Maitre d'ouvrage :
Syndicat de Gestion de l'Eygoutier
Mairie de la Garde -BP 121
83957 LA GARDE Cedex

Étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents.

Approche hydraulique et morphologique en lien avec le milieu

PHASE 3 : VOLET HYDROLOGIE (DE LA PLUIE AU DEBIT)

HYDRETUDES



Rapport PHASE 3.1

« Fonctionnement du bassin versant »

NOTES de TRAVAILS

INGÉROP
INGEROP Conseil & Ingenierie – Agence d'Aix en Provence
Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laurentec - Hall B - BP 20058
13545 AIX-EN-PROVENCE Cedex 4
Tél 04 42 50 03 00 - Fax 04 42 50 83 01
Courriel : ingerop.aix@ingerop.com – www.ingerop.com

SÉORIVES

N° d'Affaire : 17-16
Version 2.1
Avril 2020

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage : Syndicat de Gestion de l'Eygoutier

Affaire : Étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents, approche hydraulique et morphologique en lien avec le milieu

N° 17-016

Phase 3 : Volet Hydrologie (de la pluie au débit)

Emetteur : HYDRETUDES - Alpes du Nord

Alpespace Bât. Alpamayo 429 avenue Léonard de Vinci

73800 SAINTE HELENE DU LAC

04 79 96 14 57

contact-savoie@hydretudes.com

Document : Rapport d'étape phase 3.1 :

« Fonctionnement du bassin versant »

Avertissement : Ce rapport est issu de la synthèse de la note technique de travail 17-016-INGEROP-EYGOUTIER-NT_1.4.pdf et de ses annexes.

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	04/04/2018	07/03/2020	Cécile Picouet	Didier Clément
2	28/04/2020	30/04/2020	Cécile Picouet	Didier Clément
3				
4				
5				

SOMMAIRE

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT **2**
SOMMAIRE **3**
FIGURES **3**
TABLEAUX **7**
PARTIE 1 : RECUPERATION DES DONNEES D'ARCHIVES ET PREMIERE ANALYSE DU BASSIN VERSANT DE L'EYGOUTIER **8**
1 ANALYSE DES ETUDES EXISTANTES **8**
1.1 LISTE DES ETUDES CONSULTEES 8
1.2 PRESENTATION SOMMAIRE DU CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE 9
1.3 SYNTHESE : DEBITS CARACTERISTIQUES "HYDROLOGIQUES" 15
2 DONNEES HYDROMETEOROLOGIQUES DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE **17**
2.1 DONNEES PLUVIOMETRIQUES 17
2.2 RESEAUX ET STATIONS PLUVIOMETRIQUES (A L'INTERIEURE ET A L'EXTERIEURE DU PERIMETRE) 17
PARTIE 2 : IDENTIFIER LES PROCESSUS A PLUS FORT RISQUE PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE PAR SOUS-BASSINS **48**
3 CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE GLOBAL **48**
3.1 PRECIPITATIONS ANNUELLES 48
3.2 PRECIPITATIONS MENSUELLES 49
3.3 PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES 51
3.4 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EXCEPTIONNELLES 52
3.5 VENTS DOMINANTS ET PRINCIPALES TRAJECTOIRES D'ORAGE DANS LE VAR 53
4 FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE **54**
4.1 REGIME HYDROLOGIQUE 54
4.2 ANALYSE DES CRUES RECENTES ENREGISTREES 55
5 ANALYSE DES EVENEMENTS REMARQUABLES **68**
5.2 ESSAI DE CLASSIFICATION DES PRECIPITATIONS AYANT PROVOQUEES DES DEGATS OU DES CRUES REMARQUABLE 76
5.3 ANALYSE DE QUELQUES EVENEMENTS REMARQUABLES 78
PARTIE 3 : CONSTRUCTION DES SCENARIO(S) DE REFERENCE(S) **107**
6 CONSTRUCTION DES PLUIE(S) DE REFERENCE(S) **107**
6.1 QUELLES STATISTIQUES DES PLUIES ? 107
6.2 QUELLES FORMES/DUREES DE PLUIE ? 111
ANNEXES **119**
7 ANNEXE I : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE **119**
8 ANNEXE II : ARRETES PORTANT RECONNAISSANCE DE CATASTROPHES NATURELLES **160**
9 ANNEXE III : ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES REMARQUABLES **161**

FIGURES

Figure 1 - Ouvrage de partition du pont de la Clue (Source : SCP, 2016 TPM – Etude de la potentialité écologique du Las et de l'Eygoutier) 10

Figure 2 - Fonctionnement actuel des aménagements au Pont de la Clue (source : SAFEGE, 2017 - Réalisation d'un seuil fixe au droit du tunnel de délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier- Etude hydromorphologique) 11
Figure 3 - Profil en long de l'Eygoutier (source : SAFEGE, 2017 - Réalisation d'un seuil fixe au droit du tunnel de délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier- Etude hydromorphologique) 12
Figure 4 - Tracé de l'Eygoutier et ses affluents, carte précisant la nature du lit et des berges : tronçons souterrains, tronçons bétonnés, tronçons urbains (i.e. tronçons en milieu urbain où le lit n'est ni bétonné ni souterrain), tronçons naturels (i.e. lit mineur en terre dans un environnement agricole/naturel) et tronçons en terre dont le cours a été rectifié. Cette typologie est basée sur les reconnaissances de terrain et le mémoire Lutte contre les inondations (octobre 2012 – TPM). Source (SCP, 2016) 13
Figure 5. Quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) - Méthode du renouvellement au poste météorologique de Toulon pour la période 1971 - 2012 et base SHYREG pluie pour T = 2 ans 24
Figure 6. Comparaison des quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) 25
Figure 7. Ajustement graphique pour Episode de 24h par méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique d'Hyères. La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années. Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés. Les 5 valeurs maximales de l'échantillon traité sont également précisées. 27
Figure 8. Ecarts des quantiles de précipitation pour Hyères pour les pas de temps entre 30 min et 12h - Statistiques 1977-2005 et 1982–2016 28
Figure 9. Quantiles de précipitation pour Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) - méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique de Hyères pour la période 1982–2016 (statistiques pas de temps Δt=6min à 12h) et sur la période 1977–2014 (statistiques pas de temps Δt= 24h) 29
Figure 10. Quantiles de précipitation au point de grille kilométrique (1 km²) centré sur le Mont Coudon au nord de Toulon – base SHYREG-pluie 30
Figure 11. Comparaison des quantiles de précipitations à Hyères et Toulon pour chaque temps de retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt 31
Figure 12. Comparaison des quantiles de précipitations à Toulon et au mont Coudon (SHYREG) pour chaque temps de retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt 32
Figure 13. Comparaison des courbes Intensité - Durées à Hyères, Toulon et au mont Coudon (SHYREG) pour chaque temps de retour T 33
Figure 14. Comparaison des courbes Intensité - Fréquence à Hyères, Toulon et au mont Coudon (SHYREG) pour chaque temps pas de temps Δt 35
Figure 15. Comparaison des records pluviométriques sur le Var (toutes stations confondues) avec les quantiles de précipitations à Hyères, Toulon et au point de grille SHYREG pour les différents pas de temps de cumul Δt et pour le temps de retour T = 100 ans. 35
Figure 16. Localisation de la station à l'entrée du Tunnel de Lamalgue 39
Figure 17. Evolution des débits sur l'ensemble de la période de mesure sur l'Eygoutier (hydrogramme) - Ducros (2014) 39
Figure 18. Exemple de relation pluie-débits pour la crue de septembre 2013 - Ducros (2014) 40
Figure 19. Carte et Tableau de capacité des ouvrages (SCE, janvier 2008 - phase 3 - page 213) 42
Figure 20. Section en travers pour le calcul des débits au pont de Bazeille 43
Figure 21. Profil en long de l'Eygoutier à l'val du cadre de l'A57 (SCE, janvier 2008 - phase 3 page 188) 44
Figure 22. Localisation des stations 45
Figure 23. Répartition des précipitations moyennes interannuelles (2007-2017) sur les 5 stations météo-France 48
Figure 24. Corrélation entre les précipitations moyennes interannuelles enregistrées à la station de Toulon de 2007 à 2017 et les 4 autres stations météo-France 49
Figure 25. Evolution des cumuls de précipitations annuels de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France 49
Figure 26. Précipitations mensuelles de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France et moyenne interannuel. 50

Figure 27. Corrélation entre les cumuls mensuels de précipitations enregistrés à la station de Toulon entre 2007 et 2017 et les 4 autres stations météo-France 51
Figure 28. Evolution des cumuls maximums annuels sur 24h de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France 51
Figure 29. Corrélation entre les cumuls maximums annuels sur 24h de précipitations enregistrés à la station de Toulon entre 2007 et 2017 et les 4 autres stations météo-France 52
Figure 30. Corrélation entre les cumuls maximums sur 24h de précipitations enregistrés à une date donnée à la station de Toulon entre 2007 et 2017 et les 4 autres stations météo-France 53
Figure 31 - Données hydrologiques de synthèse (BANQUE HYDRO Calculées le 08/02/2018). 54
Figure 32. Evolution des débits sur l'ensemble de la période de mesure sur l'Eygoutier (hydrogramme) - Ducros (2014) 55
Figure 33. Répartition saisonnière des crues au Pont de Bazeille entre le 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014 55
Figure 34. Corrélations entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques (ΔT = 6min et 1h). 56
Figure 35. Corrélations entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques sur 24 h et hauteur totale de l'événement. 56
Figure 36. Corrélations entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques sur l'événement et antécédents pluviométriques à 5 et 15 jours. 57
Figure 37. Hydrogrammes de 23 crues les plus remarquables normés et centrés 57
Figure 38. Hydrogrammes remarquables normés et centrés par type de crue 58
Figure 39. Corrélations, par type de crue, entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques (ΔT = 6min et 1h), cumuls pluviométriques sur l'événement et antécédents pluviométriques à 15 jours. Les courbes sont tracées pour le groupe 1. 59
Figure 40. Evolution des débits au pont de Bazeille (pas de temps 5 min) et des cumuls pluviométriques (pas de temps de 6 min) 60
Figure 41. Inondations à La Garde (83) - 08 Septembre 2013 (source : http://une-vie-un-instant.e-monsite.com/pages/nature/meteorologie/pluie-inondations/orage-diurne-a-la-garde-83-08-septembre-2013.html) 60
Figure 42. Evolution de la pluviométrique au pas de temps de 6 min 61
Figure 43. Caractéristiques de l'événement du 8 septembre 2013 au poste de Toulon La Mitre 61
Figure 44. Evolution de la pluviométrique journalière 62
Figure 45. Evolution des débits au pont de Bazeille (pas de temps 5 min) et des cumuls pluviométriques (pas de temps de 6 min) 63
Figure 46. Evolution de la pluviométrique au pas de temps de 6 min 63
Figure 47. Evolution de la pluviométrique journalière 64
Figure 48. Evolution des débits au pont de Bazeille (pas de temps 5 min) et des cumuls pluviométriques (pas de temps de 6 min) 64
Figure 49.Qualification de l'aléa hydrologique de l'événement du 26/10/2012 à Toulon par la méthode AIGA -IRSTEA le26/10/2012 à 15h45 (soit 13h45 en UTC) (http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf). 65
Figure 50. Image de réflectivité radar du 26/10/2012 à 13H10 UTC. Les pluies les plus intenses se produisent sur La Garde. (source : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/IMG/sipex_gif/2012_10_26_image_radar.gif) 66
Figure 51.Qualification de l'aléa pluviométrique de l'événement du 26/10/2012 à Toulon par la méthode AIGA -IRSTEA le 26/10/2012 entre 14h45 et 16h30 (http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf). 67
Figure 52. Evolution de la pluviométrique au pas de temps de 6 min 68
Figure 53. Nombre d'arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles" portant sur les " Inondations et coulées de boue" pour les 7 communes du bassin de l'Eygoutier. 70
Figure 54. Répartition saisonnière (mois) des 24 événements remarquables sélectionnés. 71
Figure 55. Temps de retour des événements pour lesquels des données au pas de temps de 6 min à Toulon ont été récupérés (après 2005) 72
Figure 56. Cartes pluviométriques du Var pour certains événements remarquables "inondation" sur le bassin versant de l'Eygoutier (http://pluiesextremes.meteo.fr)". 75

Figure 57. Hydrogrammes pour les 3 cours d'eau limitrophes 79
Figure 58. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)....79
Figure 59. Animation des cumuls quotidiens sur le sud de la France du 31 octobre au 9 novembre 2011 : "Dans la nuit du 7 au 8 et le 8 c'est la côte varoise qui va être le plus éprouvée : au total sur ce nouvel épisode, les cumuls atteindront 207 mm à Bormes les mimosas." (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Deluge-sur-le-Sud.html)....80
Figure 60. Evolution de la pluviométrique journalière....80
Figure 61. Caractéristiques de l'événement du 4 au 11 novembre 2011 au poste de Toulon La Mitre....81
Figure 62. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement....82
Figure 63. Evolution de la pluviométrique journalière....82
Figure 64. Rapport aux normales 1971/2000 (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)....83
Figure 65. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)....83
Figure 66. Hydrogrammes pour les 2 cours d'eau limitrophes 84
Figure 67. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)....85
Figure 68. Evolution de la pluviométrique journalière....86
Figure 69. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 h sur l'événement à Toulon et Hyères....86
Figure 70. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 2 h sur l'événement à la Foux (d'après Sogreah-Daragon en 2002)....87
Figure 71. Caractéristiques de l'événement du 16 au 17 janvier 1978 au poste de Toulon La Mitre et à la Foux. 87
Figure 72. Hydrogrammes pour les 3 cours d'eau limitrophes 89
Figure 73. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)....89
Figure 74. Evolution de la pluviométrique journalière sur le mois 90
Figure 75. Evolution du cumul pluviométrique journalière sur l'événement 90
Figure 76. Caractéristiques de l'événement du 25 novembre 2014 à la station de Toulon 91
Figure 77. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement....92
Figure 78. Lame d'eau radar Antilope sur le Var en 24 heures débutant le 24 novembre 2014 à 6 H UTC (source : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Pluies-orageuses-sur-le-Var.html) 92
Figure 79. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)....93
Figure 80. Evénements du 13 au 28 septembre 2006 SCE, 2007....93
Figure 81. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)....94
Figure 82. Evolution de la pluviométrique journalière....95
Figure 83. Caractéristiques de l'événement du 4 au 11 novembre 2011 au poste de Toulon La Mitre....96
Figure 84. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 6 min à la station de Toulon la Mitre....96
Figure 85. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)....98
Figure 86. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-295-episode-pluvio-orageux.html)....98
Figure 87. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-295-episode-pluvio-orageux.html)....99
Figure 88. Evolution de la pluviométrique journalière....99
Figure 89. Caractéristiques de l'événement du 7 octobre et 11 2014 au poste de Toulon La Mitre 100
Figure 90. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 6 min à la station de Toulon la Mitre.... 101
Figure 91. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 1h à la station de Toulon la Mitre.... 101
Figure 92. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html).... 102
Figure 93. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-293-archive.html#24) 104
Figure 94. Evolution de la pluviométrique journalière.... 105
Figure 95. Caractéristiques de l'événement du 19 septembre 2014 au poste de Toulon La Mitre 106
Figure 96. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html).... 106

Figure 97. Ajustement des quantiles de précipitation à partir des données des 3 stations (Toulon, Hyères, SHYREG). 109
Figure 98. Comparaison avec les courbes IDF des études antérieures pour différents temps de retour 111
Figure 99. Caractéristiques statistiques des pluies de projets 112
Figure 100. Caractéristiques des formes de pluies de projets 113
Figure 101. Caractéristiques statistiques des pluies de projets et comparaison avec de l'événement de janvier 1978 114
Figure 102. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement à Toulon la Mitre. 114
Figure 103. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement à Toulon la Mitre. 115
Figure 104. Comparaison des intensités et des cumuls pour l'événement réel (enregistré à Toulon) et le gabarit acté par la DDTM pour le Gapeau (Cap Cepet comme station de référence). 116
Figure 105. Caractéristiques statistiques des pluies de projets et comparaison avec de l'événement du 24-25 septembre 2006 116
Figure 106. Caractéristiques statistiques des pluies de projets 118

TABLEAUX

Tableau 1 -Liste des études consultées 8
Tableau 2. Principaux résultats en termes de pluie et de débits de références issus des études antérieures 15
Tableau 3. Liste des stations Météo France utilisées 17
Tableau 4. Liste des stations du Réseau StatIC utilisées 18
Tableau 5 - Détails des données "Précipitations 6 minutes" à la station de Toulon la Mitre achetées et cela pour certain événements caractéristiques 20
Tableau 6 - Statistiques sur la période 1971 – 2005 pour la station de Toulon la Mitre utilisées dans l'étude SCE de 2007 (Formule des hauteurs). Pas de T=2 ans ! 22
Tableau 7. Quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) - Méthode du renouvellement au poste météorologique de Toulon pour la période 1971 - 2012 et base SHYREG pluie pour T = 2 ans 23
Tableau 8. Valeurs statistiques des pluies journalières à la station de Toulon estimées lors de l'étude l'analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau (SCE / AQUA CONSEILS, 2015). 24
Tableau 9. Quantiles de précipitation pour Hyères (Ingerop, 2017) - Poste météorologique de Hyères - Ban le Palyvestre pour la période 1977 - 2005 (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) 26
Tableau 10. Quantiles de précipitation pour Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) - méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique de Hyères pour la période 1982–2016 (statistiques pour t=6min à 12h) et sur la période 1977–2014 (statistiques t= 24h) 26
Tableau 11. Ecart des quantiles de précipitation pour Hyères pour les pas de temps entre 30 min et 12h - Statistiques 1977-2005 et 1982–2016 28
Tableau 12. Quantiles de précipitation recueillis - base SHYREG-pluie 29
Tableau 13 - Débits des autres cours d'eau observés lors des événements remarquables sur le bassin de l'Eygoutier (débits issues des mesures aux stations hydrométriques de la BANQUE-HYDRO (HYDRETUDES, 2018) 75

PARTIE 1 : RECUPERATION DES DONNEES D'ARCHIVES ET PREMIERE ANALYSE DU BASSIN VERSANT DE L'EYGOUTIER

1 ANALYSE DES ETUDES EXISTANTES

L'Eygoutier et ses affluents ont fait l'objet d'un grand nombre d'études hydrologiques et/ou hydrauliques, sur tout ou partie du bassin, destinées à préciser les débits de crue dans l'optique de réaliser des aménagements de protection contre les inondations ou d'améliorer la connaissance du risque.

