 2 à 6 heures (saturation des sols des bassins versants périurbains). Sur ces durées, l'analyse statistique classique conduirait à une estimation de la période de retour de l'événement de l'ordre de 150 à 250 ans.

Tableau 3
Périodes de retour des hauteurs maximales de pluie de Nîmes
le 3 octobre 1988

Dt	Période	Courbessac	Kennedy	Mas de Ponge
1 h	64/88	56		26
	46/88	119		50
2 h	64/88	77		
	46/88	118		
3 h	64/88	100		550
	46/88	143		870
6 h	64/88	126	210	400/880
	46/88 (a)	500	1700	> 5000
	46/88 (b)	180	300	550/1200
	46/88 (c)	200	350	700/2000

(a) Gumbel ; (b) Jenkinson ; (c) Log-normale, 3 paramètres

Cependant, toujours pour la pluie en 6 heures, l'événement du 3 octobre 1988 a donné lieu à Nîmes-Courbessac, à une hauteur 1,7 fois plus élevée que la plus forte valeur observée au cours des 42 années précédentes. On peut donc penser qu'il s'agit là d'un événement à caractère exceptionnel, même s'il est simple de montrer que l'espérance mathématique de la plus forte valeur d'un échantillon de 43 maximums, annuels a une période de retour de 70 à 90 ans, suivant la fonction théorique de distribution ou la formule de calcul de fréquence empirique utilisées (J.M. MASSON, 1991).

S'agissant d'un événement « probablement » extrême, au regard de la série de Nîmes-Courbessac, on peut être tenté de considérer qu'il s'agit d'un « horsain » (en anglais « *outlier* »), c'est-à-dire, d'un individu n'appartenant pas à la population d'où avait été extraites les 42 valeurs maximales précédentes. La difficulté réside alors dans l'identification des horsains dans un échantillon donné. Divers auteurs ont ainsi proposé des tests de détection, généralement associés à des structures théoriques de distribution de probabilités. Au regard de ces tests, J.M. MASSON (1991) a confirmé que la pluie maximale en 6 heures du 3 octobre 1988, à Nîmes-Courbessac, a l'apparence d'un horsain sur la période de 1946-1988. L'évaluation de la probabilité d'occurrence d'un tel horsain demeure. ROSSI, FIORENTINO et VERSACE (1984) proposent, par exemple, de représenter le mélange des événements « indigènes » (ou ordinaires) et des horsains en combinant deux processus Poissoniens, l'un relatif aux événements ordinaires, l'autre aux horsains. On obtient ainsi une loi de probabilité particulière (TCEV ou Two-Component Extreme Value distribution) à 4 paramètres. Appliquant cette distribution aux précipitations maximales nîmoises en 6 heures, on peut estimer la période de retour de cette variable à 125 ans lors de l'événement du 3 octobre 1988, contre 155 ans en utilisant une loi de Jenkinson. Les périodes de retour restent cependant du même ordre de grandeur et l'on peut penser que l'introduction d'un quatrième paramètre de calage est en fait à l'origine d'une amélioration de l'ajustement statistique. Le concept demeure intéressant car il est fondé sur l'hypothèse plausible d'une différenciation des phénomènes pluvieux ou de leurs mécanismes générateurs.

D'autres chercheurs proposent, désormais, d'autres voies d'exploration des séries ponctuelles (analyse multifractale des séries pluvieuses par exemple cf. LADROY *et al.*, 1991). En réalité, ces approches ne sont pas très convaincantes, parce qu'elles restent limitées à l'analyse de signaux, sans référence significative aux mécanismes générateurs des phénomènes, et qu'elles ne prennent pas en compte, dans le cas des pluies extrêmes, faute de données disponibles, il est vrai, l'extrême variabilité simultanée de ces dernières, dans le temps et dans l'espace. Elles restent pour l'heure des exercices quelque peu académiques, sans grand intérêt pour l'hydrologie opérationnelle.

ANALYSE RÉGIONALE DES PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES

Afin de compenser le manque de fiabilité des séries ponctuelles disponibles au regard des événements dits extrêmes, on peut procéder à une étude de leur apparition dans un secteur géographique donné, climatiquement homogène. Cette notion d'homogénéité climatique est bien sûr partiellement subjective. Elle repose sur l'hypothèse que certaines caractéristiques climatiques et géographiques peuvent se reproduire dans une zone donnée, et conduire à des conséquences semblables, à savoir des précipitations « anormalement » élevées au regard des séries ponctuelles.

