

PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES ET « CRUES URBAINES » À MARSEILLE (FRANCE) DE 1861 À 2007

Annick DOUGUÉDROIT

Résumé

Les précipitations extrêmes quotidiennes supérieures à 190 ou 200 mm sont exceptionnelles à Marseille : trois cas certains et un probable depuis 1861. Il s'agit toujours d'évènements dont l'extension spatiale est réduite, de type local.

Ces averses exceptionnelles provoquent ce que l'on appelle couramment des « crues éclairs » caractérisées par un ruissellement très rapide à la suite de la chute de fortes pluies (Paquier *et al.*, 2003). Leurs conséquences sur un territoire urbanisé comme la ville de Marseille ont été illustrées par la description de la situation du 19 septembre 2000, jour où plus de 200 mm sont tombés sur le centre-ville. Leur importance tient ici à la coïncidence entre une caractéristique permanente de la ville, sa topographie favorable au ruissellement rapide, le lieu de la chute des plus fortes pluies, le centre-ville, et l'heure de cette averse, celle de la pointe de circulation de la fin de l'après-midi. Le temps de réponse est ici extrêmement court, inférieur à la demi-heure, bien avant la fin de la période de forte intensité de l'averse. En ville la « crue éclair » se transforme en « crue urbaine » avec des traits spécifiques.

Mots-clés

Précipitations extrêmes, crue éclair, crue urbaine, Marseille

Abstract

Daily extreme precipitation higher than 190 or 200 mm are rare in Marseille : since 1861 three cases are sure and one is likely. All those events present a small spatial distribution of local type.

Those rare showers led to what is commonly called « flash-floods » characterized by a very quick run-off due to heavy rainfall (Paquier *et al.*, 2003). The 2000 September 19 situation when more than 200 mm have fallen downtown has allowed to display their impacts on urbanized areas like Marseille. Their importance is here explained by the place, downtown, with a regular city characteristic, the topography favourable to fast runoff, where the heaviest rainfall happened and the shower time, the afternoon time to go home. Response is very quick, less than one half-hour, much earlier than the most intense period of the shower. In cities « flash-floods » become « urban floods » with peculiar characteristics.

Keywords

Extreme precipitation, flash-flood, urban flood, Marseille

Les précipitations extrêmes représentent une des caractéristiques climatiques prépondérantes de la région méditerranéenne où elles sont particulièrement nombreuses ; c'est le cas, en particulier en automne, de la France et de l'Espagne où elles ont été tout spécialement étudiées (Riosalido 1990 ; Jacq 1996 ; Rivrain 1997 ; Neppel *et al.* 2003 ; Vinet 2003 ; Barerra *et al.* 2006). Mais certaines, particulièrement violentes, ont également affecté les pays de la rive sud de la Méditerranée, principalement la Tunisie (Benzarti *et al.*, 2004 ; Henia et Melki, 2001 ; Kassab, 1979). Elles correspondent à des chutes de pluie supérieures, selon les auteurs, à 190 ou 200 millimètres (mm) pouvant atteindre, sur une partie de la surface affectée par l'épisode pluvieux, plusieurs

centaines de mm ; le record actuellement connu en région méditerranéenne est de plus de 1000 mm dans les Pyrénées orientales françaises le 17 octobre 1940 (Rivrain, 1997). Elles peuvent être classées en deux types selon l'extension de la surface territoriale concernée, l'un régional, lorsqu'elles affectent de vastes espaces correspondant à l'équivalent d'un ou deux départements français, soit plusieurs dizaines de milliers de kilomètres carrés, l'autre local lorsqu'elles sont beaucoup plus circonscrites dans l'espace.

Les épisodes de précipitations violentes connus à Marseille appartiennent au second type. Ils sont à la fois relativement moins importants en quantité de pluie tombée et circonscrits dans l'espace. Mais la présence d'une

agglomération urbaine au sol imperméabilisé installée sur un relief varié présentant localement de fortes pentes donne naissance à ce que l'on appelle maintenant une « crue urbaine » sur le modèle de la première du genre repérée en France en 1988, celle de Nîmes (Paquier *et al.*, 2003 ; Andrieu *et al.*, 2004). Il s'agit de crue et (ou) d'inondation très rapide, au délai de réponse inférieur à la crue classique, provoquée par le ruissellement pluvial sur des bassins-versants imperméabilisés par l'urbanisation. L'écoulement se fait en surface, même avant que le réseau d'assainissement ne soit saturé.

I. DONNÉES ET MÉTHODES

A. Précipitations : données aux stations

Les données utilisées proviennent de stations pluviométriques situées sur la commune de Marseille et, accessoirement, sur les trois communes voisines d'Aubagne à l'est, Septèmes et Allauch au nord. La longue série des données quotidiennes mensuelles a été observée à la station Marseille-Obs située au Palais Longchamp depuis l'origine (source : Météo-France). Elle est disponible depuis 1861. La nécessité de travailler à des échelles

spatiale et temporelle fines pour l'étude d'un exemple de « crue urbaine », celui du 19 septembre 2000, nous a obligé à ne retenir que des stations météorologiques disposant de postes enregistreurs automatiques disposant de pas de temps disponibles inférieurs à l'heure à la différence des postes de Météo-France. L'essentiel de l'information relative aux pluies repose sur l'exploitation des mesures des capteurs automatiques de 21 postes du réseau du Service d'exploitation du réseau d'assainissement de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole répartis sur les communes de Marseille et Allauch, ayant eu un enregistrement continu de 16h30 à 23h le 19 septembre 2000 (Figure 1, Tableau 1). Ceux-ci ne sont pas installés conformément aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale, mais disposés sur des toits (entre 2m50 et 6m au-dessus du sol, d'après Missoum, 1996). Nous n'avons tenté aucune correction de leurs mesures à cause de la cohérence de la distribution spatiale obtenue. Le poste de Lonchamp (n° 10) est situé à l'Observatoire de Marseille.

Les mesures disponibles pour l'épisode du 19 septembre 2000 sont cumulées toutes les 6 minutes entre 16h30, heure locale, à laquelle l'épisode pluvieux a commencé, et 23h.