1.1 LISTE DES ETUDES CONSULTEES

La liste des études existantes est reportée en annexe I. Certains points particuliers sont soulignés ainsi que notre avis général sur le volet hydrologie. Les études consultées sont :

Tableau 1 -Liste des études consultées

Année	Titre	MOE	MO	Intérêt
1967	Etude générale complémentaire- Etude hydraulique du Tunnel de la Clue	SCP	Département du VAR	Première étude hydrologique
1989 et 1990	Rapport de synthèse sur la rivière de l'Eygoutier sur Toulon - Estimation des débits d'orage décennaux.	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon, service général des eaux	Synthèse des études existantes et nouveaux débits au tunnel de Lamalgue
1993	Schéma d'aménagement (hydrologie– hydraulique)	DARAGON	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)	Note de synthèse hydrologie (juin 1993)
1994	Aménagements hydrauliques du bassin versant de l'Eygoutier	SIB	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)	Analyse du bassin versant et des crues (pluviométries locales, crues historiques…)
2002	Étude hydraulique : dimensionnement nouveau tunnel (AMO tunnel du pont de la Clue) - Phase 1 et 2	Sogreah Daragon	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)	Modélisation hydraulique (plan de La Garde et du Pradet) inondabilité (T=10, 100 ans)
2003	Aménagement hydraulique du bassin versant de l'Eygoutier - Mission d'expertise sur les études - réalisées	CETE Méditerranée	DIREN PACA	Synthèse et avis sur les études antérieures (avant 2003)
2003	Notice de présentation. Etude architecturale de l'hôpital	Partie hydraulique : SOGREAH	CHI Toulon-La Seyne sur Mer	Descriptif BV, crues…
2007	Élaboration d'un schéma stratégique de lutte contre les inondations sur le bassin versant Toulonnais de l'Eygoutier	SCE	SIAHE	Modélisation hydraulique (aval pont de la Clue) : inondabilité (T=10, 50, 100 ans)
2008	Calage des éléments hydrauliques du projet et études des impacts des	HYDRATEC	Conseil général du Var	Modélisation hydraulique (plan de La Garde et du Pradet) inondabilité

	aménagements – Plaine de la Garde			(T=10, 100 ans) ; aménagements réalisés
2013	Etude de réalisation d'un seuil en amont du tunnel de l'Eygoutier au pont de la Clue à l'aide d'un modèle numérique	ARTELIA	SIAHE	Note hydraulique (aucune nouvelle analyse hydrologique n'a été réalisée)
2014	Quantification et qualification des apports solides et liquides de deux fleuves côtiers Méditerranéens	Thèse Dufresne, 2014 et Mémoire de stage de Master 2ème année de Ducros, 2014	Laboratoire d'Etude Radioécologiques en Milieu Continental et Marin (LERCM)	Débits au Pont de Bazeille
2015	Expertise hydraulique sur le secteur de l'Artaude	EGIS	Ville du Pradet	Diagnostic Artaude
2015	Étude hydraulique pour l'aménagement du ruisseau de Saint-Joseph	SAFEGE	SIAHE	Modélisation hydraulique (St Joseph) : inondabilité (T=2, 5, 10, 20, 100 ans)
2016	Mise à 2x3 voies de l'A57 Section Benoit Malon/Pierre Ronde - Dossier de déclaration Loi sur l'Eau - Pièce n°6.1 : Etude hydraulique des écoulements pluviaux	INGEROP	ESCOTA	Mis à jour auprès de Météo-France des quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon (Indicatif : 83137001)
2017	Étude hydraulique et AMC pour la définition du schéma d'aménagement du ruisseau de la Planquette	INGEROP	SIAHE	Modélisation hydraulique (Planquette) : inondabilité (T=2, 5, 10, 20, 100 ans)

1.2 PRESENTATION SOMMAIRE DU CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'Eygoutier est un fleuve côtier Varois de 15 km de long. Il draine, avec ses 7 affluents, tout l'est de l'agglomération toulonnaise. Il s'étire sur environ 15 km, de sa source, une résurgence située sur les hauteurs du hameau de la Moutonne, sur la commune de La Crau, jusqu'à son embouchure au niveau des plages du Mourillon, dans la grande rade de Toulon. Il traverse en chemin la vaste plaine de la Garde et du Pradet.

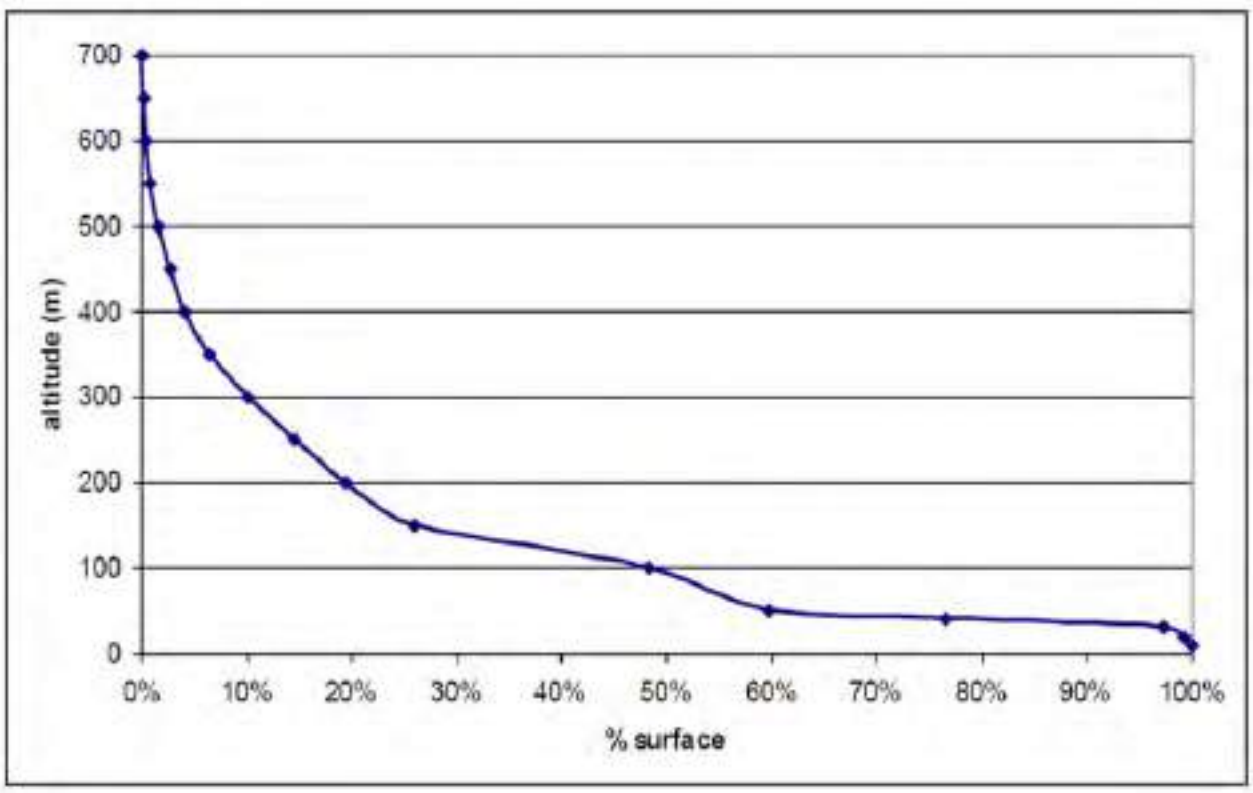
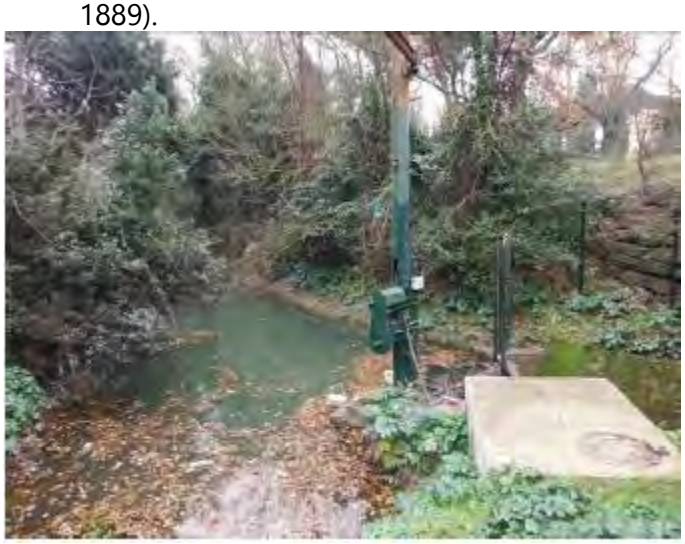


Figure 2 : courbe hypsométrique du bassin versant de l'Eygoutier (source : schéma stratégique de lutte contre les Inondations du bassin versant de l'Eygoutier – SIAHE – 2007)

Son bassin versant (S=68.12 km²) présente une **morphologie atypique**, avec :

- La présence d'une vaste **plaine inondable naturelle** (plan de la Garde et du Pradet) encerclée par des reliefs qui culminent à 700 mètres.
- La présence d'un **verrou hydraulique naturel** au niveau du **pont de la Clue** et d'une **dérivation d'une capacité de 25 m³/s** (1889) pour limiter les inondations de Toulon (tunnel évacuateur de crue percé du pont de la Clue à l'anse San Peyre réalisé au 19ème siècle - 1889).



- Ouvrage de partition du pont de la Clue : Batardeau mobile
- Hors crue : relevé, il barre l'entrée du tunnel et oriente les faibles débits vers le cours naturel de l'Eygoutier
- En crue, abaissé lors des épisodes de crue, il permet de dériver une partie des débits vers le tunnel (dont la capacité est de l'ordre de 30 m3/s).
- Gestionnaire : Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier.

Figure 1 - Ouvrage de partition du pont de la Clue
(Source : SCP, 2016 TPM – Etude de la potentialité écologique du Las et de l'Eygoutier)

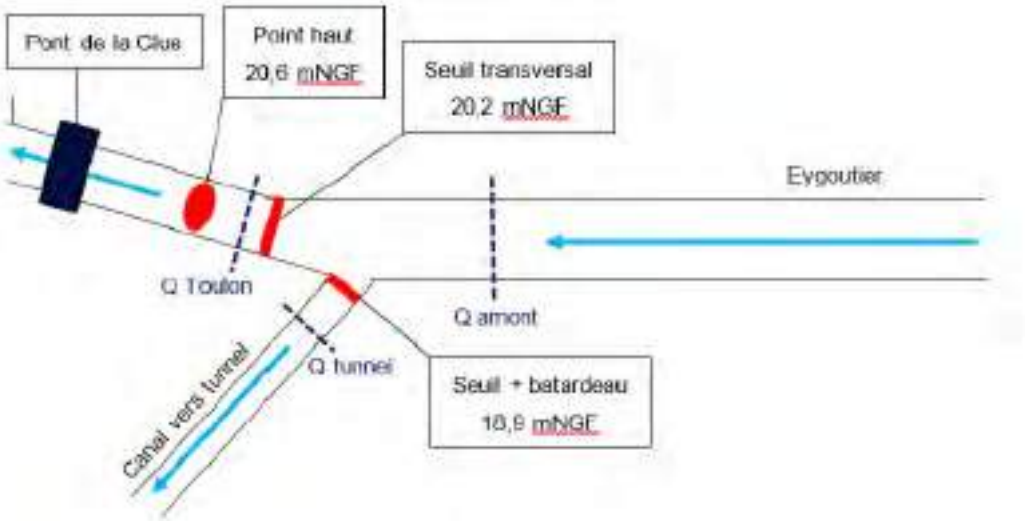


Figure 2 - Fonctionnement actuel des aménagements au Pont de la Clue (source : SAFEGE, 2017 - Réalisation d'un seuil fixe au droit du tunnel de délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier- Etude hydromorphologique)





Figure 3 - Profil en long de l'Eygoutier (source : SAFEGE, 2017 - Réalisation d'un seuil fixe au droit du tunnel de délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier- Etude hydromorphologique)

- L'**anthropisation très importante de son lit et de son bassin versant** (création d'un tunnel le long de l'autoroute A50 de l'ordre de 1,2 km, cuvelage de la rivière dans sa traversée de Toulon centre sur un linéaire de 900 m environ (secteur de la Rode) ; travaux réalisés au 20ème siècle, en lien avec la problématique inondation).
- Un **exutoire artificiel** (tunnel sous le fort Lamalgue dans le quartier du Mourillon sur un linéaire de 600 m environ, d'une **capacité de 45 m^3/s** réalisé au milieu du 19ème siècle - 1856 et réaléser en 1956).



Tronçon urbain bétonné (La Rode)



Embouchure (plage du Mourillon)

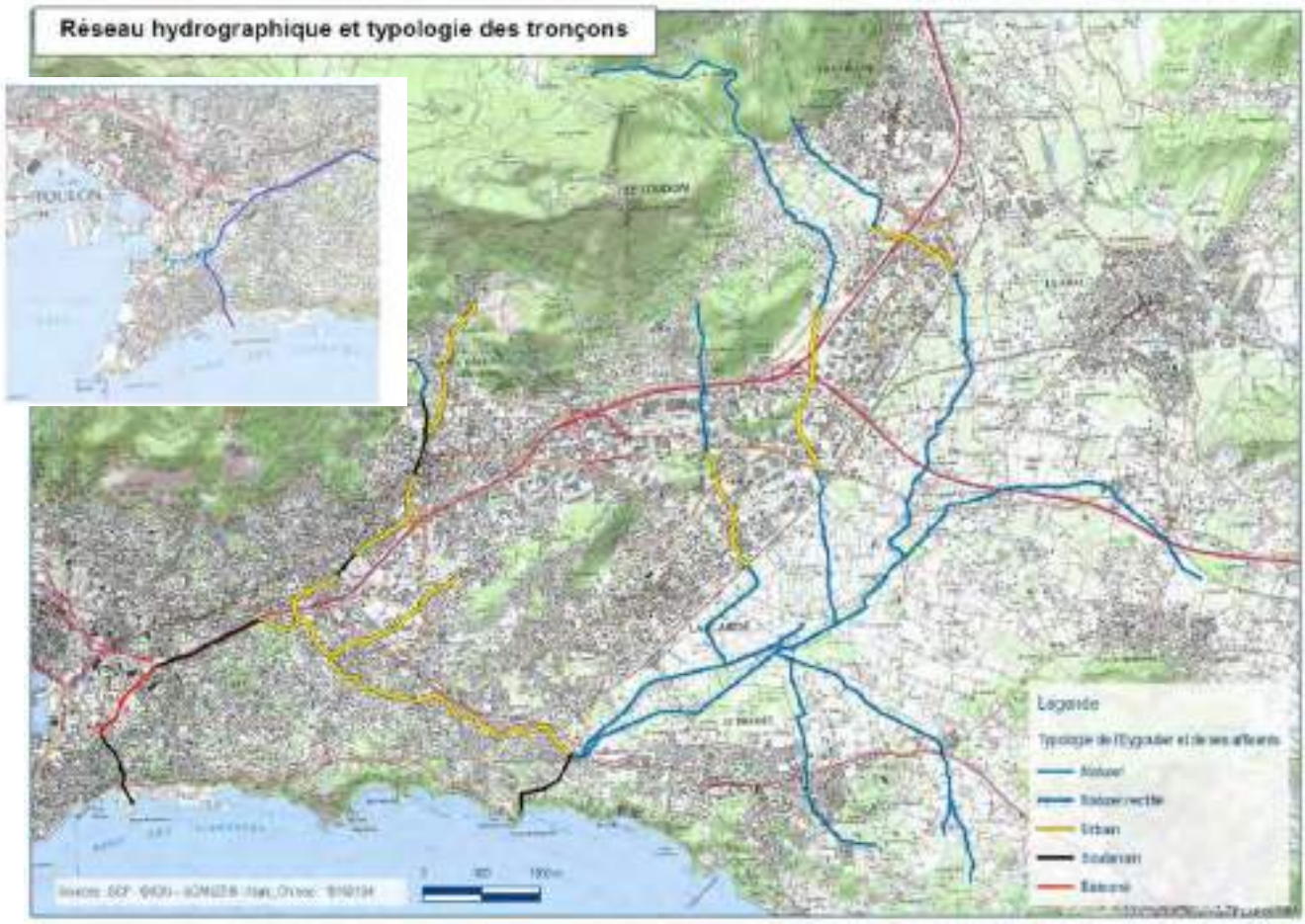


Figure 4 - Tracé de l'Eygoutier et ses affluents, carte précisant la nature du lit et des berges : tronçons souterrains, tronçons bétonnés, tronçons urbains (i.e. tronçons en milieu urbain où le lit n'est ni bétonné ni souterrain), tronçons naturels (i.e. lit mineur en terre dans un environnement agricole/naturel) et tronçons en terre dont le cours a été rectifié. Cette typologie est basée sur les reconnaissances de terrain et le mémoire Lutte contre les inondations (octobre 2012 – TPM). Source (SCP, 2016)