Ainsi, dans le Languedoc-Roussillon, une étude rapide des pluies exceptionnelles observées depuis 1940, nous avait amené à conclure que la période de retour régionale des horsains était au plus de 3 à 4 ans. Il s'agit là d'une borne inférieure d'estimation car notre étude ne concernait que les départements des Pyrénées-orientales, de l'Hérault et du Gard (M. DESBORDES *et al.*, 1989). En outre, en raison de leur taille parfois très réduite, certaines pluies extrêmes peuvent sans doute passer au travers du réseau d'observation.

Considérant que les orages horsains peuvent se produire de façon uniforme sur la plaine languedocienne, nous avons procédé à des simulations numériques afin d'évaluer la probabilité qu'une surface de 49 km² (bassin de Nîmes et ses cadereaux) soit touchée à au moins 80 % par un orage horsain. Pour se faire, nous avons formulé l'hypothèse que la surface de ce type d'événement était uniformément distribuée entre 300 et 500 km² et qu'elle était, par simplification, de forme circulaire. Dans le cas de l'orage du 3 octobre 1988 à Nîmes, les isohyètes 200 et 300 mm étaient d'allure elliptique et de surfaces 300 et 150 km² respectivement. De tels ordres de grandeur des surfaces des orages horsains sont d'ailleurs confirmés par d'autres observateurs (D. CALOIERO, T. MERCURI, 1980), (même si l'intervalle 300-500 km² est sans doute élevé pour la région Languedoc-Roussillon).

En procédant à deux simulations de 1 000 orages nous avons ainsi conclu que la période de retour d'un horsain dangereux pour le système hydrologique nîmois était comprise entre 100 et 160 ans. En réalité, la borne inférieure est plus plausible, l'hypothèse d'une distribution spatiale uniforme des horsains dans la plaine languedocienne étant certainement trop sécurisante. D'ailleurs, depuis notre étude, à la suite de la catastrophe nîmoise, nous avons recensé d'autres précipitations extrêmes dans la région (385 mm en 4 heures à Canet (Pyrénées Orientales) le 13/10/1986) et depuis cette date d'autres événements ont été signalés (Saint Cyprien (P.O) 18/11/1989 ; Narbonne 5/08/1989 ; Carcassonne 07/1992). Ainsi la période de retour régionale des horsains languedociens serait-elle plutôt de 2 à 3 ans conduisant à une période de retour « locale » de 60 à 120 ans pour un événement du type de celui de Nîmes le 3 octobre 1988.

ANALYSE HISTORIQUE

Afin de compléter les séries d'observation récentes, il peut être également fait appel aux chroniques relatant les événements « mémorables ». Certes, ce type d'information doit être considéré avec toute la prudence nécessaire en raison de la non stationnarité des désordres constatés, résultant d'aménagements particuliers (pouvant aller d'ailleurs dans le sens de leur réduction ou de leur aggravation), du caractère plus ou moins subjectif des commentaires à leur sujet (époque de prospérité ou de tension sociale), voire d'éventuelles fluctuations climatiques, chères à certains, lorsque l'on considère les périodes couvrant des centaines d'années. On notera cependant que dans les cas de risque d'inondation par ruissellement pluvial en milieu urbanisé, l'expérience montre que la croissance quelque peu anarchique de l'urbanisation au cours des 30 dernières années a donné lieu à une aggravation systématique des désordres constatés avant cette époque. On notera également, que s'agissant de phénomènes météorologiques de taille réduite, des orages, ils sont sans doute moins sensibles à d'éventuelles fluctuations climatiques que d'autres variables comme la température moyenne journalière, le nombre de jours de pluie ou de gel, etc.. Enfin, un observateur attentif noterait que l'emphase des commentaires des chroniqueurs d'il y a quelques siècles n'a rien à envier à celles des professionnels des médias d'aujourd'hui.