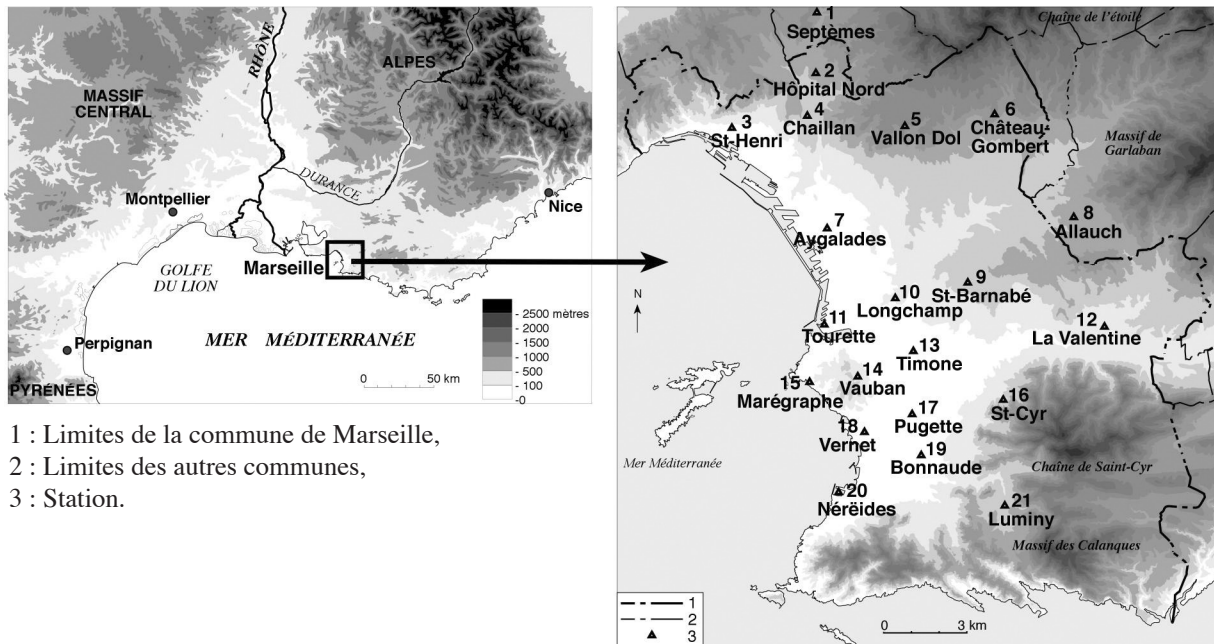


Figure 1. Localisation de la commune de Marseille et des stations pluviométriques

Tableau 1. Localisation (n°) et altitude en mètres (alt.) des stations

	Nom	alt.	n°	Nom	alt.	n°	Nom	alt.
1	Septèmes	235	8	Allauch	190	15	Marégraphe	13
2	Hôpital Nord	176	9	St Barnabé	135	16	Saint Cyr	156
3	Saint Henri	41	10	Longchamp	78	17	Pugette	17
4	Chaillan	112	11	Tourette	8	18	Vernet	7
5	Vallon Dol	270	12	La Valentine	72	19	Bonnaude	30
6	Château-Gombert	245	13	Timone	60	20	Nereïdes	6
7	Aygalades	20	14	Vauban	96	21	Luminy	180

Des propositions de répartition spatiale des pluies à différents pas de temps ont été réalisées par krigeage (logiciel SURFER) et superposées à un fond de relief préexistant.

B. Situation météorologique du 19/09/2000 : un système convectif à méso-échelle

Les caractéristiques de la circulation atmosphérique, sur laquelle nous n'allons pas insister, ont été extraits du Bulletin Météorologique de la semaine correspondante (Météo-France, 2000a). Ils présentent l'après-midi du 19 septembre 2000 certains traits considérés comme typiques de la présence d'un système convectif à méso-échelle associé à des précipitations extrêmes (Rivrain, 1997).

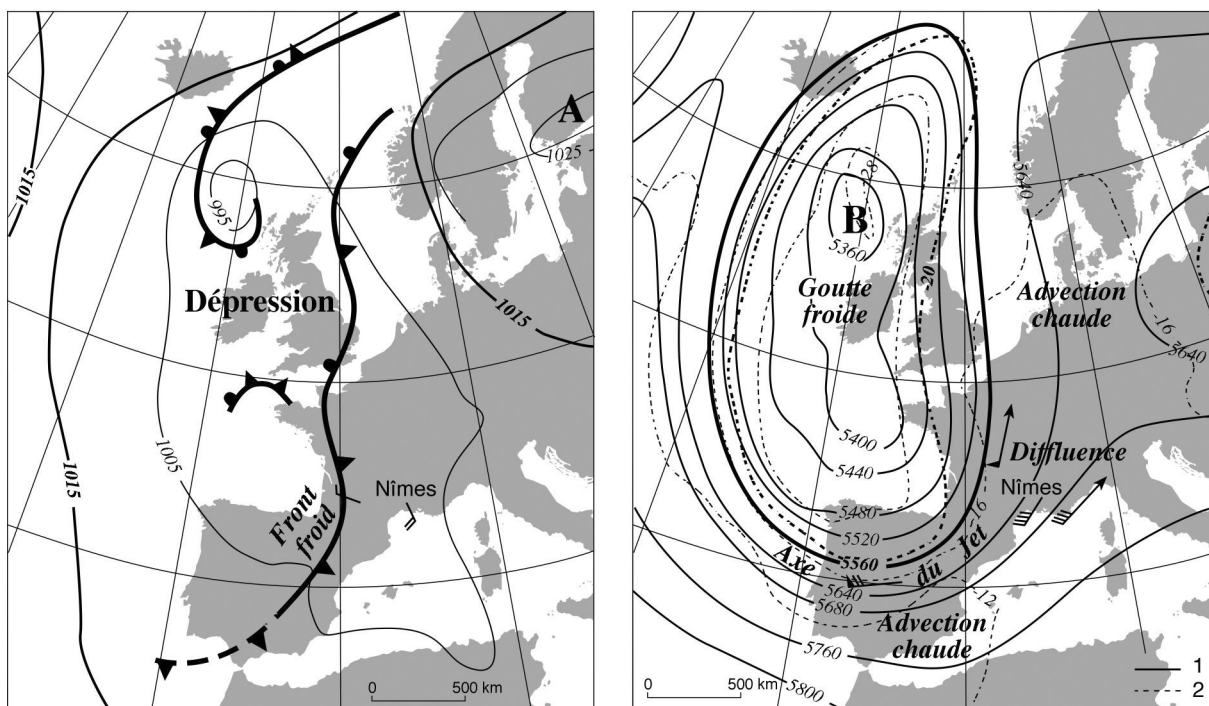
Le 19 à 12h UTC (14h heure locale) la région est située au niveau 500hPa sous le flanc oriental d'une goutte froide de direction méridienne placée dans une profonde ondulation du jet-stream centrée sur le proche Atlantique et l'ouest de la France et caractérisée au sol, au-dessus du sud-ouest de la France, par un front froid qui se dirige vers l'est et va passer au-dessus de Marseille dans l'après-midi (Figure 2, d'après Météo-France, 2000a). Cette situation typiquement pluvigène dans la région est marquée également par quelques particularités considérées comme des indicateurs de la présence d'un système convectif à méso-échelle qui sont soulignées sur la figure 2 (Maddox, 1980 ; Riosalido, 1990 ; Rivrain, 1997). On peut ainsi remarquer la puissance de la différence de température entre l'advection chaude venue