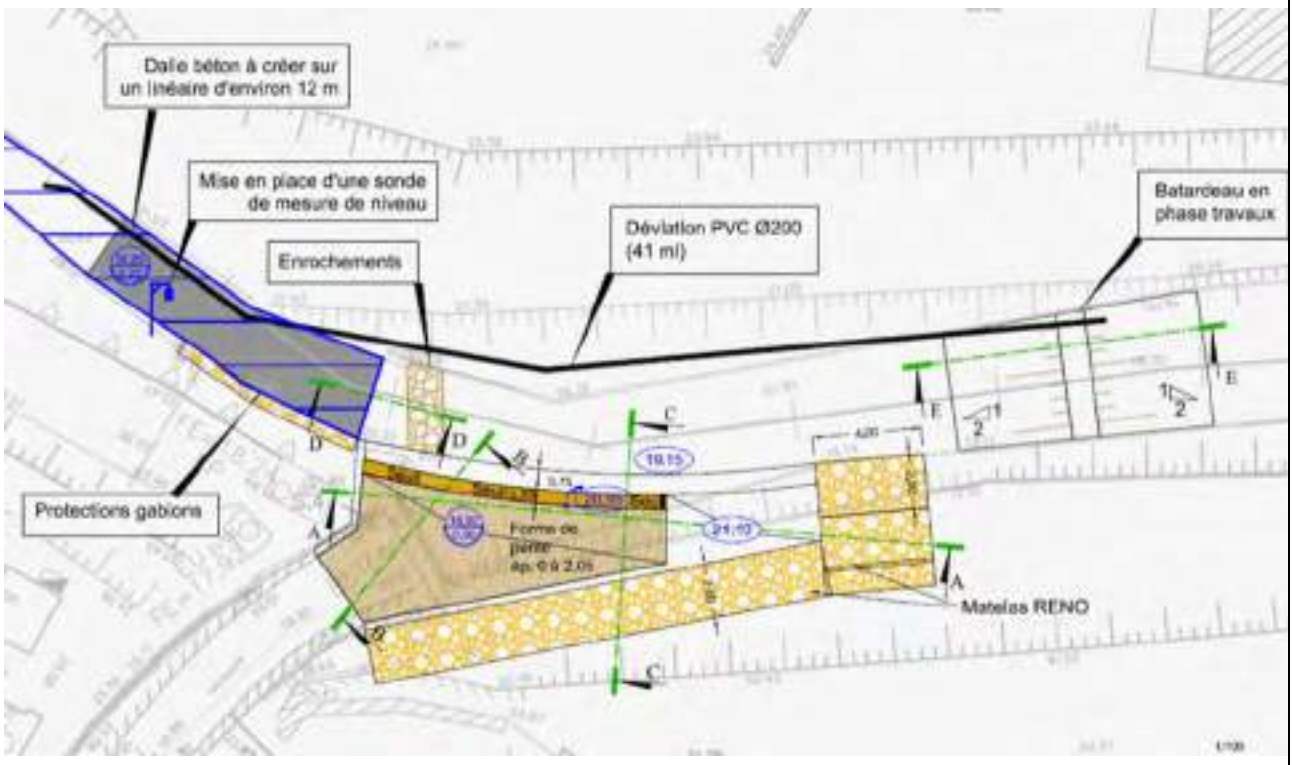
A retenir :

Les caractéristiques géomorphologiques et anthropiques du bassin versant de l'Eygoutier (S=68.12 km²) amènent à considérer deux grandes parties dont le fonctionnement hydrologique est différencié :

- **Une partie amont du bassin versant dit "bassin versant de la plaine de la Garde" en amont du pont de la Clue (S=44.06 km²)**, dont tous les affluents très urbanisée et très pentue se rejoignent dans une immense plaine naturelle.
- **Une partie aval dit "bassin versant de Toulon ou toulonnais" en aval du pont de la Clue (S=24.06 km²).** Cette partie aval est très fortement urbanisée également et quasiment « déconnectée » de l'amont (cette « déconnection » est à considérer au regard du temps de réponse de la partie aval du bassin versant par rapport à la partie amont).

A noter les travaux réalisés en 2018 au niveau du Pont de la Clue. Aussi les quatre points après ouvrage de partition ne sont plus d'actualité. Il y a maintenant un seuil déversant vers le tunnel de délestage (cf. dossier de modification d'ouvrage SAFEGE 2017).




Dalle béton à créer sur un linéaire d'environ 12 m
Mise en place d'une sonde de mesure de niveau
Enrochements
Déviation PVC Ø200 (41 ml)
Batardeau en phase travaux
Protections gabions
Matelas RENO

1.3 SYNTHESE : DEBITS CARACTERISTIQUES "HYDROLOGIQUES"

Les principaux résultats en termes de pluie et de débits de références sont reportés en annexe I. La difficulté d'interprétation de ces résultats est notamment le manque d'information sur les surfaces de bassin versant étudiées.

Tableau 2. Principaux résultats en termes de pluie et de débits de références issus des études antérieures

Point de calcul	BV [km²]	Q2	Q5	Q10	Q20	Q30	Q50	Q100	Source	Commentaires
Bassin versant amont du pont et du tunnel de la Clue										
Pont de la Clue (amont)	?			75					Sogreah, 1975 - citée par CETE, 2003 et SCE, 2007	
Pont de la Clue (amont)	51			141		211	241	279	Coyne et Bellier, 1979 - citée par SCE, 2007	Situation "Actuelle" Majoration de 20% de la pluie de projet et abattement spatiale
Pont de la Clue (amont)	51			142		212	241	279	Coyne et Bellier, 1979 - citée par SCE, 2007	Situation POS
Pont de la Clue (amont)		-		140	-	210	240	280	CETE, 1988 - citée par SCE, 2007	
Pont de la Clue (amont)				85					Daragon, 1993	Majoration de 20% de la pluie de projet et abattement spatiale. IDF issues des pluies mois d'hiver et d'automne.
Pont de la Clue (amont)				95					Daragon, 1993	Horizon POS
Pont de la Clue (amont)				108				285	Daragon-Sogreah, 2002	Horizon POS
Plaine de la Garde				105		181	227	280	Artelia, 2013	Utilsation des données CETE, 2003. ?
Amont Tunnel Clue		9		19	25		39	45	SAFEGE, 2017	d'après l'étude ARTELIA de 2008),
Pont de la Clue (amont)				140		210	240	280	CETE, 1988 - citée par SCE, 2007	La crue de référence utilisée est celle de 1978 assimilée à une crue de période de retour 100 ans. . le débit de projet n'est pas relié explicitement à des données pluviométriques
Sainte - Musse	3.8 km²								Daragon, 1988 - citée par SCE, 2007	Le débit maximum calculé à l'aval est de 37,95 m3/s, ramenés à 34,10 m3/s en prenant en compte une « contrainte amont » (Quel temps de retour ?).
Sainte-Musse	-							25	Sogreah, 2003	construction du nouvel hôpital sur le site de Sainte-Musse
Sainte-Musse	3.3							45	SOGREAH 2004- citée par SCE, 2007	

St Joseph	8.1							50	SOGREAH 2004- citée par SCE, 2007	
Pont de la Clue (amont)				84.32					SIB, 1994	issue de Daragon ?
Aval tunnel		8.5		15.2	18		22.8	24.5	SAFEGE, 2017	Vanne ouverte
Pont de la Clue (aval)*								10	DDE, 1987 - citée par SCE, 2007	*u pont de la Clue au ruisseau Ste Musse
Aval ruisseau St-Joseph*								48.9	DDE, 1987 - citée par SCE, 2007	* du ruisseau St Joseph à l'ouvrage autoroutier
Pont de la Clue (aval)								10	CETE, 1988 - citée par SCE, 2007	La crue de référence utilisée est celle de 1978 assimilée à une crue de période de retour 100 ans. . le débit de projet n'est pas relié explicitement à des données pluviométriques
Aval ruisseau St-Joseph								45	CETE, 1988 - citée par SCE, 2007	La crue de référence utilisée est celle de 1978 assimilée à une crue de période de retour 100 ans. . le débit de projet n'est pas relié explicitement à des données pluviométriques
Tunnel de Lamalgue de				80 110					Daragon, 1989	La pluie de projet est décennale (situation actuelle et horizon POS)
Tunnel de Lamalgue de				102					Daragon, 1990	La pluie de projet est décennale. Le logiciel utilisé par le modèle est le logiciel CEDRE.
Tunnel de Lamalgue				114.54					SIB, 1993	issue de Daragon ?

Les différences observées dans le tableau 2 peuvent s'expliquer par des différences dans les méthodes d'estimation et les surfaces de bassin versant considérées.

2 DONNEES HYDROMETEOROLOGIQUES DISPONIBLES SUR LA ZONE D'ETUDE

Les données nécessaires à l'analyse du comportement hydrologique du bassin versant de l'Eygoutier et à la détermination des débits et des hydrogrammes de références sont de trois ordres :

- Données pluviométriques (enregistrées aux stations pluviométriques des réseaux Météo-France et autres stations privées ou de réseaux semi-professionnels) issues des études antérieures ou collectées auprès de la DDTM83, de Météo-France, de sites Internet.
- Statistiques des pluies (statistique locales).
- Données Hydrométriques des stations alentours extraites de la BANQUE HYDRO et des stations expérimentales, communales ou privés.

2.1 DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Les données pluviométriques utilisées visent à caractériser en termes de cumuls, durées, période de retour etc., les événements "inondation" marquant sur l'Eygoutier mais aussi à déterminer les hyétogrammes de pluies utilisables dans la modélisation.

2.2 RESEAUX ET STATIONS PLUVIOMETRIQUES (A L'INTERIEURE ET A L'EXTERIEURE DU PERIMETRE)

Il existe différents types de stations pluviométriques appartenant à différents types de réseau sur le secteur élargi de la zone d'étude :

- **Réseau de station du site Météo France (données la plupart du temps payantes).** Plusieurs stations Météo France fournissent des données pluviométriques de base. Les séries chronologiques issues de ces stations sont de longueurs très variables et de différents types (données horaires, journalières, voire uniquement mensuelles). Les stations automatiques actuellement en fonctionnement et intéressant le périmètre élargi de l'étude sont listées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3. Liste des stations Météo France utilisées

INSEE	Nom	Lieu-dit	Début	Alt m	Type	CUMUL DE PRECIPITATIONS EN 6 MN	HAUTEUR DE PRECIPITATIONS HORAIRE	HAUTEUR DE PRECIPITATIONS QUOTIDIENNE
83035001	LE CASTELLET	AERODROME	01/03/1969	417	1	01/07/2005	01/01/1993	01/03/1969 (3 séries)
83049005	CUERS	AERODROME	01/07/1997	72	1	01/07/2005	24/06/1998 (2 séries)	01/06/1998 (2 séries)
83069001	HYERES	B A N LE PALYVESTRE	01/02/1958	2	0	01/07/2005	07/04/1994	01/02/1959
83137001	TOULON	LA MITRE	01/04/1936	23	1	01/07/2005	01/01/1993	11/11/1944
83153001	SAINT-MANDRIER-SUR-MER (CAP CEPET)	VIGIE DE CEPET	01/10/1968	115	0	01/07/2005	15/10/1995	01/10/1968

Ces stations automatiques apportent des connaissances de la pluie sur des pas de temps infra-journaliers. La station de la Mitre à Toulon dispose d'une période d'observation relativement longue et fiable (1971-2018). La station enregistre les données aux pas de temps 6 minutes. Les précipitations quotidiennes sont calculées de 6 h UTC le jour à 6 h UTC le lendemain.

Des données gratuites peuvent être récupérées sur le site d'Infoclimat de 1973 à nos jours sur certaines stations du réseau Météo-France (Toulon, Cap Cepet et Hyères) avec certaines restrictions. **Attention** : Les données entre 1973 et 2003 sont journalières et ne suivent pas forcément les mêmes conventions et normes que les données récentes (cumul relevé entre 6h TU et 6h TU le jour suivant ...). Les précipitations sont plutôt reportées sur le jour suivant par rapport aux phénomènes. Il peut donc y avoir des petites différences avec la climatologie officielle. (Exemple pour Toulon la Mitre : in https://www.infoclimat.fr/observations-meteo/archives/1er/mars/2015/toulon-la-mitre/07660.html). Les données après 2003 semblent être les mêmes que les données officielles.

Des données peuvent aussi être récupérées gratuitement sur le site de météociel sur 2 stations du réseau Météo-France (Toulon et Hyères) avec également les mêmes restrictions (https://www.meteociel.com/).

D'autres sites "amateurs" permettent de récupérer des données anciennes gratuitement : http://meteo-climat-bzh.dyndns.org. Les données journalières semblent être calculées entre 6h TU et 6h TU le jour suivant. Ces données ont été récupérées avant 2003. La confrontation avec les données Météo-France ou celles issues d'Infoclimat après 2003 montrent des disparités pour la station de Toulon.

- **Réseau StatIC du site Infoclimat.fr (données gratuites)**. Des stations météo semi-professionnelles du réseau Static d'Infoclimat [1] dans la limite de l'étude fournissent des données pluviométriques de base (climatologie mensuelle, précipitations quotidiennes, précipitation infra-journalière). Les données pluviométriques ne sont pas forcément complètes et de longueurs très variables. Les données infra-journalières sont à un pas de temps variables suivant les années toutes les 6 h, 3 h ou 1h. Attention les horaires sur les séries récupérées sont en local et non UTC.

  Les stations utilisées du site Infoclimat.fr sont listées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4. Liste des stations du Réseau StatIC utilisées

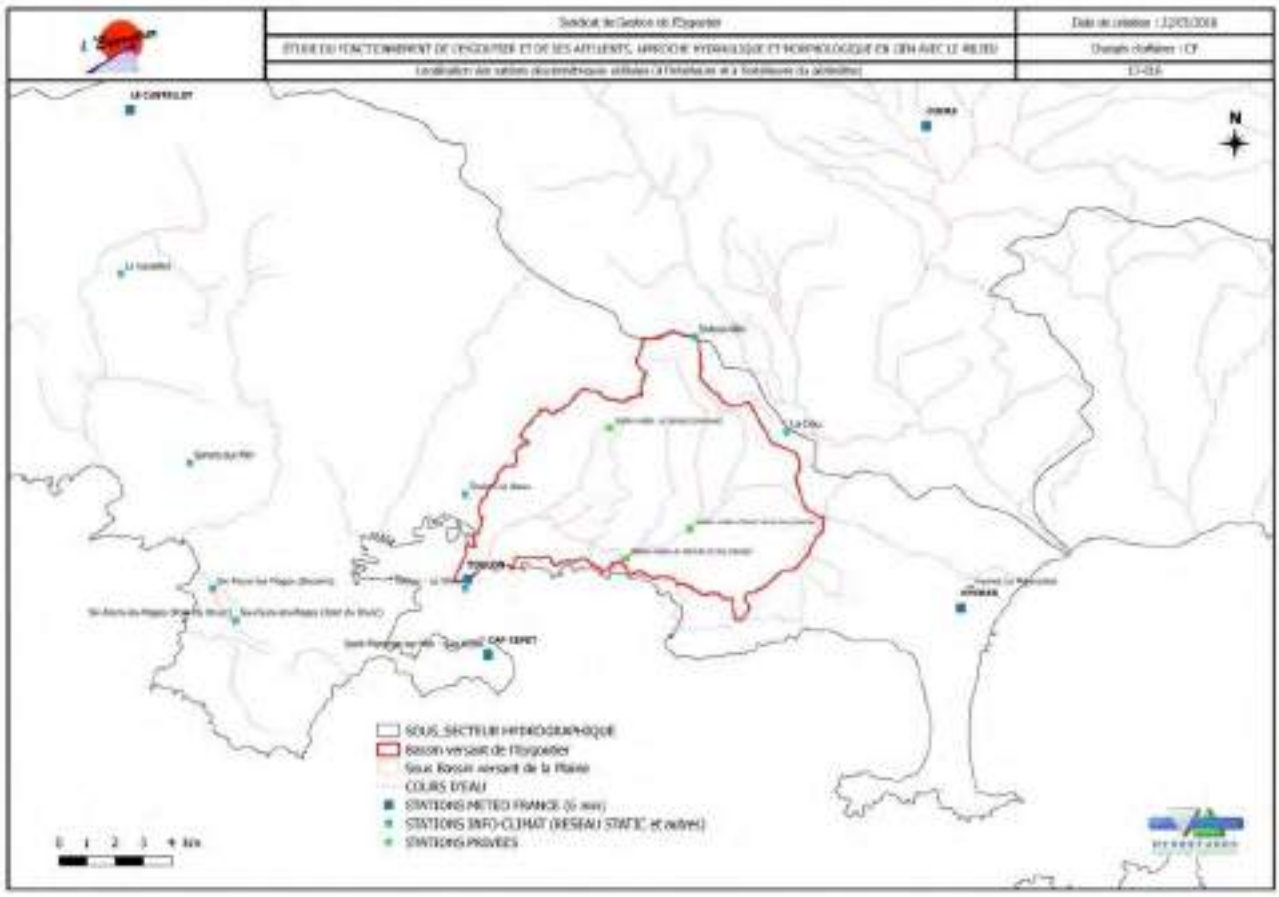
Nom de la station	Début-des-archives	**Altitude**	**Dernier report**	**Type**	**Producteur**
Solliès-Ville	30/07/2007	125	O	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**
La Crau	01/07/2013	40	07/02/2016	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**
Toulon-Le Baou	01/10/2008	118	O	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**
Le Castellet	01/04/2012	123	O	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**
Sanary-sur-Mer	01/10/2012	67	O	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**
Six-Fours-les-Plages (Bucarin)	inconnu	15	O	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**
Six-Fours-les-Plages (Pont du Brusc)	Inconnu	**35**	O	Réseau StatIC	**Infocimat.fr**

- D'autres stations privées citées dans d'autres études :
  - Station "Véolia» au pont de la Foux (1995-2007, 2 à 3 données par jour (HYDRATEC, 2008).