Les archives de Nîmes, et en particulier celles de l'Académie des Sciences, ont ainsi permis à J. PEY (1988) de recenser les événements pluvieux générateurs de désordres significatifs dans la cité depuis 1334. Depuis le 14^{ème} siècle, 5 catastrophes majeures ont eu lieu : 1399, 1403, 1557, 1868 et 1988, et 5 catastrophes secondaires : 1719, 1826, 1843, 1855 et 1915 qui, dans la Nîmes d'aujourd'hui, auraient donné lieu à des dégâts considérables même s'ils n'avaient dû concerner qu'une partie du site hydrologique nîmois. En 6 siècles d'observations, on pourrait donc en conclure que la probabilité d'apparition de désordres graves dû au ruissellement pluvial serait de l'ordre de 60 à 120 ans. L'étude historique confirme, en les aggravant, les conclusions de l'étude régionale. Nous pouvons même dire qu'en l'état actuel de l'urbanisation et des équipements de maîtrise du ruissellement pluvial, la période de retour de désordres localisés, mais sérieux, est probablement très inférieure à 60 ans.

CONCLUSION

L'illustration des pluies extrêmes dans le sud de l'Europe par l'étude du site nîmois, nous conduit à penser qu'il est illusoire d'espérer percer le secret de l'apparition de ces phénomènes par la seule analyse probabiliste d'une variable observée sur un capteur de quelques centaines de cm², en ignorant, volontaire-

ment ou non, la nature de ces phénomènes et de leurs mécanismes générateurs. Déjà, de Valence à Reggio de Calabre, les « horsains » apparaissent sur une période de quelques mois, excluant la stationnarité temporelle et, par suite, limitant la portée de nombreuses analyses probabilistes la supposant. En outre, au sein d'un événement donné, la variabilité spatiale concomitante est considérable et l'on est donc en droit de s'interroger sur la représentativité de la mesure ponctuelle des précipitations au regard des horsains pluvieux, dès lors que l'on traite d'hydrologie opérationnelle.

Nous pensons qu'une étude régionale plus précise des horsains pluvieux méditerranéens devrait autoriser l'identification de composantes déterministes à leur sujet (dans le temps et l'espace) et ainsi améliorer la fiabilité de certains traitements statistiques, comme ceux fondés sur les mélanges de fonctions de distribution. D'autres outils d'analyse, plus à la mode (comme les cascades fractales), pourraient se révéler également performants pour peu que leurs utilisateurs traitent simultanément des variabilités spatiales et temporelles, abandonnant l'idée du « tout déterministe » ou du « tout probabiliste », et tempèrent leur volonté de voir des « constantes universelles » qui ne sont peut-être que la conséquence axiomatique des hypothèses retenues et des formulations mathématiques utilisées, dont certaines, les unes comme les autres, sont sans doute très éloignées d'une réalité mal connue, qu'aucun croit d'ailleurs inaccessible.

Nous pensons également que l'observation des phénomènes et la mesure de leurs variations reste et pour longtemps encore, le moyen de faire progresser nos connaissances à leur sujet, même s'il est vrai que la science ne semble réellement avancer qu'à la faveur de véritables révolutions théoriques. Parler de la pluie derrière un écran d'ordinateur n'est, pour l'heure, pas très raisonnable.

BIBLIOGRAPHIE

ANSELMO V., *et al.*, 1989 - Spatial distribution of short duration precipitation on Northern Italy, in Proc. of International Workshop on Precipitation Measurement, pp. 347-350, ed. WMO, Genève.

CALOIERO, D., MERCURI, T., 1980 - Le alluvioni in Calabria dal 1921 al 1970, 161 p., ed. CNR, Cosenza.

DESBORDES M., *et al.*, 1989 - 3 octobre 1988 : inondations sur Nîmes et sa région, 95 p., ed. Lacour, Nîmes.

- ELIAS-CASTILLO F., RUIZ BELTRAN L., 1979 - Précipitationes maximas en Espana, 564 p., ed. Ministère de l'Agriculture, Madrid.
- LADOY PH., LOVEJOY S., SCHERTZER D., 1991 - Extreme variability of climatological data : scaling and intermittency, in Non linear variability in geophysics, pp. 241-250, ed. Klumer Academic Publishers, Pays-Bas.
- MASSON J.M., 1991 - Un problème parmi d'autres dans l'analyse des distributions des variables hydrologiques : les horsains (outliers), in Statistique Appliquée, Seminform 5, ed. Orstom.
- PEY J., 1988 - Nîmes et ses cadereaux, principales dates des crues et des inondations 1334-1988, 28 p., note Musée Archéologique de Nîmes.
- ROSSI F., FIORENTINO M., VERSACE P., 1984 - Two component extreme value distribution for flood frequency analysis., Water Resources Research, vol.20, n°7, pp. 847-856.