d'Afrique du Nord et l'air froid, 10 degrés centigrades en altitude entre la côte cantabrique et le sud-est de la France et plus au sol au niveau de la France. En même temps se manifestent en altitude à Nîmes un cisaillement vertical du vent de direction sud-est au sol et sud-ouest en altitude ainsi qu'une diffluence des flux méridien du jet-stream favorable au développement de la cyclogénèse alors qu'apparaît au sol une esquisse de mouvement cyclonique sur le tracé de l'isobare 1005 hPa. Le canal infra-rouge des images satellites de 16 et 18h UTC montrent une organisation des pluies dans un ensemble en forme de V, signature probante de la présence d'un système convectif à méso-échelle toujours associé à de très fortes pluies (Météo-France, 2000b).

II. LES PRÉCIPITATIONS QUOTIDIENNES EXTRÊMES À MARSEILLE

A. Au pas de temps quotidien : Marseille-Obs de 1861 à 2007

Entre 1861 et 2007 la quantité maximale quotidienne tombée à Marseille-Obs est 221,5 mm le 1^{er} décembre 2000. C'est l'ordre de grandeur, en région méditerranéenne française à l'est du Rhône, des valeurs quotidiennes maximales qui ont rarement atteint 300 mm comme à Pertuis (Bouches-du-Rhône) le 23 septembre 1993. Seules 2 valeurs quotidiennes dépassent les 200 mm (ou 190) seuil reconnu comme inférieur des précipitations extrêmes. D'après les relevés du réseau du Service d'exploitation du réseau d'assainissement de la Communauté



À gauche : pression et direction du vent au sol à Nîmes ; à droite : niveau 500hPa avec direction du vent à Nîmes.
1 : hauteur en mètres, 2 : température en degrés centigrades.

Figure 2. Situation synoptique le 19/09/2000 à 12h UTC d'après Météo-France (Douguédroit, 2004)

Urbaine Marseille Provence Métropole un tel seuil aurait également été atteint dans la ville le 1^{er} décembre 2003, mais plus à l'est que le poste de Météo-France : 200 mm dépassés dans 10 postes avec un maximum de 266,8 à St Cyr (station 13). Ainsi depuis 1861 les seules 3 (4 ? impossible de se prononcer sur 1879) précipitations extrêmes de toute la série sont tombées au 19^e siècle et au 21^e mais aucune pendant le 20^e, et même un peu plus. Seulement 11 valeurs quotidiennes dépassent 100 mm dont 5 supérieures à 140 mm (Tab.2).

Tableau 2. Maximums quotidiens les plus élevés de Marseille-Obs (1861-2007)

Date	mm
01/10/1892	221,5
19/09/2000	200
02/12/2003	182,4
16/09/1879	169
08/11/1907	148,6

À Marseille-Obs, parmi les épisodes connus depuis 1861, le plus important est celui des 15 et 16 septembre 1879 dont le total n'atteint que 246,5 mm à la différence du Languedoc où sont tombées en 2 ou 3 jours jusqu'à plus de 600mm de pluie.

Ces précipitations extrêmes sont tombées principalement en automne, saison la plus arrosée en moyenne en Provence (5 en septembre et 3 en octobre) mais novembre, décembre et mai reçoivent chacun un. La prépondérance de l'automne se poursuit dans les précipitations maximales quotidiennes comprises plus faibles mais supérieures à 80 mm (26 cas).

Ces maximums correspondent à des petits noyaux d'une ou quelques dizaines de kilomètres carrés, la densité du réseau de Météo-France ne permettant pas une plus grande précision. Le 19 septembre 2000 le noyau des intensités supérieures à 200 mm n'a, sur terre, que quelques kilomètres carrés et l'ensemble de l'averse déborde à peine les limites de la commune de Marseille. L'épisode des 1-2 décembre 2003 avec des maximums supérieurs à 200 mm recueillis dans les stations de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole localisées dans la partie orientale de la commune, est quelque peu décalé spatialement par rapport à l'événement précédent mais d'une extension également limitée tout comme celui de 1879. D'après la description détaillée faite dans le Bulletin annuel de la Commission de Météorologie du département des Bouches-du-Rhône par l'observateur en poste lors de l'événement de 1892 ce dernier semble être le plus vaste des quatre, le noyau des fortes pluies ayant touché l'observatoire de Marseille et Aubagne (Stephan, 1892). Ces quatre épisodes des précipitations quotidiennes extrêmes de Marseille sont bien tous, par leur extension réduite, à classer dans le type local.

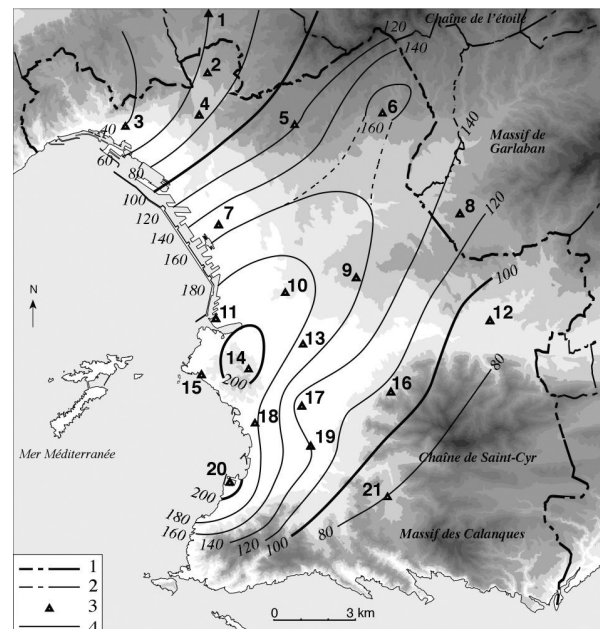
B. À des pas de temps fins : l'épisode du 19 septembre 2000

La pluie ne dure en fait que quelques heures, de 6h à 23h. Une étude des averses, en particulier des intensités, suppose une connaissance à un pas de temps plus fin que l'heure, le seul disponible même pour les dernières années dans le fichier de Météo-France. C'est pourquoi nous allons la mener à partir d'un cas, celui du 19 septembre 2000.