[1] Infoclimat est une association à but non lucratif régie par la loi de 1901, créée le 15 Octobre 2003 par les co-auteurs du site internet www.infoclimat.fr (dont la création remonte au 7 Octobre 2001). Le réseau StatIC est leréseau des stations amateures en ligne d'Infoclimat.

- 2 Stations "Véolia" du pont de la Clue gérée par Véolia pour le SIAHE (peu de données horaires disponibles) (STATION EPURATION DE LA CLUE + BATARDEAU DU PONT DE LA CLUE) citées dans (SAFEGE, 2015, INGEROP, 2017). La station du pont de la Clue relève les cumuls pluviométriques sur des pas de temps horaires. Les données avec des relevés horaires sont stockées informatiquement pendant environ 6 mois. Passés ce délai, les données doivent être archivées dans un format demandant davantage de temps pour être exploités.
- Station des Serres (gérée par la commune de La Valette du Var) située dans le quartier de Baudouvin à la Valette citées dans (SAFEGE, 2015, INGEROP, 2017). Elle relève les cumuls pluviométriques sur des pas de temps variables (généralement adaptés à l'intensité des pluies). Les données avec des relevés infra-journaliers sont stockées pendant un peu plus de deux ans.

La figure ci-dessous permet de localiser les différentes stations pluviométriques disponibles sur le secteur élargi de la zone d'étude.



2.2.1.1 Données pluviométriques locales collectées

Les données pluviométriques suivantes, enregistrées aux stations pluviométriques des réseaux météo-France et autres réseaux semi-professionnels ou privés, ont été collectées à partir des études antérieures ou auprès de la DDTM83 (http://www.var.gouv.fr/tableau-des-precipitations-a1350.html), de Météo-France (données payantes de la Publithèque de Météo-France, publitheque.meteo.fr) et des sites Internet *ad hoc* (infoclimat.fr, meteociel.com) :

- Fiche climatologique 'températures/précipitations' (records pluviométrique en 24h et par mois) à la station de Toulon la Mitre et Hyères Ban le Palyvetsre. Les précipitations quotidiennes sont calculées de 6 h UTC le jour à 6 h UTC le lendemain.

- Cumuls mensuels des précipitations et précipitations maximale en 24h de 2007 à 2017 (10 années). Base de données Météo-France sur l'ensemble des 5 stations Météo-France d'intérêt (Toulon, Hyères, Cap Cepet, Cuers et Le Castellet). Quelques cumuls mensuels des précipitations et précipitations maximale en 24h récupérés sur le site de infoclimat.fr pour les événements "inondation" remarquables anciens de l'Eygoutier.
- Cumul de précipitations 24h (2006-2008 et 2012 à 2017), base de données Météo-France sur l'ensemble des 5 stations Météo-France d'intérêt. Les précipitations quotidiennes sont calculées de 6 h UTC le jour à 6 h UTC le lendemain.
- Cumul de précipitations 24h de 1995-2005 et 2010-2011 au pont de la Clue (Batardeau) et de 1999-2005 et 2013-2016 au pont de la Clue (STEP), base de données "Veolia" pour les 2 stations d'intérêt. Pas d'indication sur la fenêtre 24h utilisée pour les calculs.
- Cumul de précipitations 24h de 1973 à 2016 pour les événements "inondation" remarquables de l'Eygoutier, bases de données multiples (Météo-France, infoclimat, meteociel et meteo climat) sur l'ensemble des stations d'intérêt. Les précipitations quotidiennes sont calculées de 6 h UTC le jour à 6 h UTC le lendemain à partir de 2003. Pour les données entre 1973 et 2003, les calculs peuvent être différents suivant l'origine des données. Les données calculées de 6 h UTC le jour à 6 h UTC sont privilégiées (Météo-France, météo climat)
- Cumul sur 5 jours, 3 jours et 1 jour pour les événements "inondation" remarquables de l'Eygoutier de 1973 à 2016 (bases de données multiples).
- Les données "Précipitations 6 minutes" à la station de Toulon la Mitre ont été achetées et cela pour certain événements caractéristiques (cf. tableau ci-dessous). Les précipitations en 30 min, 1 heure…24h utilisées par la suite pour qualifier ces événements caractéristiques sont issues de ces mesures par pas de 6 minutes et sont décomptées sur 30 min, 1 heure…24h heures glissantes.

Tableau 5 - Détails des données "Précipitations 6 minutes" à la station de Toulon la Mitre achetées et cela pour certains événements caractéristiques (cf. chapitre 4.2.3.3 page 65)

NOM	Date et heure de début	Date et heure de fin
Evénement pluviométrique du 8 octobre 2008	08/10/2008 05:00:00	09/10/2008 12:54:00
Evénement pluviométrique du 3 au 9 octobre 2011	03/11/2011 01:00:00	09/11/2011 23:54:00
Evénement pluviométrique du 11 octobre 2012	11/10/2012 08:00:00	12/10/2012 23:54:00
Evénement pluviométrique du 26 octobre 2012 **ATTENTION : La pluviométrie au poste de Toulon n'est pas représentative**	26/10/2012 09:00:00	26/10/2012 15:54:00
Evénement pluviométrique du 13 décembre 2013	13/12/2012 00:00:00	15/12/2012 23:54:00
Evénement pluviométrique du 8 septembre 2013 *	08/09/2013 01:00:00	08/09/2013 09:54:00
Evénement pluviométrique du 19 septembre 2014	19/09/2014 08:00:00	23/09/2014 08:54:00
Evénement pluviométrique du 24 au 27 novembre 2014	24/11/2014 06:00:00	28/11/2014 06:54:00
Evénement pluviométrique du 10 février 2014	09/02/2014 23:00:00	10/02/2014 18:54:00
Evénement pluviométrique de la nuit du 6 et 7 octobre 2014	06/10/2014 21:00:00	07/10/2014 07:54:00

Evénement pluviométrique du 11 octobre	11/10/2014 04:00:00	11/10/2014 07:54:00

*Acquis par Ingerop en 2015/2017

2.2.1.2 Données sur la répartition spatiale de la pluie (extension géographique)

Les données suivantes sont disponibles :

- **Cartographie Météo France des cumuls sur 1j, plusieurs jours issus du site "Pluies extrêmes en France métropolitaine** (http://pluiesextremes.meteo.fr)". Il s'agit d'une information journalière interpolée : cartes des pluies journalières (ou plus) issues de l'interpolation à la maille du km² des pluies journalières enregistrées par le réseau de pluviomètres. La pluie journalière s'étend de 6h TU le jour J à 6h TU le lendemain (J+1). Une sélection cartographique des événements pluvieux les plus remarquables sur le Var est disponible sur le site : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Var.html
- **Pluies de bassin versant à partir des données radar** (- données payantes de Météo-France.). Les lames d'eau au pas horaire ou journalier sur le bassin versant de l'Eygoutier pourraient être obtenues à partir des lame d'eau Antilope temps-réel (cette dernière est réputée plus fiable que la lame d'eau Panthère car elle intègre à la fois les réflectivités radar (pour la partie convective des précipitations) et les valeurs des pluviomètres au sol (pour la partie stratiforme); cependant cette lame d'eau n'est disponible qu'au pas de temps horaire, alors que la lame d'eau Panthère peut être obtenue au pas de temps 5mn).

  Rappelons cependant comme le dit Fouchier (2010) que : « La mesure de pluie par les radars hydrométéorologiques se révèle séduisante par la connaissance qu'elle apporte sur la répartition spatiale de la pluie. Elle présente toutefois de nombreuses sources d'incertitudes qui peuvent nuire à la qualité de l'estimation des lames d'eau : atténuation du signal, phénomènes d'échos de sols, modélisation du profil vertical de réflectivité et en particulier de la bande brillante, incertitudes sur la loi de conversion du signal en hauteur de pluie (Andrieu, 2002, Villarini et Krajewski, 2010). » L'analyse des pluies radar menée par Fouchier (2010) sur le quart sud-est du territoire métropolitain (zone méditerranéenne) s'est intéressée aux pluies événementielles puis journalières de bassin. Elle confirme la tendance à la sous-estimation de la pluie radar par rapport à la pluie au sol.

A l'heure actuelle, les données récupérées pour décrire la répartition spatiale (extension géographique) des événements pluviométriques sont issues des études antérieures, des retours d'expériences dans lesquels des images radar ont été acquises, et du site "Pluies extrêmes en France métropolitaine" de météo France (http://pluiesextremes.meteo.fr)".

2.2.1.3 Statistiques locales des pluies : postes pluviométriques

Seules les stations du réseau Météo France ont des séries assez longues pour fournir des quantiles de pluies pour différentes durées. Les quantiles utilisés sont issus des données Météo-France ou des études antérieures. Pour une même station, ils peuvent être variables d'une étude à une autre suivant les hypothèses ou les périodes d'observation.

Les données suivantes sont disponibles :

- Le **Coefficient de Montana**[2] (produit Météo France), permettant de calculer l'intensité maximale d'un épisode pluvieux d'une durée définie ou la hauteur d'eau maximale à attendre pour un épisode pluvieux de courte durée.

[2] Pour rappel, la connaissance des coefficients de Montana permet de calculer l'intensité maximale d'un épisode pluvieux d'une durée définie ou la hauteur d'eau maximale à attendre pour un épisode pluvieux de courte durée ; information essentielle pour construire les courbes Intensité–Durée–Fréquence (IDF) puis les pluies de projet à injecter dans le modèle pluie/débit.

Actuellement, les stations les plus proches pour lesquelles les coefficients de Montana (et donc les courbes Intensité-Durée-Fréquence) sont directement disponibles sur le site de Météo-France sont : HYERES (83) à 8.5 km de La Crau- altitude : 2m et LE LUC (83) à 36.3 km de La Crau - altitude : 80m. La station de Toulon n'est pas disponible directement *(mais de manière off line auprès d'un conseiller).* De plus, pour obtenir les coefficients de Montana il s'agit de choisir un pas de temps. Deux plages de valeurs sont souvent utilisées.

Les coefficients de Montana pour la station de Toulon la Mitre ont été récupérés auprès de Météo France lors de l'étude SCE de 2007 et SAFEGE de 2015 (respectivement sur l'Eygoutier et le Saint-Joseph) pour le compte du SIAHE.

Dans l'étude SCE, les coefficients de Montana sont fournis pour un ajustement statistique (loi GEV) sur la période 1971 – 2005 sur le pas de temps entre 15min et 2h pour les pluies courtes et sur le pas de temps entre 2h et 24h les pluies longues.

Tableau 6 - Statistiques sur la période 1971 – 2005 pour la station de Toulon la Mitre utilisées dans l'étude SCE de 2007 (Formule des hauteurs). Pas de T=2 ans !

		Paramètres de Montana			
		Couple 1		Couple 2	
		t mini	t maxi	t mini	t maxi
		6	120	121	1440
		a (mm/mn)	b(mn)	a (mm/mn)	b(mn)
Période de retour (ans)	1				
	2				
	5	4,868	0,522	10,265	0,681
	10	6,144	0,536	12,399	0,684
	20	7,695	0,554	14,525	0,687
	25				
	30	8,718	0,565	15,771	0,688
	50	10,257	0,581	17,315	0,69
	75				
	100	12,688	0,605	19,455	0,691

Dans l'étude SAFEGE réalisée en 2015 les Coefficients de Montana auprès de Météo France ont aussi été récupéré directement auprès de Météo France :

- sur la station d'Hyères établis sur la période 1977-2011 suivant une loi GEV (83069001);
- sur la station de Toulon Saint-Mitre établis sur la période 1971-2005 suivant une méthode du renouvellement (83137001).

L'étude ne fournit pas les coefficients utilisés. Le pas de temps sur lesquels les coefficients ont été calculés est : 15 min – 6 h (sans pivot) .

- **Les Durées de Retour de Précipitations** (produits Météo France) au pas de temps journalier (1 et 10 jours) ou infra-journalier (6 minutes et 192 heures).

  Comme pour les coefficients de Montana, les statistiques à la station de Toulon ne sont pas actuellement disponibles directement sur le site *(mais de manière off line auprès d'un conseiller).* Les stations les plus proches sont : CAP CEPET (83) à 5.1 km - altitude : 115m (uniquement pour les données journalières) et HYERES (83) à 17.8 km - altitude : 2m.

  Les ajustements statistiques effectués par Météo France sont réalisés par la méthode du Renouvellement ou par d'autres loi traitant les maximaux annuels (loi de Gumbel ou plus récemment Méthode GEV Locale–Régionale).

Les quantiles estimés par Météo France variant selon la méthode utilisée et la période d'analyse, les données récupérées auprès de Météo France dans les études antérieures peuvent être différentes de celles actuellement disponibles auprès de Météo France.

Station de Toulon-La Mitre (Indicatif : 83137001)

Les quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon (Indicatif : 83137001) ont été mis à jour auprès de Météo-France dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, réalisée au premier semestre 2016 par INGEROP (cf. étude INGEROP (2017) sur la Planquette). Les quantiles de précipitation pour toutes les périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans, et 100 ans) et toutes les durées (6 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h et 192h) ont été acquis auprès de Météo France. Le tableau ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis (Ingerop, 2017 - Etude Planquette).

La méthode utilisée est la méthode du renouvellement qui ajuste pour une station toutes les précipitations supérieures à un seuil donné : les hauteurs sont ajustées par une loi de Pareto généralisée et la loi utilisée pour ajuster les nombres annuels de dépassement est la loi asymptotique.

Les fiches de Météo France ne montrent pas les ajustements confrontés aux données observées.

Remarque : Jusqu'en 2012, les durées de retour de précipitations étaient estimées à Météo-France au moyen de la méthode du renouvellement et de la méthode GEV (loi généralisée des extrêmes, Generalized Extreme Value distribution, qui permet d'obtenir des ajustements de niveaux de retour à partir des maxima annuels). Aujourd'hui c'est la méthode Locale-Régionale GEV qui prévale.

Tableau 7. Quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) - Méthode du renouvellement au poste météorologique de Toulon pour la période 1971 - 2012 et base SHYREG pluie pour T = 2 ans

Durée			Période de retour (ans)						
Jours	heures	minutes	2 ans (1)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
		6	8.6*	10.1	11.3	12.3	12.8	13.4	14.1
		15	13.6*	18.2	20.6	22.8	24.0	25.3	27.0
		30	19.2*	26.9	31.4	35.8	38.3	41.6	45.9
	1	60	27.2	36.9	43.4	49.9	53.7	58.6	65.2
	2	120	33.1	47.2	55.7	64.6	70.0	76.9	86.6
	3	180	38.3	53.3	64.3	76.8	84.8	95.7	112.0
	6	360	49.5	70.5	84.9	101.1	111.5	125.6	146.8
	12	720	63.7	88.0	102.1	116.3	124.6	135.2	149.8
1	24	1440	78.8	105.2	122.1	139.2	149.2	162.0	179.5
2	48		94	123.9	141.0	157.1	166.1	177.0	191.1
3	72		102.5						
4	96			146.3	174.0	204.0	222.6	247.3	283.0
8	192			174.0	202.2	230.2	246.5	267.0	294.7

(1) SHYREG (point de grille : coordonnées géographiques Lambert2 étendu X = 8920, Y = 17990)

*"les quantiles de précipitation pour les durées inférieures à 1h de la période de retour 2 ans ont été obtenus par interpolation par la loi de Montana, en considérant un coefficient b = 0.5. En effet, pour la période de retour 2 ans, les quantiles METEO FRANCE comportaient une erreur et ils étaient inexploitables. Dans le cadre de l'acquisition auprès de METEO FRANCE de ces

quantiles, dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, METEO FRANCE nous a transmis en remplacement les quantiles SHYREG pour la période de retour de 2 ans. Les quantiles SHYREG ont la particularité de n'être disponible qu'à partir d'une durée de 1h. Pour des durées inférieures, d'après les conseils de Jacques Lavabre (ingénieur de recherche au sein d'IRSTEA), il est possible de déduire les quantiles de précipitation en considérant un coefficient b=0.5. Le coefficient a est nécessairement égal au quantile de précipitation pour la durée 1h. Remarque (Ingerop, 2017) "

Ces données sont récentes et robustes ; elles sont utilisées comme référence dans la présente étude pour la station de Toulon la Mitre (83137001).

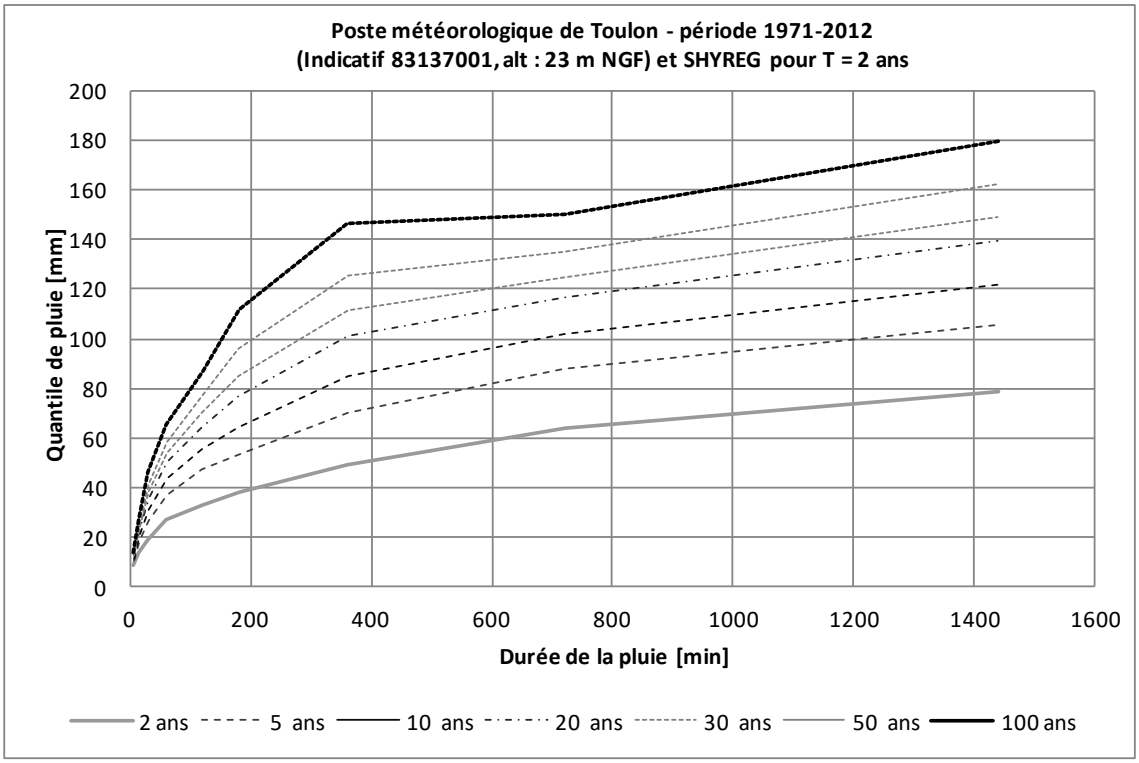


Figure 5. Quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) - Méthode du renouvellement au poste météorologique de Toulon pour la période 1971 - 2012 et base SHYREG pluie pour T = 2 ans

A titre de comparaison le tableau suivant présente également les valeurs statistiques des pluies journalières à la station de Toulon estimées lors de l'étude l'analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau (SCE / AQUA CONSEILS, 2015). Attention, la période d'analyse n'est pas indiquée. Les valeurs utilisées par Ingerop sont proches de celles obtenues lors de l'étude sur le Gapeau.

Tableau 8. Valeurs statistiques des pluies journalières à la station de Toulon estimées lors de l'étude l'analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau (SCE / AQUA CONSEILS, 2015).

	Période de retour P 24h				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Ajustement par loi GEV selon Météo France (Ingerop, 2017)	**105,2**	**122,1**	**139,2**	**162**	**179,5**
Ajustement par loi GEV selon le Référentiel Hydrologique du Bassin de l'Argens (source : SCE/AQUACONSIEL, 2015)	91	106	120	143	171

Ajustement par loi de Gumbel (source : SCE/AQUACONSIEL, 2015)	99	120	139	163	
Ajustement par la méthode du Renouvellement (source : SCE/AQUACONSIEL, 2015)	99	115	130	150	165

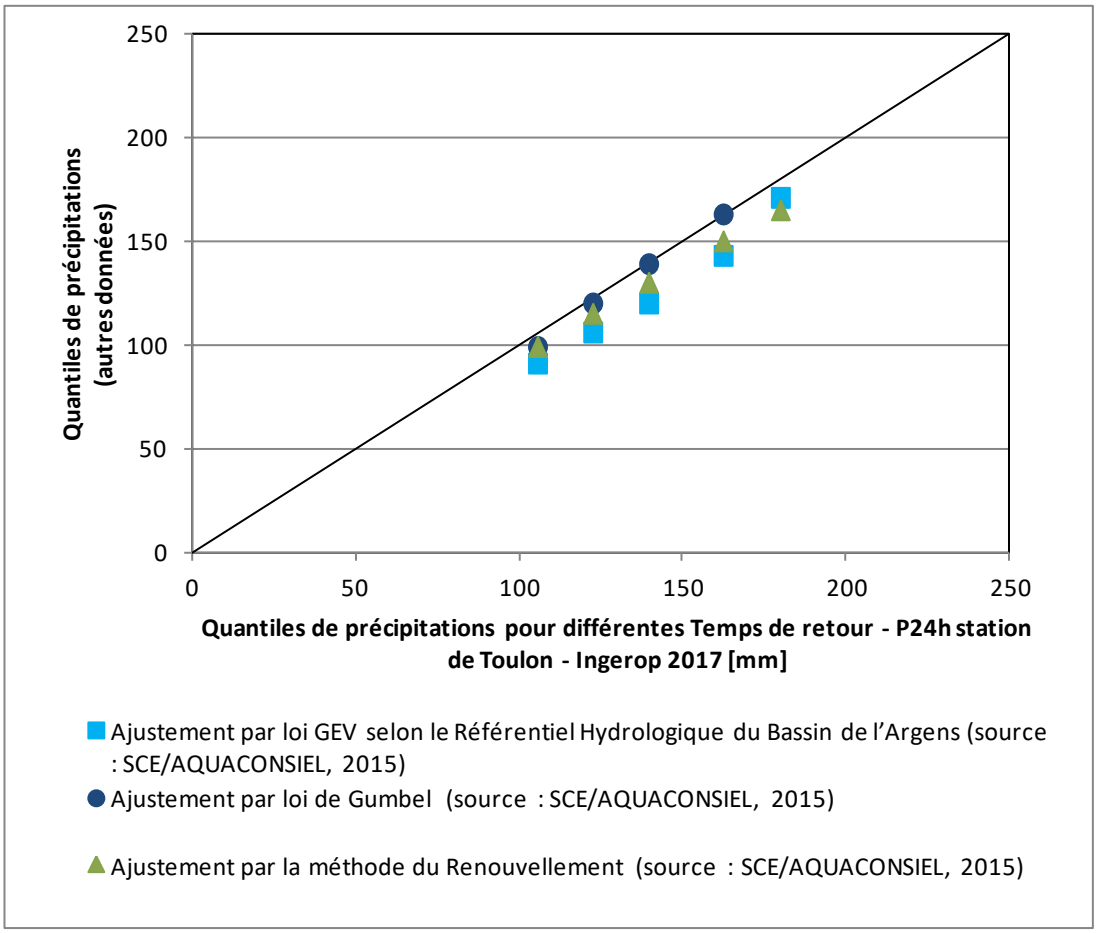


Figure 6. Comparaison des quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF)

<u>Station de Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif : 83069001).</u>

Les quantiles de précipitation pour les périodes de retour (5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans, et 100 ans) et les durées (30 min, 1h, 1.5h, 2h, 6h, 12h, 24h) ont été récupérés au poste d'Hyères par Ingerop en 2017 dans son étude sur la Planquette mais la période d'analyse indiqué est 1977-2005. De plus, comme le montre le tableau ci-dessous, les quantiles de précipitation recueillis présente quelques incohérences au niveau des pas de temps (deux lignes du tableau ne sont pas correctes… Les pas de temps 1.5 (≠ 120 min) et 2h (180 min). Les données sont manquantes pour la durée de 24h. Les périodes de retour de 2 ans ne sont pas disponibles à cette station. Les données P24h sont celles récupérées lors de l'étude l'analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau (SCE / AQUA CONSEILS, 2015). La période d'estimation est inconnue.

Tableau 9. Quantiles de précipitation pour Hyères (Ingerop, 2017) - Poste météorologique de Hyères - Ban le Palyvestre pour la période 1977 - 2005 (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF)

		Période de retour					
Durée (en h)	Durée (en min)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
0.5	30	23.3	27.6	31.8	34.3	37.3	41.4
1	60	31.6	37.2	42.8	46.1	50.0	55.4
1.5	*120*	*37.7*	*44.4*	*50.9*	*54.8*	*59.3*	*65.7*
2	*180*	*42.8*	*50.3*	*57.6*	*61.9*	*67.0*	*74.2*
6	360	69.3	80.9	92.2	98.8	106.6	142.9
12	720	93.9	109.2	124.0	132.8	142.9	157.7
24*	1440	98	117	136	-	160	179

* (SCE / AQUA CONSEILS, 2015)

Une mise à jour de ces données a été réalisée en 2018 par HYDRETUDES :

- Les quantiles de 6mn, 30mn, 1 h, 2h, 6h et 12h ont é été acquis pour la présente étude auprès de Météo France en 2018 par HYDRETUDES. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV pour ces pas de temps contient 56 valeurs maximales annuelles pour la période 1982–2016. Il provient également de la station 83031001 (LE_LUC) située sur un rayon de 37.6 km.
- Les quantiles de 24 h manquant ont été acquis pour la présente étude auprès de Météo France en 2018 par HYDRETUDES. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV pour l'épisode 24H contient 202 valeurs maximales annuelles sur la période 1977–2014 et provient également des 8 stations : 83153001 (CAP_CEPET), 83049003 (CUERS–POUVEREL), 83137001 (TOULON), 83043005 (COLLOBRIERES), 83042001 (COGOLIN), 83031001 (LE_LUC), 83083001 (MONTFORT–SUR–ARGENS), 83116004 (ST_MAXIMIN–OLLI) situées sur un rayon de 49.2 km.

La méthode de calcul retenue par Météo-France pour ces estimations est la méthode Locale-Régionale GEV, permettant de prendre en compte les événements pluvieux maxi annuels de la station et des stations voisines. Les 5 valeurs maximales de l'échantillon traité sont également précisées, en intégrant les valeurs des stations les plus proches de la station sélectionnée. Le choix de cette méthode de calcul permet a priori un bon ajustement des queues de distribution et moins de variabilité. Les événements pluvieux rares sont ainsi mieux appréhendés. La méthode Locale-Régionale GEV permet également de présenter des intervalles de confiance à 70%.

Pour plus d'info : http://climatheque.meteo.fr/Docs/DRR2R-methode.pdf

Le tableau ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis :

Tableau 10. Quantiles de précipitation pour Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) - méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique de Hyères pour la période 1982–2016 (statistiques pour t=6min à 12h) et sur la période 1977–2014 (statistiques t= 24h)

		Période de retour					
Durée (en h)	Durée (en min)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
0,1	6	10,7	12,4	13,7	14,4	15,3	16,3
0,5	30	28,2	32,9	37,2	39,6	42,6	46,5
1	60	38,5	45,7	53,1	57,4	63,1	70,9
2	120	51.4	63.9	77.6	86.2	98	115.5
6	360	72,7	93,9	119,2	136,4	161	200,7
12	720	83,3	111,1	137	153,9	177,5	214
24	1440	108,8	128,5	147,5	158,5	172,3	191,1
24h*	1440	117,3	139,2	161	174,1	190,7	204,3

* Fourchette haute de l'Intervalle de confiance à 70 % de l'ajustement

La qualité des ajustements est variable d'une durée à une autre (voir les fiches). Les quantiles sur 24 h pour les durées de retour de plus de 10 ans sont par exemple sous-estimés par rapport aux observations. **La fourchette haute de confiance à 70 % de l'ajustement est retenue par la suite.**

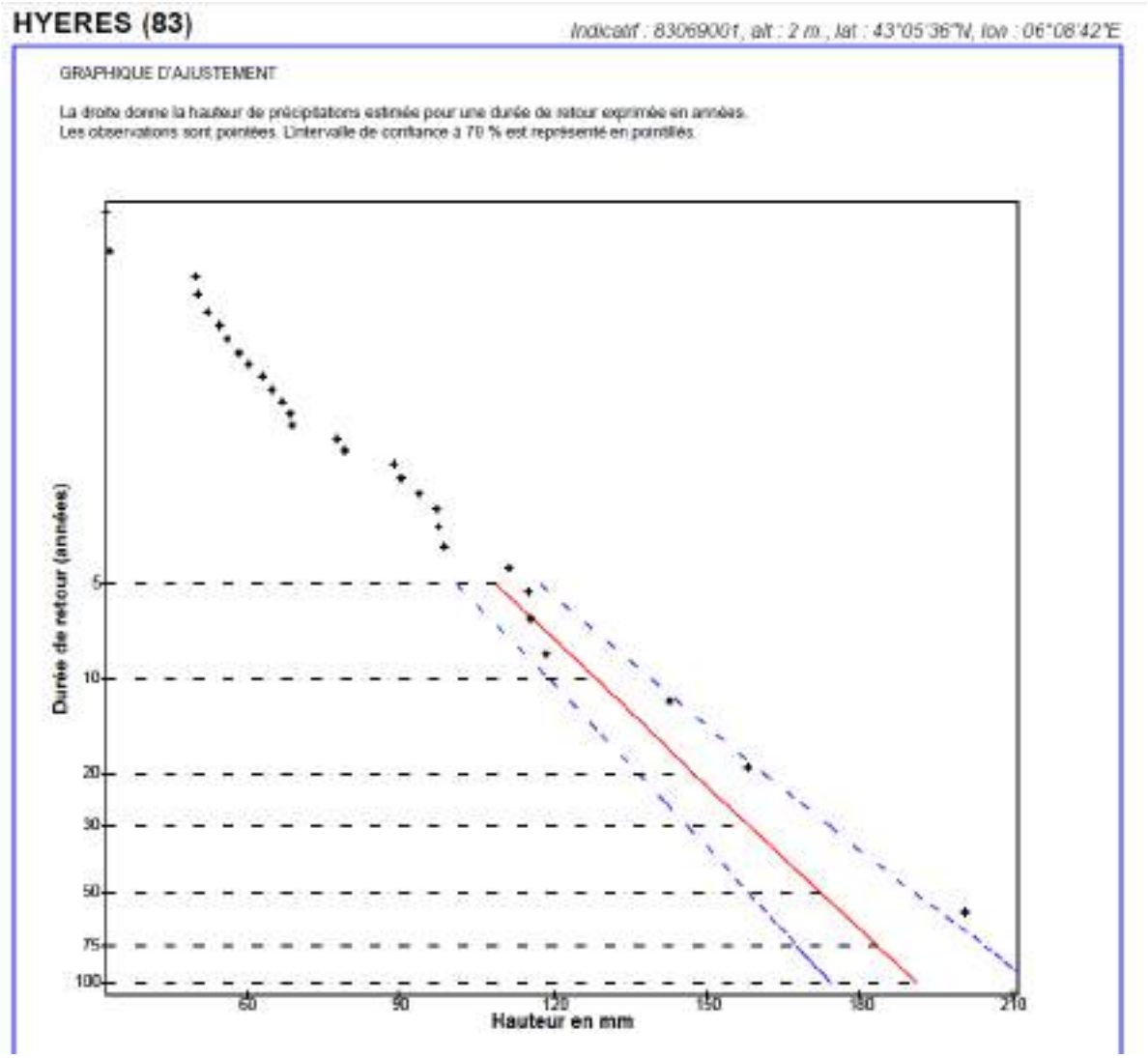


Figure 7. Ajustement graphique pour Episode de 24h par méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique d'Hyères. La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années. Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés. Les 5 valeurs maximales de l'échantillon traité sont également précisées.

Ces nouvelles estimations montrent une augmentation quasi systématique des statistiques de pluie. Les quantiles pour l'épisode de 30 min et 1 h présente écart respectivement d'environ + 15% et + 20 % quel que soit le temps de retour considéré. Pour les pas de temps de 6h et 12h l'écart augmente avec le temps de retour considéré jusqu'à plus de 30 % pour le T=50 ans. Cela est lié au paramètre de forme de l'ajustement pour ces deux pas de temps.

Tableau 11. Ecart des quantiles de précipitation pour Hyères pour les pas de temps entre 30 min et 12h - Statistiques 1977-2005 et 1982–2016

		Période de retour					
Durée (en h)	Durée (en min)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
0,5	30	17%	16%	15%	13%	12%	11%
1	60	18%	19%	19%	20%	21%	22%
6	360	5%	14%	23%	28%	34%	29%
12	720	-13%	2%	9%	14%	19%	26%
24h*	1440	16%	16%	16%	-	16%	12%

*Les données P24h sont celles récupérées lors de l'étude l'analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau (SCE / AQUA CONSEILS, 2015). La période est inconnue.