1. Un épisode d'extension spatiale de type local

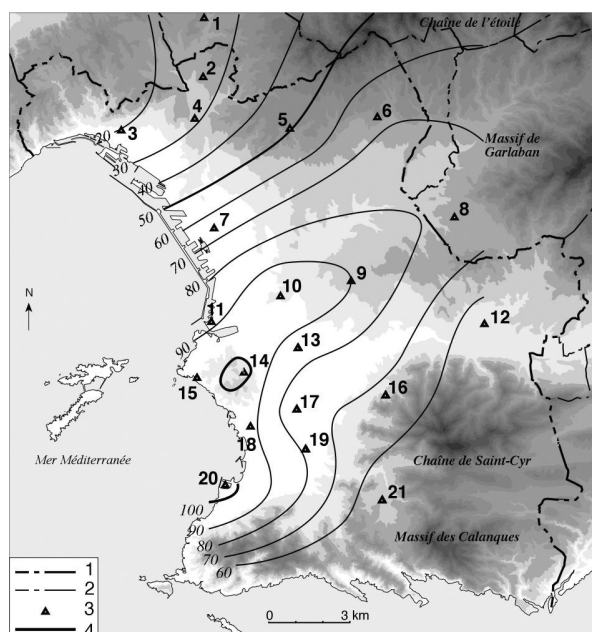
D'après les observations faites aux stations de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole les précipitations extrêmes ont été limitées à une partie de la commune qui s'étend, il est vrai, sur 230 km², et aux bordures des communes voisines d'Allauch et de Septèmes au nord. Elles n'ont donc bien constitué qu'un petit noyau d'extension réduite, de type local (Figure 3).

Les quantités de pluie recueillies dans les pluviomètres se présentent sous forme d'un noyau étiré du sud-sud-ouest au nord-nord-est, de part et d'autre d'un axe de précipitations maximales allant de la plage du Prado vers Château-Gombert où le total a sans doute été renforcé par forçage orographique sur le rebord de la cuvette marseillaise. Le maximum mesuré de plus de 200 mm est limité à quelques km² composé sur terre de deux noyaux, l'un à Néréides au port de Pointe Rouge (station 21), l'autre à Vauban correspondant au centre-ville



- 1 : Limites de la commune de Marseille,
- 2 : Limites des communes voisines,
- 3 : Station,
- 4 : Isohyète.

Figure 3. Schéma de la répartition des précipitations du 19 septembre 2000



1 : Limites de la commune de Marseille,
2 : Limites des communes voisines,
3 : Station,
4 : Isohyète.

Figure 4. Schéma de la répartition des précipitations pendant la première averse (16h-19h)

(station 14 à 96 m d'altitude) renforcé là aussi par le forçage orographique provoqué par le premier obstacle rencontré par le flux. Ces noyaux ont pu se rejoindre sur la rade sous forme d'une bande continue car deux images satellites publiées sans échelle quantifiée permettent de considérer que l'épisode pluvieux a débordé sur la mer, avec un noyau central de pluies maximales s'étendant un peu au-delà du littoral (Météo-France, 2000b). Le maximum effectivement tombé est bien sûr inconnu ; on peut seulement dire qu'il est au moins égal aux 212 mm recueillis à Pointe Rouge.

Les totaux diminuent rapidement sur terre dans toutes les directions. Il n'est tombé que 40 mm au nord-ouest de la commune tout comme à Aubagne à l'est (Figure 3).

2. Évolution temporelle de l'épisode : deux averses principales

Il a plu sur la ville de Marseille de 16h jusqu'à 23h, heures locales (soit 14 et 21h UTC). L'essentiel des précipitations est tombé en deux averses principales, entre 17h00 et 18h30, et de 20h à 21h, du moins dans les quartiers les plus touchés où la première averse a connu une intensité maximale plus forte que pendant la seconde, même si la quantité totale de pluie a été à peine plus importante (Figure 4). Mais l'essentiel est tombé en un laps de temps plus court (Figure 5). Les totaux inférieurs à 100 mm correspondent au sud à des stations où la seconde averse fut très atténuée et au nord à d'autres sans différence nette d'intensité entre les deux averses.

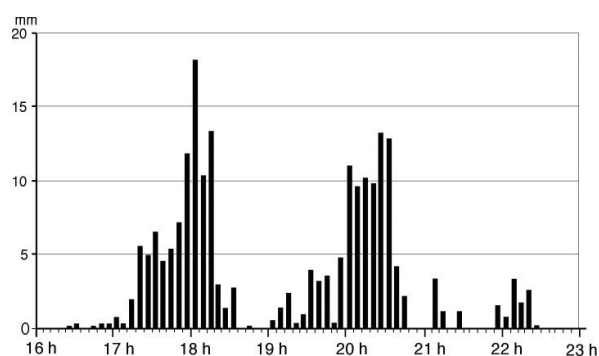


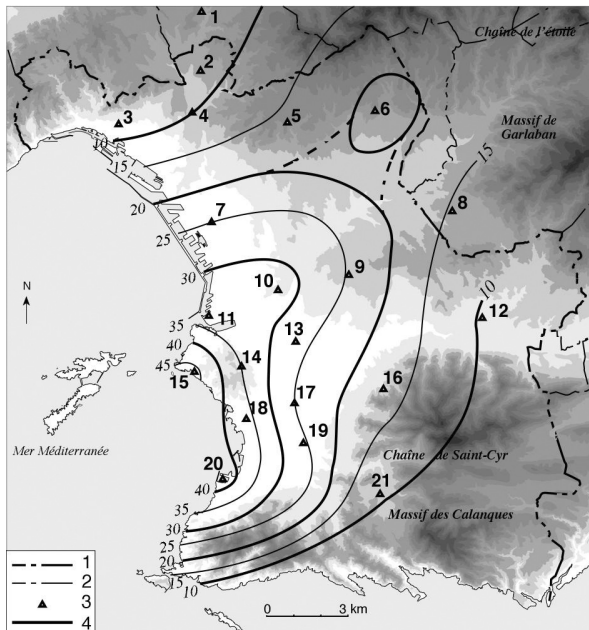
Figure 5. Variation temporelle des pluies de 6 en 6 minutes à la station Vauban (n° 14)

L'intensité la plus forte correspond à la première averse, surtout entre 17h30 et 18h30, avec un noyau de pluie maximal localisé d'abord sur le littoral puis dans l'intérieur (Figures 6 et 7). Tout la côte jusqu'au Vieux Port, ainsi que Saint Barnabé dans l'intérieur (poste à 185 m d'altitude) a alors reçu près de 80 mm en une heure. Le sud a été plus arrosé que le nord. Le maximum d'intensité a d'abord été atteint sur le littoral entre 17h54 et 18h à Pointe Rouge (17,6 mm soit 176 mm/h) et au marégraphe d'Endoume (164 mm/h) ; il s'est ensuite progressivement décalé vers l'intérieur jusqu'à 18h30 atteignant son maximum en 6 minutes (mn) à Vauban entre 18h et 18h06 avec 182 mm/h (Figure 8). Les records sont détenus par Pointe Rouge, 32mm sur 12mn entre 17h24 et 18h06, 65,4 sur 30 mn, 88,2 sur 1h, 103,2 sur 2h et 212,2 sur 6h. De telles valeurs exceptionnelles dépassent de peu celles mesurées à Vauban (respectivement 61, 88,2, 100 et 211).

La seconde averse, en dehors du noyau maximum, est mieux répartie sur la commune ; dépassant 80 mm dans l'axe du noyau central des pluies qui englobe Château-Gombert à cause du forçage orographique et jusqu'à 100 sur le littoral. Elle a été très atténuée aussi bien au nord qu'au sud. L'intensité maximale en 6 mn a encore été atteinte sur le littoral, à Pointe-Rouge (146 mm/h entre 20h12 et 20h18). Les noyaux du maximum de pluie des deux averses localisés dans la même partie de la ville montrent la stationnarité du phénomène qui hausse l'évènement du 19 septembre 2000 au niveau des records locaux.

Une première étude sur les séries de 5 ans obtenues aux postes automatiques a permis d'estimer des temps de retour de chacun d'eux et de « Marseille », leur moyenne. En 6mn des chutes de pluie de 9,5, 15 et 17 mm peuvent se produire tous les 2, 5 et 10 ans respectivement. En 30 mn, on atteint pour les mêmes conditions 25, 35 et 40 mm et pour 2h, 50, 70 et 90 (Missoum, 1996). Les 17 mm en 6 mn pour un temps de retour de 10 ans ont été dépassés dans 2 stations en 2003, les 40 mm en 30 mn l'ont été dans 3 d'entre elles et les 90 en 2h dans 2 comme en 2000.

Il semble bien que l'évènement du 1^{er} octobre 1892



1 : Limites de la commune de Marseille,
2 : Limites des communes voisines,
3 : Station,
4 : Isohyète.

Figure 6. Schéma de la répartition des précipitations entre 17h30 et 18h

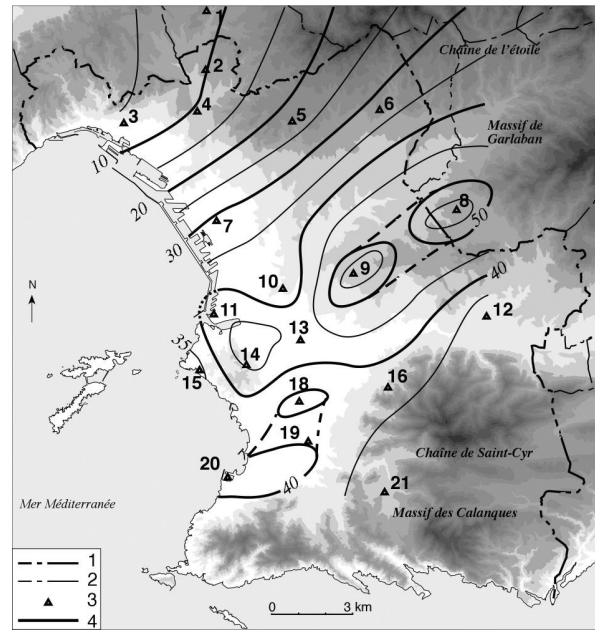
présente des caractéristiques très voisines de celui de 2000 : 221,5 mm tombés en 4 heures et demie en 2 averses fortes successives dont la plus importante entre 10 et 11h du matin a donné plus de 71 mm (dont 64 en 40 mn), suivies de deux autres dont l'une a vu tomber 13 mm en 27 mn, soit 126 mm/h. La direction SW-NE de l'épisode a également été notée par l'observateur (Stephan, 1892).

III. LA « CRUE URBAINE » DU 19 SEPTEMBRE 2000

Les numéros des 20 et 21 septembre des journaux locaux, « La Provence » et « La Marseillaise », ont évidemment consacré une grande partie de leurs pages à la description de l'événement survenu le 19. Ils vont nous permettre de se faire une idée de ses conséquences.

A. La paralysie de la ville à une « heure de pointe »

Selon le point de vue auquel on se place, on met en avant des aspects différents des conséquences des fortes pluies. On cite la perte malheureuse de deux victimes, des personnes âgées, l'existence d'un certain nombre de blessés du fait d'accrochages de voitures et des pertes matérielles estimées autour de 60 millions d'euros, causées par les inondations de certains quartiers. Sont particulièrement mentionnés le centre-ville, avec ses magasins (800 commerces inondés sur les



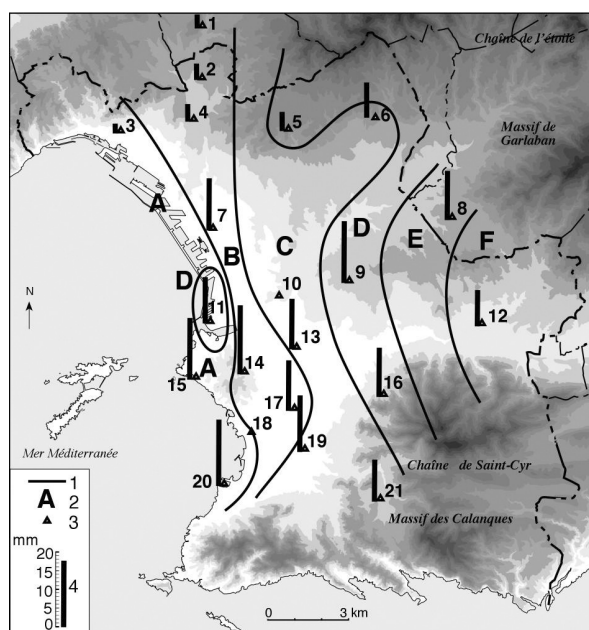
1 : Limites de la commune de Marseille,
2 : Limites des communes voisines,
3 : Station,
4 : Isohyète.