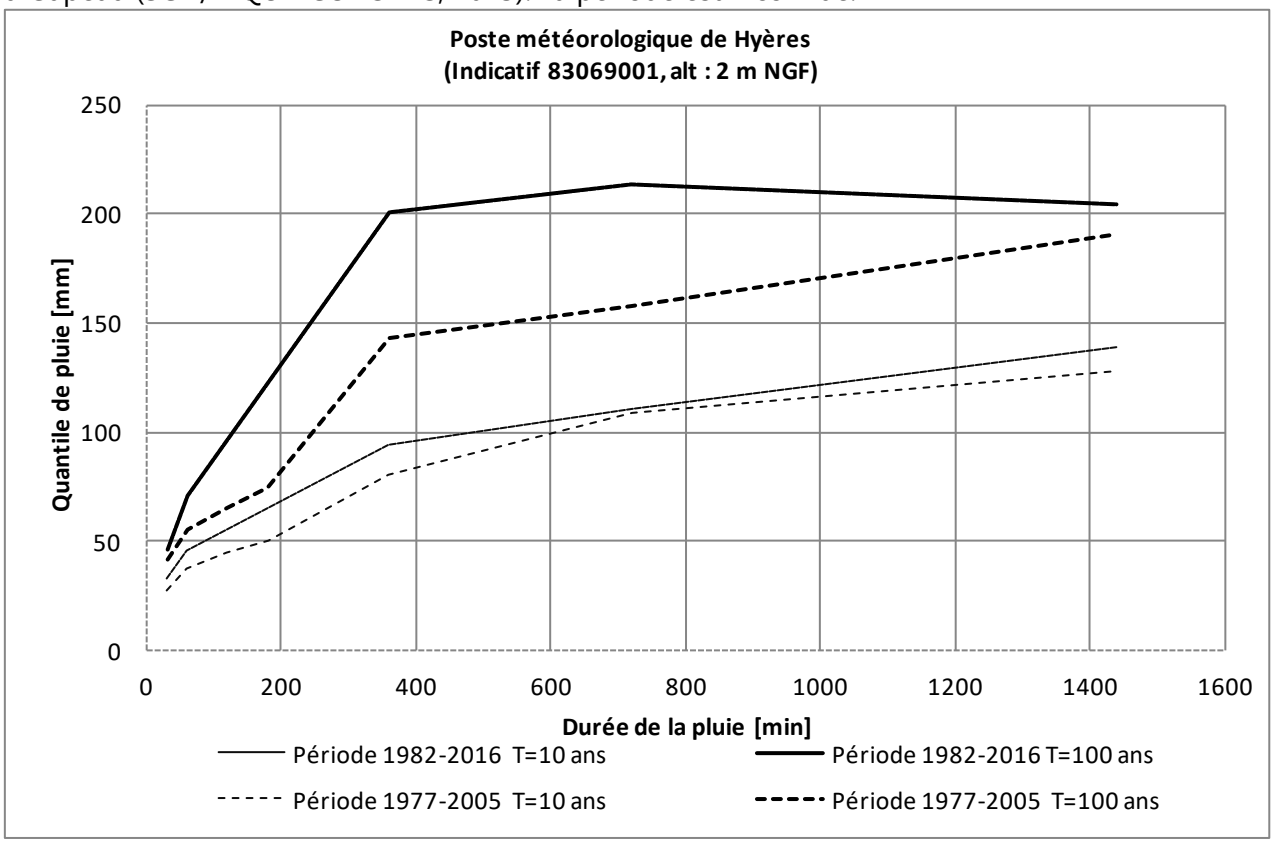


Figure 8. Ecarts des quantiles de précipitation pour Hyères pour les pas de temps entre 30 min et 12h - Statistiques 1977-2005 et 1982–2016

Outre les différences liées aux méthodes d'ajustement, l'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV en 2018 couvre une période récente (1982-2016) avec notamment des nouveaux records pluviométriques ces 10 dernières années (36.7 mm en 30 min le 11/10/2014 ; 70.6 mm en 1h le 15/06/2010 …). Une pluie de 1h considérée d'ordre centennale il y a 15 ans est aujourd'hui entre 20 et 30 ans de période de retour. L'analyse de près de 700 longues séries de maxima annuels des pluies journalières en France sur la période 1947-2010 (Soubeyroux et al, 2015) a montré que sur les régions méditerranéennes plus de 80 % des séries présentaient une tendance à la hausse même si cette hausse était significative du point de vue statistique pour seulement 10 % d'entre elles. Voir : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Evolution-des-pluies-mediterraneennes-et-changement-climatique.html

Ces données récentes sont utilisées comme référence dans la présente étude pour la station de Hyères - Ban le Palyvestre (83069001).

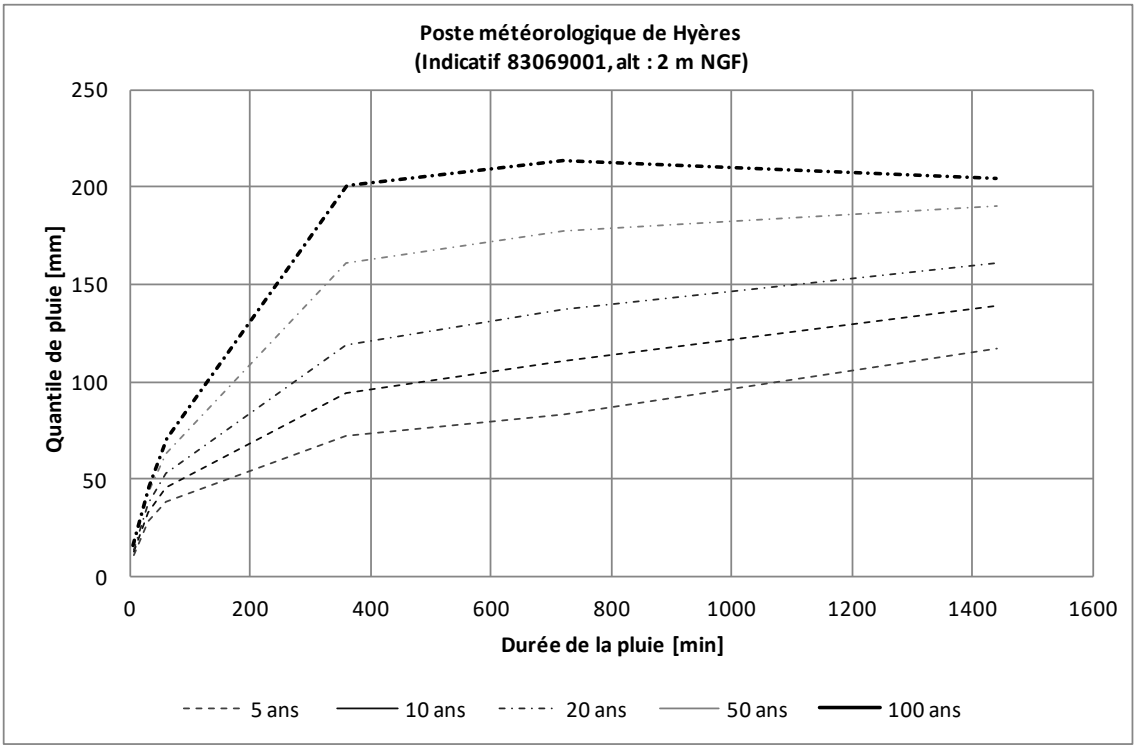


Figure 9. Quantiles de précipitation pour Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) - méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique de Hyères pour la période 1982–2016 (statistiques pas de temps Δt=6min à 12h) et sur la période 1977–2014 (statistiques pas de temps Δt= 24h)

2.2.1.4 Autres statistiques locales des pluies : base SHYREG-pluie

Du fait des reliefs du bassin versant et se basant sur l'hypothèse de pluies journalières assez différentes d'un secteur à l'autre, les quantiles de précipitations SHYREG, méthode régionale prenant en compte le relief (-données payantes de Météo-France) pour les périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, et 100 ans) et les durées (1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h) ont été acquis auprès de Météo France à un point de grille kilométrique (1 km²) centré sur le Mont Coudon au nord de Toulon (alt. Entre 600-700 m). Le tableau ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis.

Tableau 12. Quantiles de précipitation recueillis - base SHYREG-pluie

point de grille : coordonnées géographiques Lambert2 étendu X = 8980, Y = 18020

	Durées de retour					
Durées de cumul	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
1 HEURE	73.8 mm	65.9 mm	55.5 mm	47.7 mm	40.2 mm	30.8 mm
2 HEURES	81.8 mm	73.6 mm	62.7 mm	54.6 mm	46.8 mm	36.8 mm
3 HEURES	90.8 mm	81.8 mm	70.1 mm	61.8 mm	53.1 mm	42.4 mm
4 HEURES	99.5 mm	89.4 mm	77.0 mm	67.7 mm	58.6 mm	47.1 mm
6 HEURES	115.4 mm	103.2 mm	89.4 mm	77.8 mm	67.5 mm	54.5 mm
12 HEURES	152.3 mm	135.0 mm	114.5 mm	100.2 mm	86.8 mm	70.2 mm
24 HEURES	199.6 mm	175.0 mm	144.9 mm	124.8 mm	107.2 mm	86.6 mm
48 HEURES	247.5 mm	214.6 mm	174.6 mm	149.5 mm	127.0 mm	103.3 mm
72 HEURES	288.2 mm	231.8 mm	188.7 mm	161.6 mm	136.1 mm	113.1 mm

Produit élaboré par RISTIA, mis à disposition par Météo-France
Les données de base utilisées pour l'élaboration des statistiques portent sur la période 1980–1999

Rappelons que les pluies qui sont issues de la méthode SHYREG restent des pluies ponctuelles au pas d'espace de *1 km²* sans cohérence spatiale entre elles. En effet, la méthode met en œuvre un générateur de pluies horaires issu d'un calage sur des chroniques de pluies ponctuelles et non pas un générateur de champs de pluie. Les valeurs disponibles ne prennent pas en compte les événements récents (la période couverte est 1980-1999). Les quantiles ne sont pas assortis d'intervalles de confiance.

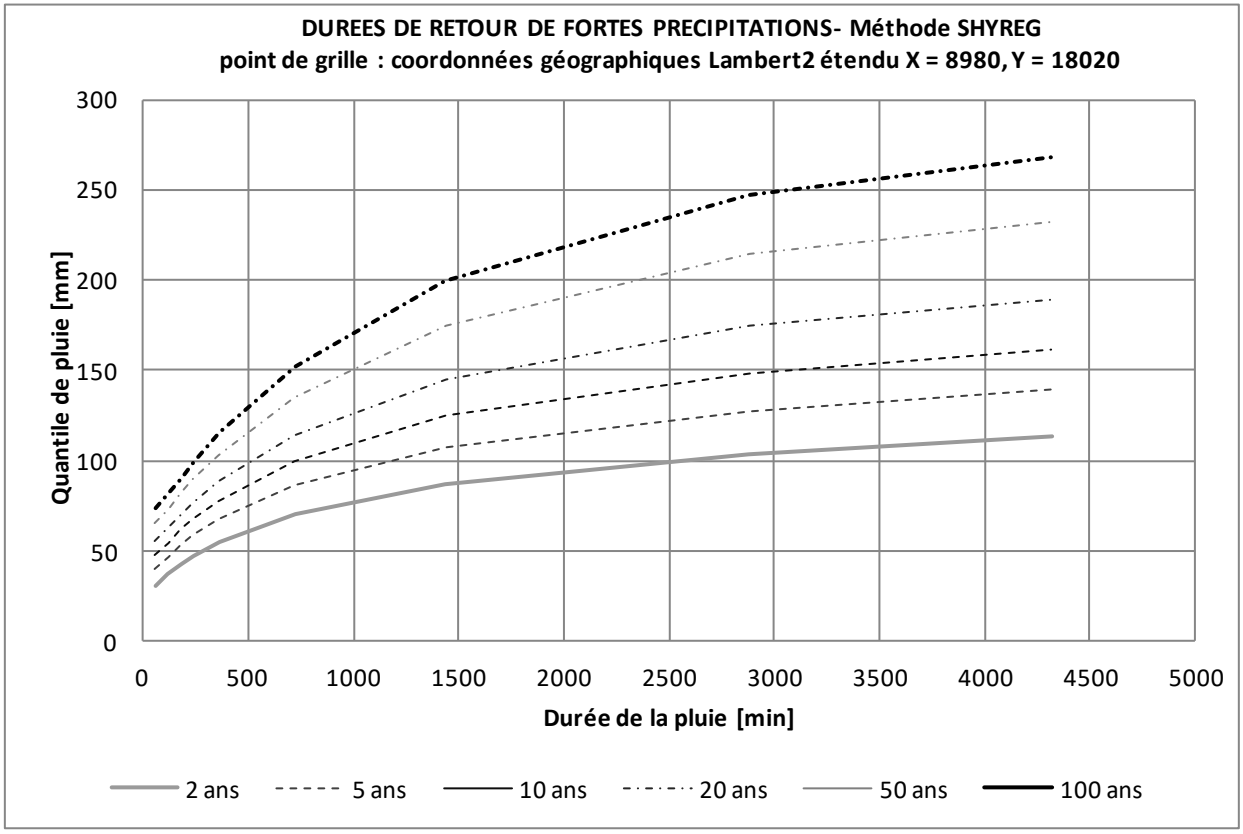


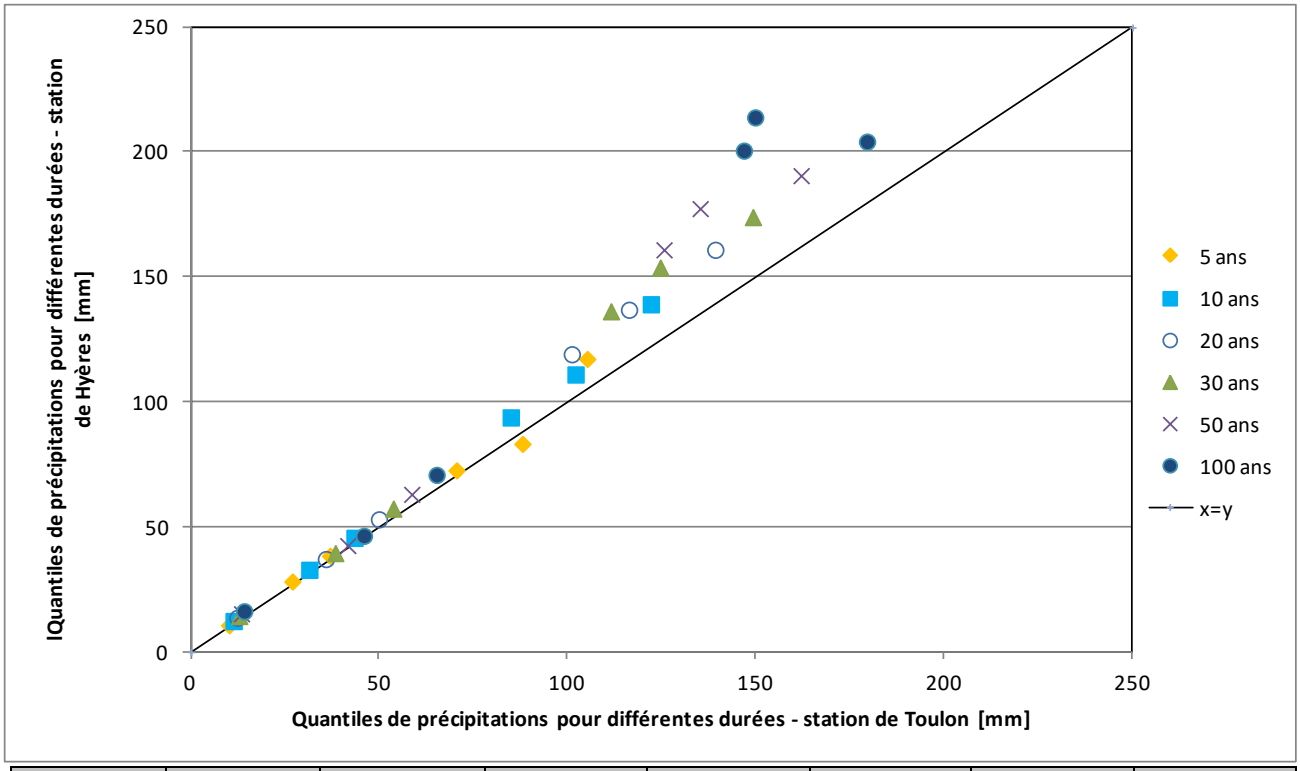
Figure 10. Quantiles de précipitation au point de grille kilométrique (1 km²) centré sur le Mont Coudon au nord de Toulon – base SHYREG-pluie

2.2.1.5 Comparaison des données statistiques locales

Les quantiles des 3 jeux de données statistiques locales, récupérées aux stations MétéoFrance de Toulon Saint-Mitre et Hyères et au point de grille SHYREG, sont comparés dans les figures ci-dessous pour chaque temps de retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt. Pour rappel ces 3 sites de données encadrent le bassin versant de l'Eygoutier.

Les observations suivantes peuvent être faites :

- **Entre les deux stations Météo-France de Toulon et Hyères :**
  - Les quantiles poste à poste (avec le poste de Toulon comme référence) sont très bien corrélés (relations linéaires) avec des R^2 proche de 1 pour les périodes de retour entre 2 et 30 ans.
  - Les quantiles de précipitations à Hyères sont égaux ou quasi systématiquement au-dessus de ceux de Toulon (excepté T=5 ans et Δt =12h). Quelques soit la période de retour, les écarts augmentent avec les cumuls et donc la durée considérée. Les quantiles pour les pas de temps 30 et 60 min sont quasi identiques. Les écarts deviennent importants (> 10 %) pour les pas de temps 6 min et ceux ≥ 6h et les T≥ 10 ans. Les écarts pour les pas de temps 6 et 12 h sont très significatif (>20 % pour T≥ 30 ans). Comme évoqué précédemment les ajustements sur ces deux pas de temps sont bons mais différents des autres.