Figure 7. Schéma de la répartition des précipitations entre 18h et 18h30

2 800 que contenait à ce moment-là l'hypercentre, les plus touchés étant ceux pourvus d'un sous-sol), ses parkings souterrains et le métro, l'ancien lit du Jarret où se trouvent la Faculté de pharmacie et le Centre hospitalo-universitaire, et les quartiers sud, les torrents dévalant les rues entraînant les voitures (au moins 300 voitures plus ou moins endommagées) et la paralysie de la circulation dans une très grande partie de la ville, y compris de portions d'autoroutes permettant de sortir de Marseille.

Les deux journaux insistent sur la surprise de tous les Marseillais face à cet événement, y compris de certains responsables directement concernés par sa gestion. Dans une interview dont des extraits sont parus dans La Provence, le directeur du réseau d'assainissement de la ville parle ainsi : « En fait, les nuages ne sont venus de nulle part. Ils se sont formés au-dessus de Marseille, dans la rade, vers le Frioul... À 16h nous n'avions encore aucune information. C'est exceptionnel. D'habitude, nous sommes renseignés deux heures à l'avance ». Le système de pré-alerte très perfectionné du Centre d'exploitation du réseau d'assainissement n'a pas fonctionné ; les équipes de service ne sont intervenues sur le terrain qu'après le début de l'événement, ce qui peut avoir contribué à accroître l'ampleur des inondations et la désorganisation de la circulation en ville.

Les journaux soulignent également la paralysie de la ville et la désorganisation de la circulation, en particulier dans le centre-ville. C'est celui-ci qui a le plus attiré l'attention à cause de la concentration des commerces,



- 1 : Limites de la commune de Marseille,
 2 : Limites des communes voisines,
 3 : Station,
 4 : Isohyète.
 A : 17h54-18h,
 B : 18h-18h06,
 C : 18h06-18h12,
 D : 18h12-18h18,
 E : 18h18-18h24,
 F : 18h24-18h30.

Figure 8. Schéma de la distribution spatiale des intensités maximales des précipitations (en 6 mn) entre 17h54 et 18h30

de la foule habituelle en fin d'après-midi et de la densité de la circulation à cette heure-là. Dès 18h il était devenu impraticable, des torrents d'eaux ruisselant déjà dans les rues bien avant que les écoulements organisés soient saturés ; la première averse s'est en effet produite à l'heure de la sortie des bureaux et des plus gros embouteillages habituels de la circulation.

Il convient de souligner cet horaire : 18h et de le comparer à l'évolution de la première averse qui a commencé à 17h30 (Figure 5). Jusqu'à 18h elle a donné un noyau maximum de 40 mm le long de la côte entre Pointe Rouge et Endoume et de moins en moins au fur et à mesure qu'on s'en éloigne sur terre dans toutes les directions (Figure 6). L'intensité des pluies sur le centre-ville augmente à partir de cette heure-là. Si leur totalité atteint bien 40 à 50 mm dans le centre-ville (Figure 7), seulement entre 30 et 40 mm y étaient tombés entre 17h30 et 18h, et moins plus à l'est (entre 20 et 30 vers le Jarret). Ruissellements et inondations ont très vite suivi, comme souvent en ville, le début des plus fortes pluies avec un temps de réponse très court, inférieur à la demi-heure, et avant l'arrivée de l'intensité maximale, d'où la qualification de « crues éclairs » donnée aux événements de ce type (Paquier *et al.*, 2003).

B. Le rôle de la topographie de la ville

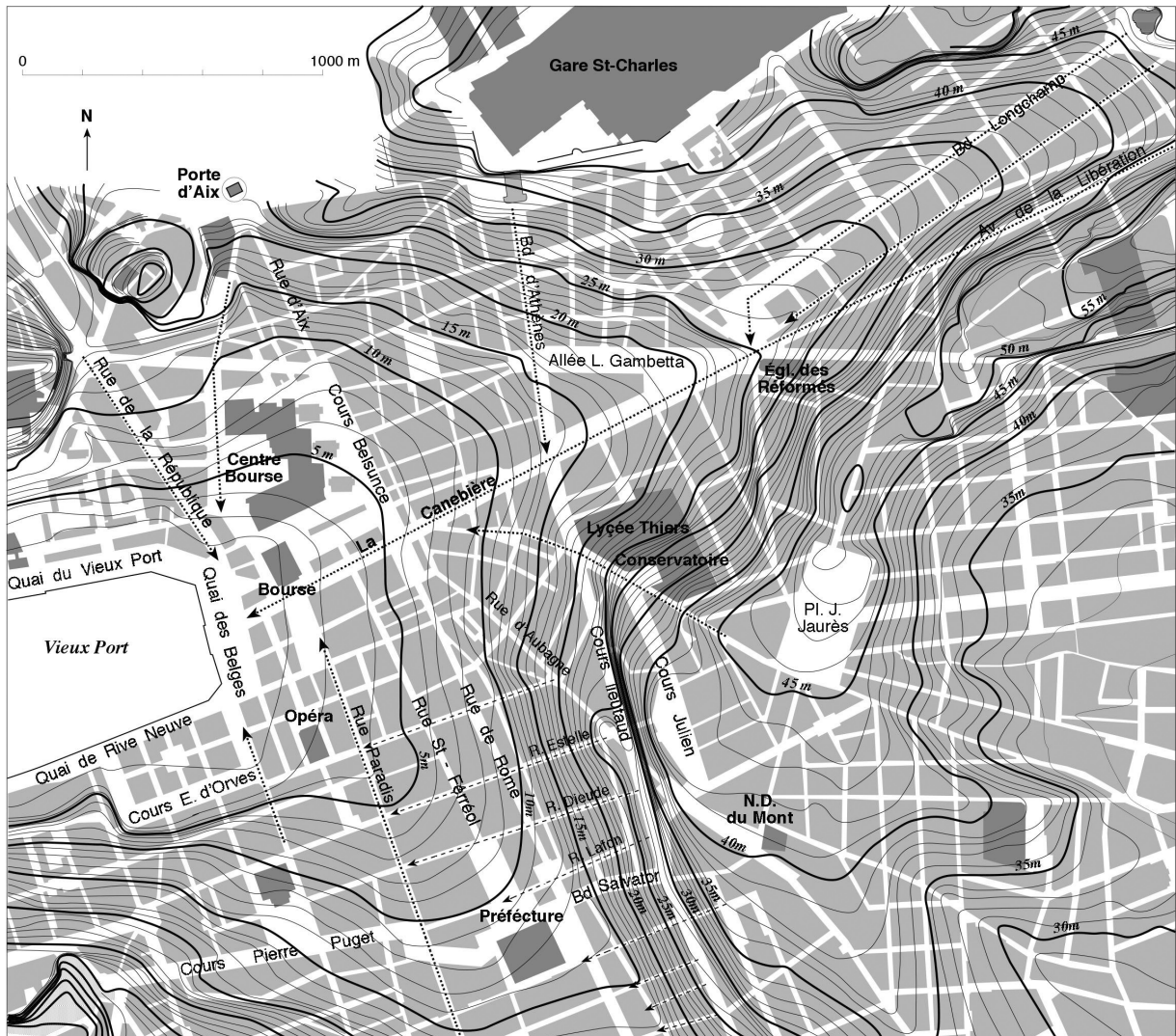
Comment expliquer un déclenchement si rapide de ces phénomènes alors que l'averse tombée n'a pas de totaux encore très importants ni ses plus fortes intensités ? Même si l'intervention tardive des services compétents n'a rien arrangé, la responsabilité principale en revient à la topographie locale et, encore plus dans certains quartiers, à la façon dont elle a été utilisée par les infrastructures, particulièrement le tracé des rues. Il faut distinguer le cas du centre-ville de celui des zones basses des vallées fluviales.