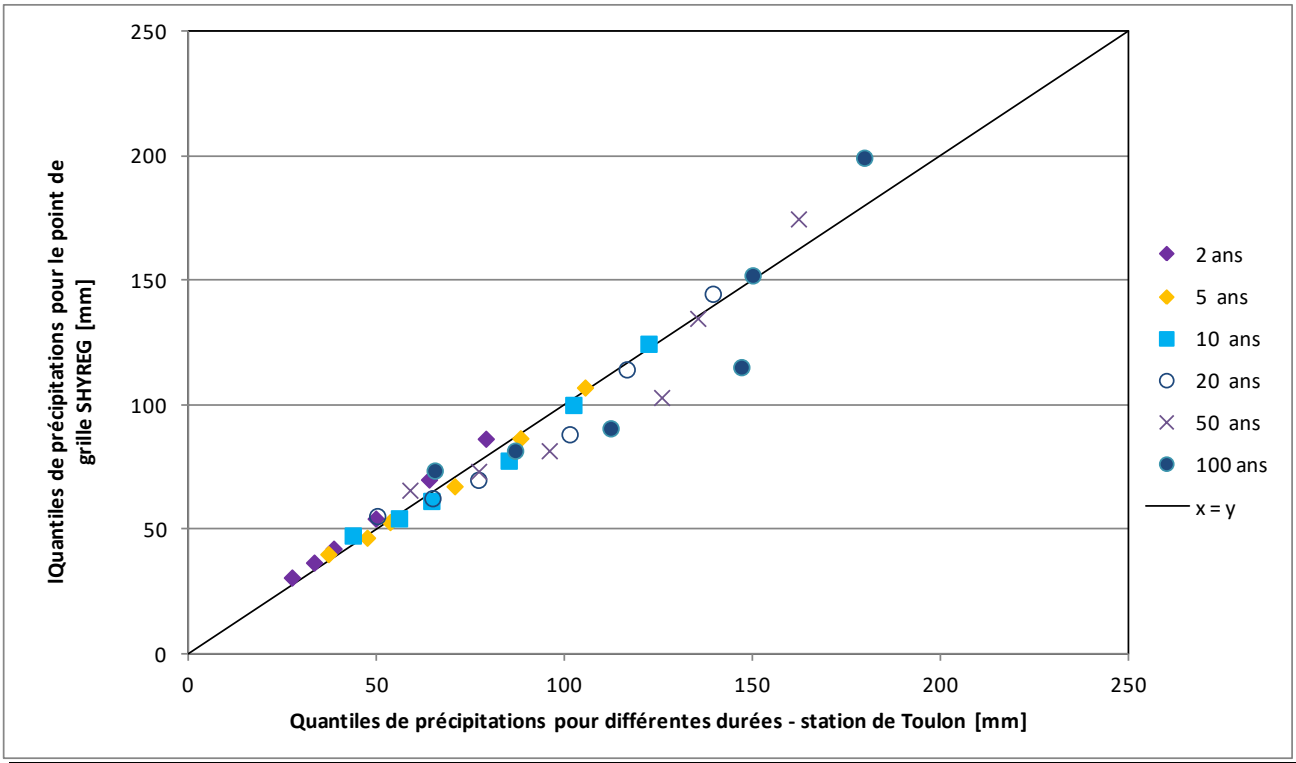
Durées de cumul	Durée (en h)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
6	0,1	-6%	-10%	-11%	-13%	-14%	-16%
30	0,5	-5%	-5%	-4%	-3%	-2%	-1%
60	1	-4%	-5%	-6%	-7%	-8%	-9%
360	6	-3%	-11%	-18%	-22%	**-28%**	**-37%**
720	12	5%	-9%	-18%	-24%	**-31%**	**-43%**
1440	24	-12%	-14%	-16%	-17%	-18%	-14%

Figure 11. Comparaison des quantiles de précipitations à Hyères et Toulon pour chaque temps de retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt

- **<u>Entre la station Météo-France de Toulon et le point de grille SHYREG (mont Coudon)</u>**
  - Exceptés pour les périodes de retour 50 et 100 ans, les quantiles poste à poste (avec le poste de Toulon comme référence) sont très bien corrélés (relations linéaires) avec des R^2 proche de 1.
  - Les quantiles de précipitations SHYREG sont égaux, en-dessous ou au-dessus de ceux de Toulon. Les écarts ne sont pas systématiques entre les deux séries de données (exceptés pour T=2 ans) et sont relativement variables d'un pas de temps à un autre.
  - Les quantiles T=2 ans SHYREG sont systématiquement au-dessus de ceux de TOULON avec des écarts proches de 10% pour tous les pas de temps.
  - Hormis pour la période de retour 2 ans, les écarts pour les pas de temps Δt =6 min et Δt =24h sont toujours positifs (les quantiles SHYREG sont systématiquement supérieur à ceux de TOULON avec des écarts faibles entre 2 et 12% qui augmentent avec la durée de retour T). Les écarts pour les pas de temps Δt =2h, 3h, 6h sont toujours négatifs. Les quantiles SHYREG sont systématiquement inférieurs à ceux de TOULON avec des écarts très faibles pour Δt =2h qui diminuent avec la durée de retour T. Les différences

d'estimations des quantiles deviennent importantes (> 10 %) pour Δt = 3h, 6h avec des écarts entre 0 et 27% qui augmentent avec la durée de retour T.

- Pour Δt = 12h, hormis pour la période de retour 2 ans, les écarts ne sont pas significatifs (<2%).



Durées de cumul	Durée (en h)	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
60	1	12%	8%	9%	10%	11%	12%
120	2	10%	-1%	-2%	-3%	-5%	-6%
180	3	10%	0%	-4%	-10%	-17%	-23%
360	6	9%	-4%	-9%	-14%	-22%	-27%
720	12	9%	-1%	-2%	-2%	0%	2%
1440	24	9%	2%	2%	4%	7%	10%

Figure 12. Comparaison des quantiles de précipitations à Toulon et au mont Coudon (SHYREG) pour chaque temps de retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt

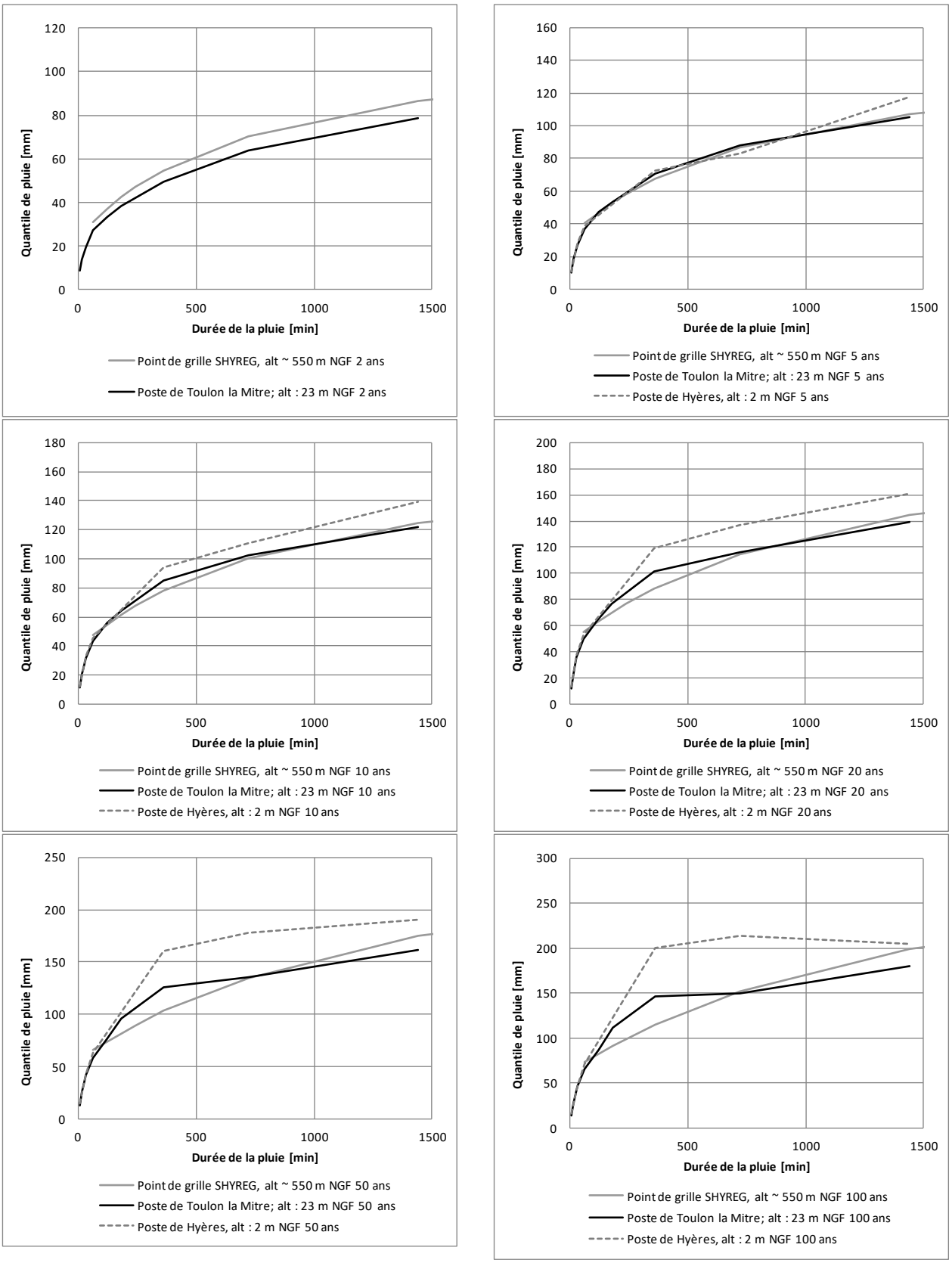
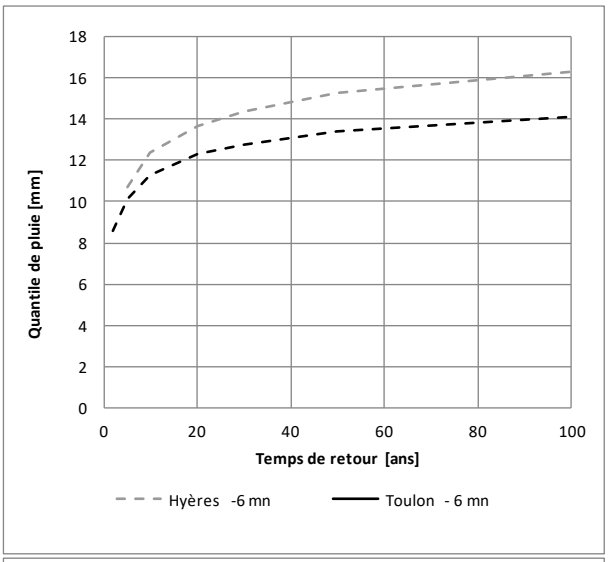
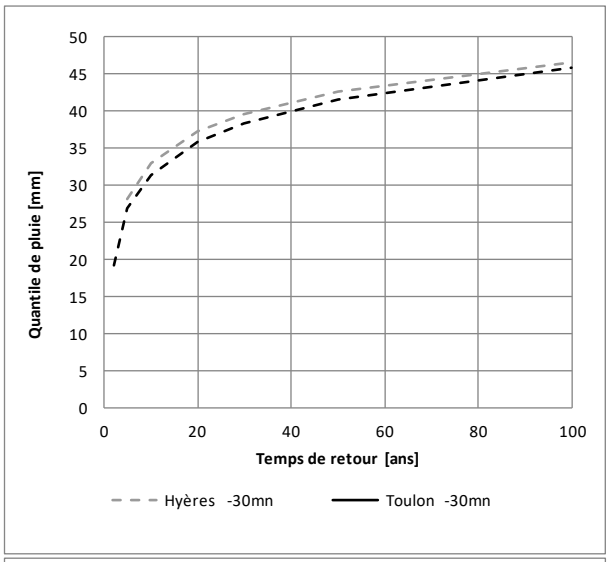
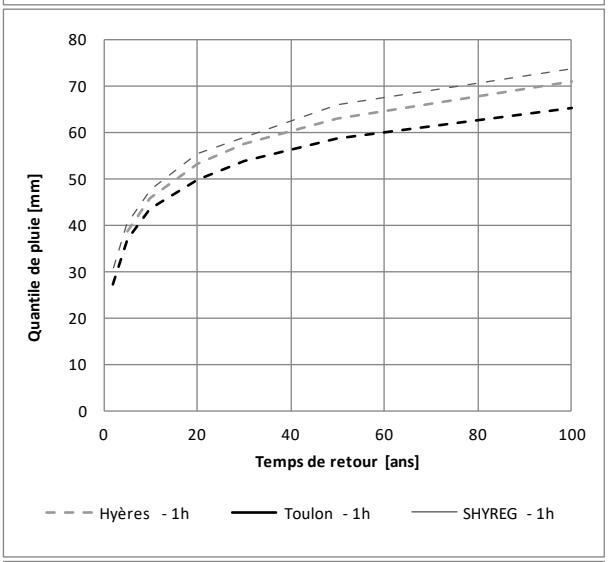
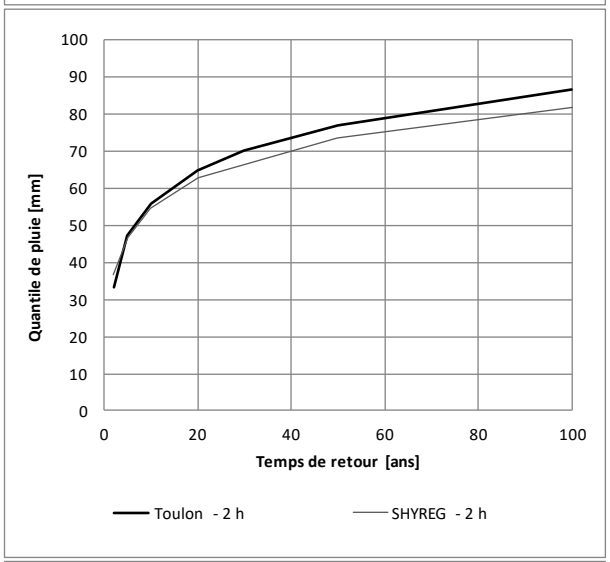


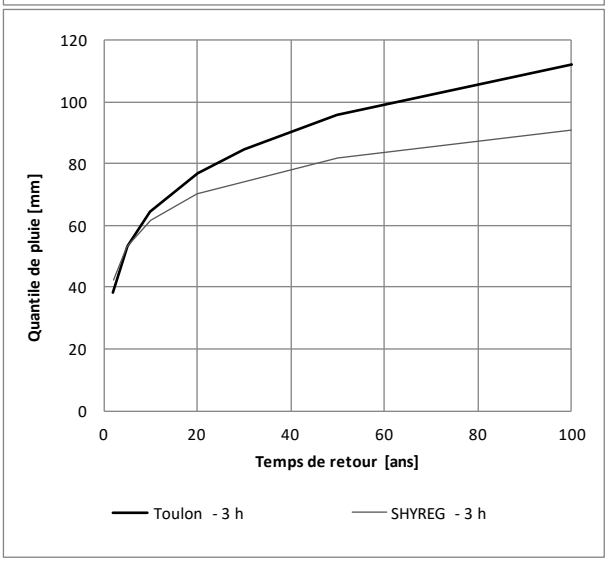
Figure 13. Comparaison des courbes Intensité - Durées à Hyères, Toulon et au mont Coudon (SHYREG) pour chaque temps de retour T

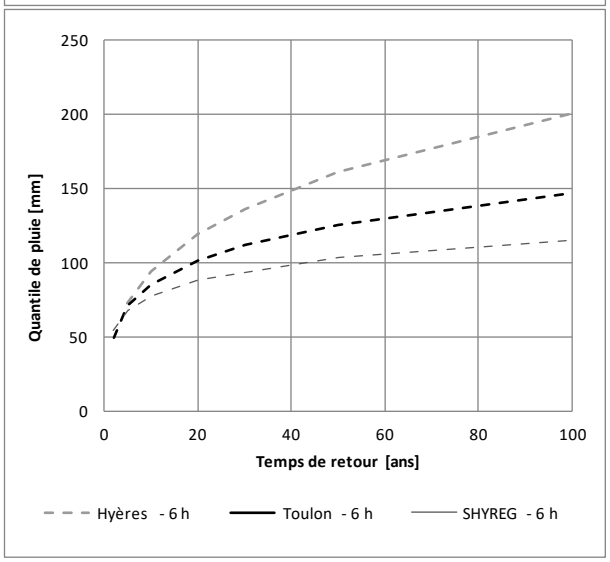

Quantile de pluie [mm]
Temps de retour [ans]
Hyères -6 mn
Toulon - 6 mn


Quantile de pluie [mm]
Temps de retour [ans]
Hyères -30mn
Toulon -30mn


Quantile de pluie [mm]
Temps de retour [ans]
Hyères - 1h
Toulon - 1h
SHYREG - 1h


Quantile de pluie [mm]
Temps de retour [ans]
Toulon - 2 h
SHYREG - 2 h


Quantile de pluie [mm]
Temps de retour [ans]
Toulon - 3 h
SHYREG - 3 h


Quantile de pluie [mm]
Temps de retour [ans]
Hyères - 6 h
Toulon - 6 h
SHYREG - 6 h

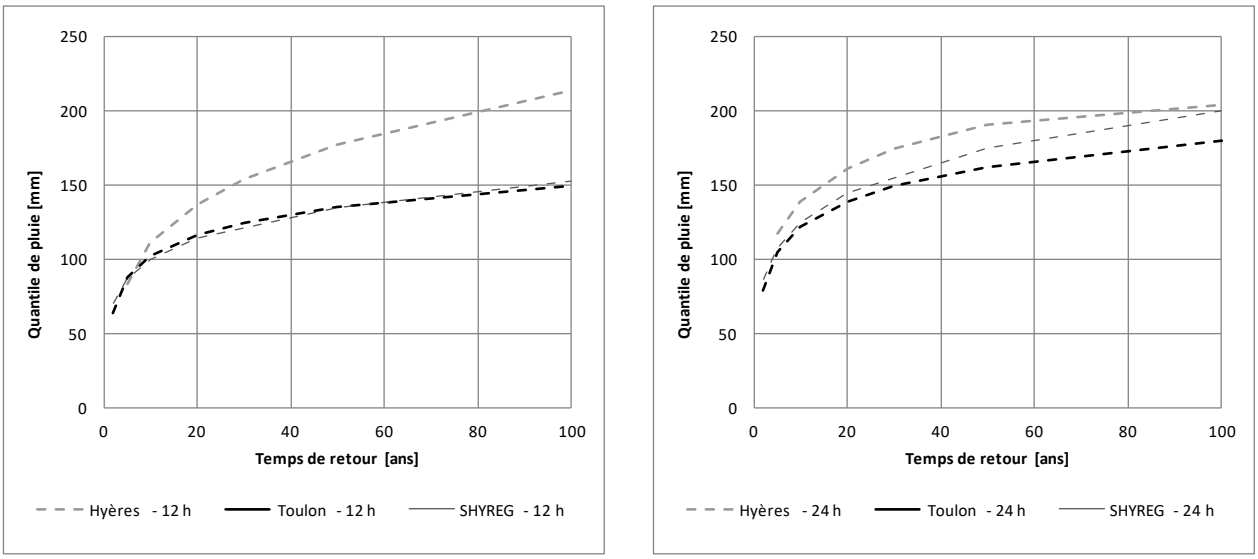


Figure 14. Comparaison des courbes Intensité - Fréquence à Hyères, Toulon et au mont Coudon (SHYREG) pour chaque temps pas de temps Δt

2.2.1.6 Comparaison des données statistiques locales avec les records sur le var (toutes stations confondues)

Le site de Météo France " Pluies extrêmes en France métropolitaine" (http://pluiesextremes.meteo.fr) fournit les valeurs maximales de pluies (mm) observées sur le département du Var sur des pas de temps inférieurs à la journée : 6, 15, 30 minutes ou 1, 2, 3, 6 ou 12 heures (base de données mise à jour une fois par an au 1er trimestre).