Les premières pentes des collines qui entourent de toute part le Vieux-Port commencent dès les quais (Figure 9). Le centre-ville, constitué des trois célèbres rues parallèles (Rome, St Ferréol et Paradis), et de leurs voisines où se concentre une telle part d'activités de commerce et de bureau qu'on le qualifie d'hypercentre, est installé juste au pied du versant raide d'une hauteur de 30 mètres du quartier dit « La Plaine » (plutôt d'ailleurs un plateau). Ce versant est strié d'une série de rues parallèles entre elles tracées selon la ligne de plus grande pente (Figure 9). Inutile de souligner que l'on se trouve dans des conditions idéales pour que les pluies tombées en haut sur « La Plaine », totalement imperméabilisée par les rues et immeubles, dévalent à toute allure en direction des rues plus bas qu'elles inondent, même avant que le réseau d'assainissement ne déborde. On se trouve dans un cas idéal d'exploitation de la topographie pour le déclenchement d'une « crue urbaine » avec ruissellement pluvial associée à un temps de réponse particulièrement court. Il suffit d'une quantité de pluie relativement faible comme celle tombée avant 18h le 19 septembre 2000 pour que le phénomène se produise, ce qu'il fait régulièrement chaque année mais avec une ampleur bien moindre que ce jour-là.

Le Vieux-Port au centre d'un amphithéâtre de collines voit converger vers ses quais, en particulier le Quai des Belges, l'eau qui dégringole le long de rues pentues (Figure 9). La Canebière, prolongée par le Bd Longchamp, se présente elle aussi dans une condition aussi favorable au ruissellement rapide : c'est tout simplement un ancien thalweg asphalté qui draine les pluies tombées sur les lambeaux de plateau à 45-50 mètres d'altitude de La Plaine à St Charles par l'Observatoire de Longchamp. À 18h elle était, elle aussi, déjà envahie par l'eau qui converge vers le Quai des Belges où elle s'accumule avant de rejoindre le Vieux-Port.

La paralysie de la circulation déjà commencée avant 18h n'a pu que s'accroître ensuite lorsque les fortes intensités se sont propagées vers l'intérieur pendant la demi-heure suivante. Et les difficultés ont été particulièrement ressenties à une telle heure qui correspond à une période de pointe de la circulation et alors que les rues en pente favorisent, par gravité, l'entraînement des voitures par l'eau.

Les rivières dont les bassins-versants, à l'exception de



Isohypse tous les mètres, en gras les courbes de 5 en 5 mètres. Sont marquées les rues les plus propices à l'écoulement gravitaire des pluies, en pointillé celles menant au Vieux-Port dans son ensemble et en tireté celles concernant l'hypercentre commercial.

Figure 9. Topographie du centre de Marseille propice à une « inondation-éclair »

celui de l'Huveaune, prennent naissance dans la cuvette même de Marseille, ont traversé la ville gonflées par les pluies locales. Les averses étant tombées sur la ville même, toutes sont sorties très vite de leurs lits, en particulier l'Huveaune et son affluent le Jarret ainsi que le ruisseau des Aygaldes, donnant naissance à des « crues éclairs » (Andrieu *et al.*, 2004) qui ont inondé les quartiers environnants et tout le sud de la ville.

Ainsi la situation d'une ville inondée ne correspond pas uniquement à des débordements de type « crue éclair » ; elle est plus complexe. L'inondation de la « crue urbaine » associe des ruissellements dans les lits urbanisés d'anciens oueds ou rivières et dans des bassins-versants artificiels composés de « rivières » et « affluents » installés dans des rues donc créés de toute pièce lors du développement de l'urbanisation d'une ville, ici Marseille, avec, éventuellement, lorsqu'une rivière pérenne traverse la ville, une « crue éclair » débordant de son lit. Ainsi, en ville, la « crue urbaine » associe-t-elle les

débordements de deux principaux types de collecteurs, les anciens fonds de vallées urbanisés sans collecteur permanent et les axes des bassins-versants artificiels créés par le tissu urbain auxquels peuvent éventuellement s'ajouter les « crues-éclairs » provoquées par les rivières. De plus elle s'organise en moins d'une heure, ce qui est extrêmement rapide.

C. Les cas des trois autres averses extrêmes

Cette paralysie temporaire de la ville le 19 septembre 2000 rappelle celle provoquée par l'orage du 1^{er} octobre 1892. On y retrouve aussi une description de l'inondation qui pourrait aussi convenir à septembre 2000 : « ... toutes les parties basses de la ville ont été recouvertes d'une épaisse couche d'eau. Les voies longues et inclinées sont transformées en torrents furieux : telles sont les rues Paradis, Canebière, cours Belunce. Au quai de la Fraternité (devenu quai des Belges NDLR), l'eau se déverse dans

le port en formant une immense cataracte dont la nappe a une épaisseur continue de 40 centimètres environ...en certains endroits où l'eau manque d'écoulement elle dépasse la hauteur des premiers étages ; dans le quartier de Menpenti nombre d'habitations peu solides s'écroulent...toute la plaine jusqu'à Mazargues est recouverte d'eau ; on dirait un immense lac qui va se confondre avec la mer... dans la vallée de l'Huveaune c'est par centaines que l'on compte les animaux domestiques enlevés par les eaux » (Stephan, 1892). Les types de dégâts signalés montrent bien, quant à eux, la transformation de la ville entre la fin du 19^e siècle et le début du 21^e.

En revanche, Marseille n'a été frappée par de fortes pluies le 1^{er} décembre 2003 qu'après 18h. Beaucoup d'eau par endroits, comme au rond-point de St Jérôme (2 mm), un fleuve de boue dans une cité, des évacuations dans une autre menacée par l'Huveaune, l'autoroute Marseille-Aubagne coupée pendant plusieurs heures (rappelons que le noyau principal est tombé sur l'est de la ville) tandis que celle vers Aix n'est que très embouteillée... On est loin de l'état de la ville le 9 septembre 2000. La localisation du maximum de pluie sur les quartiers de l'est de la ville ainsi que l'heure de l'averse y sont pour beaucoup.

CONCLUSION

Les précipitations extrêmes quotidiennes supérieures à 190 ou 200 mm sont exceptionnelles à Marseille. Depuis 1861, début de la série actuellement disponible de Marseille-Obs on en trouve deux, 1892 et 2000 ; mais d'autres documents permettent d'assurer que ce fut aussi le cas en 2003 à l'est du poste précédent et vraisemblablement aussi en 1879. Chaque fois les totaux de pluie, même en tenant compte du total des événements lorsqu'ils se déroulent sur deux jours, n'atteignent pas 300 mm. Ils tombent sur des surfaces réduites de la commune et, en 1892, d'Aubagne. Ce sont des événements de type local.

Ces averses exceptionnelles provoquent ce que l'on peut appeler des « crues urbaines » caractérisées comme les « crues éclairs » (Paquier *et al.*, 2003 ; Andrieu *et al.*, 2004) par un ruissellement très rapide à la suite de la chute de fortes pluies mais s'en distinguant par les conséquences spécifiques dues à leur localisation dans l'espace, une agglomération urbaine. Leurs conséquences ont été illustrées par la description de la situation du 19 septembre 2000, jour pendant lequel tombèrent, autour d'un petit noyau de plus de 200 mm, des précipitations limitées à la ville. Leur importance tient à la coïncidence entre une caractéristique permanente de la ville, sa topographie favorable au ruissellement rapide, le lieu de la chute des plus fortes pluies, le centre-ville, et l'heure de cette averse, celle de la pointe de la fin de l'après-midi. Les effets d'une averse violente sont renforcés à Marseille par la topographie de la ville et l'installation des infrastructures des voies de communication par rapport à cette topographie, nombre de rues suivant la plus grande

penne comme près de l'hypercentre commercial ou étant installées dans le fond d'une petite vallée. L'eau tombe sur le sol imperméabilisé et s'écoule par gravité avant que les égouts soient pleins et que l'averse ait atteint son intensité maximale. Associée aux débordements des « crues-éclair » des rivières pérennes, en particulier de l'Huveaune, elle provoque une inondation rapide et générale, une « crue urbaine ».

Comme le retour d'épisodes de pluie du même type n'est pas à écarter et que l'urbanisation de Marseille dans sa partie centrale est figée, le risque de se retrouver dans des conditions voisines ne peut être exclu, même en cas de pré-alerte, et quelle que soit l'efficacité des services compétents à limiter les effets de telles averses.

L'auteur remercie le Service d'exploitation du réseau d'assainissement de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole pour lui avoir permis d'utiliser les données des stations automatiques de son réseau.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIEU H., BROWNE O. & LAPLACE D. 2004. Les crues en zone urbaine : des crues éclairs ?, *La Houille Blanche*, 4, pp. 89-95.
- BARRERA A., LLASAT M.C. & BARRIENDOS M. 2006. Estimation of the extreme flash-flood evolution in Barcelona country from 1351 to 2005, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, pp. 505-518.
- BENZARTI Z., BEN BOUBAKER H. & HENIA L. 2004. Circulations méridiennes et extrêmes pluvio-thermiques en Tunisie, *Actes du XVII^e colloque de l'Assoc. Intern. de Climatol., Climat « Mémoire du Temps », Caen, 8-10 septembre 2004*, pp. 117-121.
- DOUGUÉDROIT A. 2004. À propos de l'averse du 19 septembre 2000 à Marseille, *Méditerranée*, 1-2, pp. 165-170.
- HENIA L. & MELKI T. 2001. Circulation de retour d'est et pluies diluviennes sur la Tunisie orientale, *Publ. de l'Assoc. Intern. de Climatol.*, 13, pp. 120-127.
- JACQ V. 1996. Inventaire des situations à précipitations diluviennes en Languedoc-Roussillon/PACA/Corse. Période 1958-1994, *Phénomènes remarquables*, 3, Météo-France, 190 p.
- KASSAB F. 1979. *Les très fortes pluies en Tunisie*, Publications de l'Université de Tunis, 234 p.
- MADDOX R.A. 1980. Mesoscale convective complexes. *Bull. Ass. Meteor. Soc.*, 61, pp. 1374-1387.
- MÉTÉO-FRANCE, 2000a. *Météo-Hebdo*, 2000, 37, np.
- MÉTÉO-FRANCE, 2000b. *L'épisode pluvieux du 19 septembre 2000 dans le sud-est de la France*, Direction Interrégionale du Sud-est, Novembre 2000, 5 pages.
- MISSOUM S. 1996. *Analyse statistique des précipitations à une échelle fine d'espace : exemple de la ville Marseille*. Mémoire DEA, Aix, 51 p.
- NEPPEL L., DESBORDES M. & MONTGAILLARD M. 2003. Fréquence de l'épisode pluvieux à l'origine des

- inondations des 12-13 novembre 1999 dans l'Aude, *GEOSCIENCES DE SURFACE (Hydrologie-Hydrogéologie)*, pp. 315-333.
- PAQUIER A., TANGUY J.M., HAIDER S. & ZHANG B. 2003. Estimation des niveaux d'inondation pour crue éclair en milieu urbain : comparaison de deux modèles hydrodynamiques sur la crue de Nîmes d'octobre 1988, *Rev. des Sciences de l'Eau*, 16, pp. 79-102.
- RIOSALIDO R. 1990. Estudios sobre algunos parametros atmosféricos asociados a la formacion y evolucion de sistemas convectivos de mesoscala, *Segundo Simposio Nacional de predicion del INM*, Madrid, pp. 369-382.
- RIVRAIN J.-C. 1997. Les épisodes orageux à précipitations extrêmes sur les régions méditerranéennes de la France, *Phénomènes remarquables*, 4, Météo-France, 93 p.
- VINET F. 2003. *Crues et inondations dans la France méditerranéenne*, Édition du Temps, 224 p.

Adresse de l'auteur :

Annick DOUGUÉDROIT
Institut de Géographie
UMR 6012 ESPACE
Université de Provence (Aix-Marseille I)
29, Av. R. Schuman
F-13621 Aix-en-Provence Cedex 1
Tél. : 04 42 95 38 71
Fax : 04 42 95 38 80
annick.douguedroit@univ-provence.fr