La figure suivante présente une comparaison de ces records avec les statistiques locales. Le bassin de l'Eygoutier, situé au sud du département, présente des quantiles plus faibles.

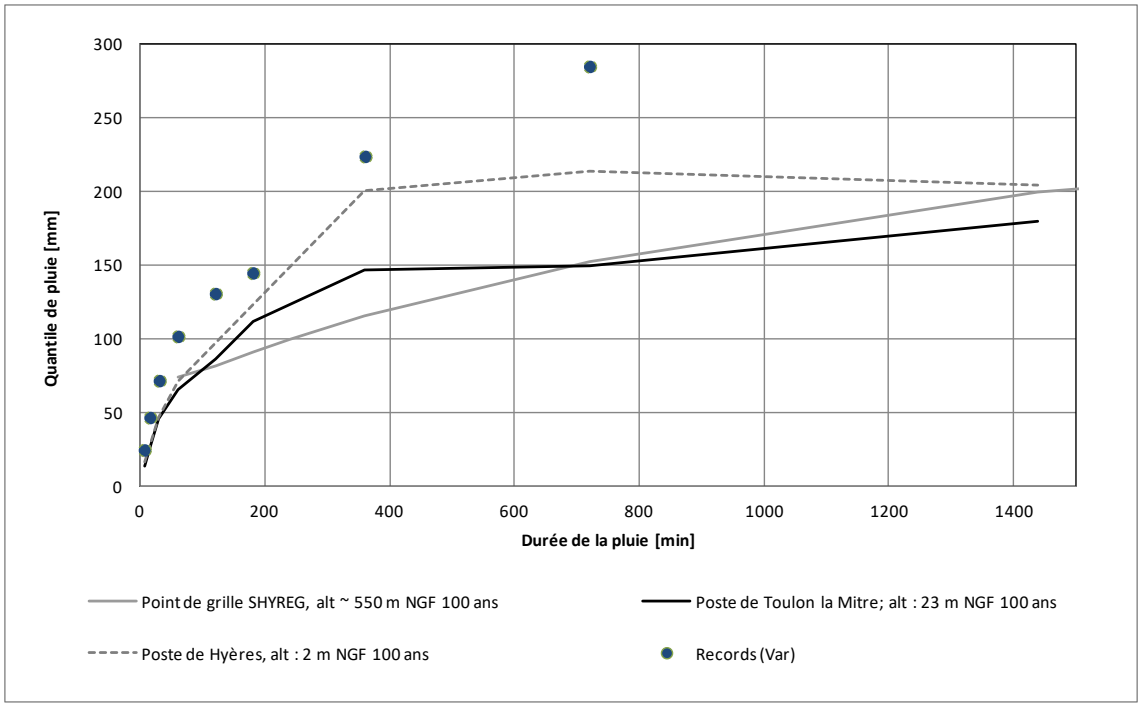
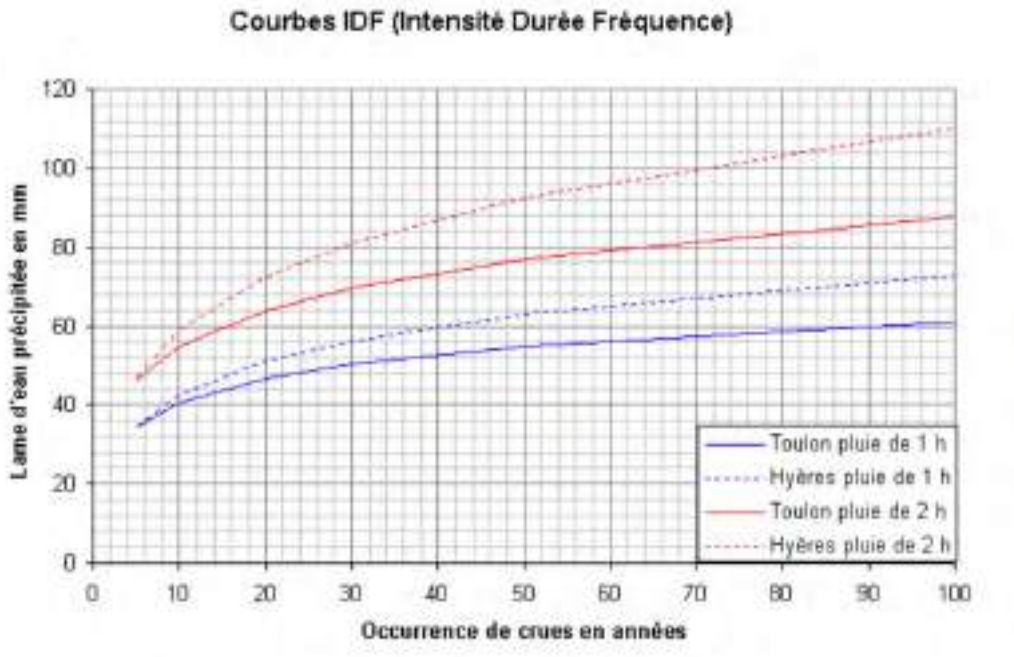


Figure 15. Comparaison des records pluviométriques sur le Var (toutes stations confondues) avec les quantiles de précipitations à Hyères, Toulon et au point de grille SHYREG pour les différents pas de temps de cumul Δt et pour le temps de retour T = 100 ans.

Comparaison des données de coefficients de Montana aux stations MétéoFrance de Toulon Saint-Mitre et Hyères (SAFEGE, 2015)

Les coefficients de Montana suivants ont été obtenus auprès de MétéoFrance par SAFEGE en 2015 pour les proches stations avec mesures infra-horaires :
- station de Toulon Saint-Mitre (sur la période 1971-2012) ;
- station d'Hyères (sur la période 1977-2011).

Les courbes IDF correspondantes sont les suivantes :

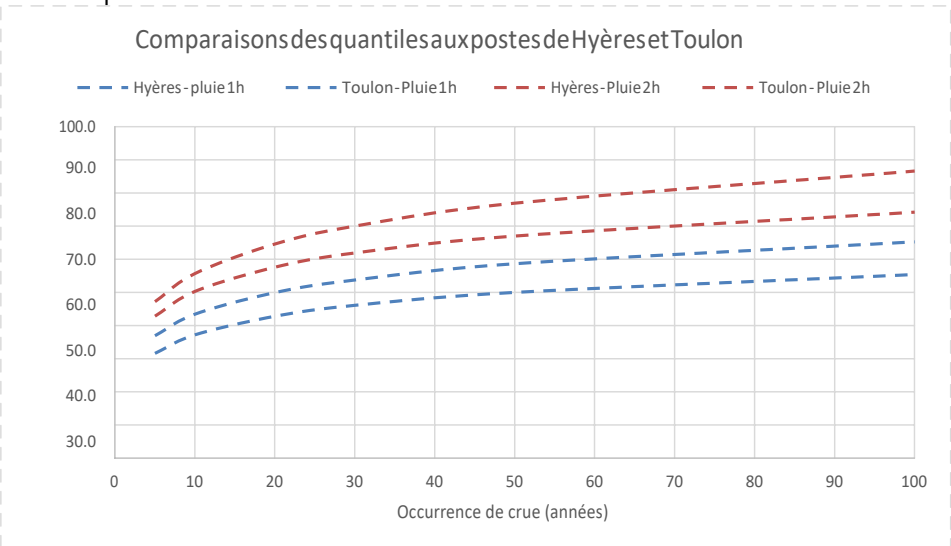


"Les différences significatives entres les deux stations mettent en évidence la grande variabilité des pluies dans la région (fortement influencées par le relief). Bien que les relevés sur la station d'Hyères soient bien plus importants, les données à Toulon sont plus représentatives de la situation sur le bassin versant du Saint-Joseph de par leur proximité. Nous écarterons donc les données pluviométriques obtenues à la station d'Hyères."

Comparaison des données de quantiles aux stations MétéoFrance de Toulon Saint-Mitre et Hyères (Ingerop, 2017)

Les quantiles ont été obtenus :
- auprès de MétéoFrance par Ingerop en 2015 à la station de Toulon Saint-Mitre (sur la période 1971-2012) ;
- source inconnue pour la station d'Hyères (sur la période 1977-2005).

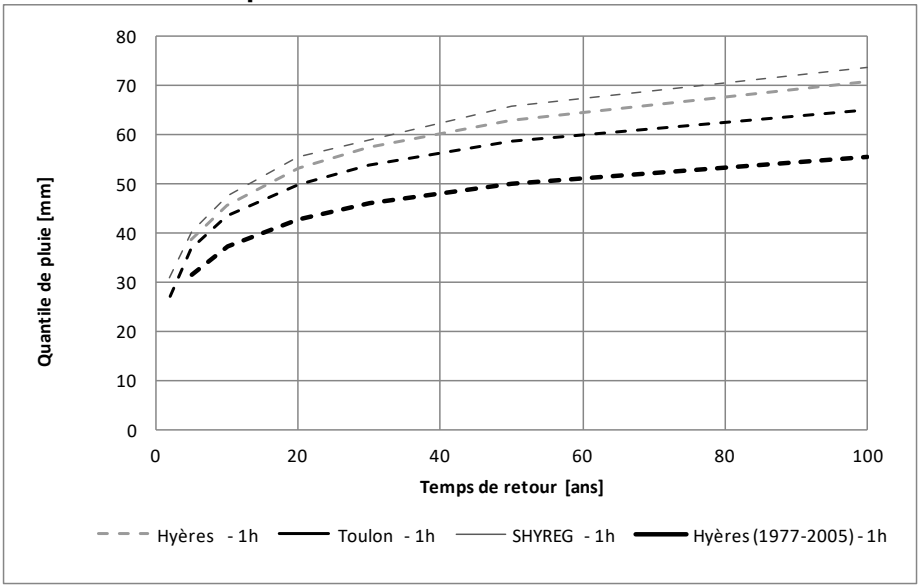
Les courbes IDF correspondantes sont les suivantes :



" Les différences significatives entres les deux stations mettent en évidence la grande variabilité des pluies dans la région (fortement influencées par le relief). Les données à Toulon sont plus représentatives de la situation sur le bassin versant de la Planquette de par leur proximité. Nous écarterons donc les données pluviométriques obtenues à la station d'Hyères, d'autant plus qu'elles sont inférieures. Ce choix donne ainsi un caractère sécuritaire vis-à-vis des débits estimés."

ATTENTION, les données sur Hyères utilisées sont plus anciennes que celles sur Toulon ! D'où une conclusion inverse à celle de SAFEGE.

Les courbes IDF actualisées correspondantes sont les suivantes :



A retenir :

Les données pluviométriques sur le bassin versant de l'Eygoutier :

- Seules les stations de Toulon et Hyères du réseau Météo France présentent de longues séries de données. Des chroniques sur les stations semi-professionnelles sont disponibles sur quelques événements.
- Les estimations de quantiles de pluies estimées pour un même pas de temps et une même période de retour varient sensiblement selon la méthode employée ET la période de calcul. Il faut bien garder à l'esprit que ces valeurs sont des estimations qui dépendent des informations disponibles au moment de leur évaluation. Un événement ultérieur est toujours susceptible de les contredire.
- L'utilisation du coefficient de Montana dans les deux études SCE (2007) et SAFEGE (2015) ne permet pas de connaître la qualité de l'ajustement IDF, ni si le choix du pivot est le plus opportun.
- Les quantiles "régionalisées" SHYREG disponibles à l'échelle du km² restent des données ponctuelles.
- La comparaison des quantiles de pluie des 3 jeux de données de statistiques locales, récupérées aux stations Météo-France de Toulon Saint-Mitre et Hyères et au point SHYREG, montre que dans l'ensemble les 3 sites suivent les mêmes tendances : les quantiles poste à poste (avec le poste de Toulon comme référence) sont très bien corrélés (relations linéaires) avec des R^2 proche de 1 pour les périodes de retour entre 2 et 30 ans. Quelques soit la période de retour, les écarts augmentent avec les cumuls et donc la durée considérée.

- Les records pluviométriques sur le Var (toutes stations confondues) sont au-dessus des quantiles de précipitations estimés à Hyères, Toulon et au point de grille SHYREG pour le temps de retour T = 100 ans.

Dans le cadre de la présente étude nous utiliserons des données moyennées à partir des 3 jeux de données de statistiques locales pour l'analyse des processus à plus fort risque (partie 2).

2.2.2 Données hydrométriques

2.2.2.1 Station de mesure expérimentale (sonde multi-paramètres) - laboratoire MIO - Institut Méditerranéen d'Océanologie

Une station de mesure expérimentale (sonde multi-paramètres) a été installée sur l'Eygoutier entre le 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014 (16 mois) dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014) - et auparavant dans le cadre de la thèse de Nicolau (2005)[3].

Les débits sont obtenus de manière indirecte en deux étapes à partir de mesure de pression :

- Les données de pression enregistrées en PSI par la sonde (pas de temps de 5 minutes) sont converties en Pascal (Pa) puis la pression exercée seulement par la colonne d'eau est déterminée en soustrayant la pression atmosphérique. La pression obtenue est convertie en hauteur d'eau (la hauteur entre le lit et la sonde est constante et égale à 8 cm).
- Les débits sont obtenus à partir de l'utilisation de la méthode de la formulation de Manning-Strickler avec un coefficient Ks de 60 (Dufresne, 2014 ; Ducros, 2014) ; représentatif de la rugosité du site (type béton coulé non lissé).



[3] Les données acquises dans le cadre de la thèse de R. Nicolau (2005) couvrent la période d'aout 2003 à février 2005 mais aucune crue importante ne s'est produite (moins de 18 m3/s) sur le site au pont de Bazeille. ; ces données n'ont pas été retenues.



Figure 16. Localisation de la station à l'entrée du Tunnel de Lamalgue

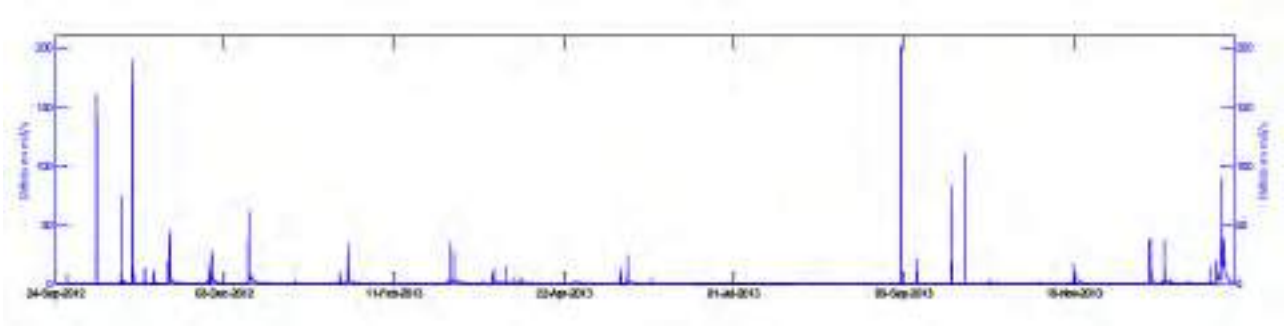


Figure 17. Evolution des débits sur l'ensemble de la période de mesure sur l'Eygoutier (hydrogramme) - Ducros (2014)

Le débit maximum enregistré est égal à 201,4 m3/s en septembre 2013. Les deux crues remarquables de septembre 2012 et septembre 2013 ont été observées. L'utilisation de la formule de Manning Strickler engendre un certain nombre d'incertitudes quant au coefficient de rugosité notamment. Ce dernier est vraisemblablement variable dans le temps : une végétation importante est constatée une partie de l'année sur les berges. Celles-ci sont entièrement nettoyées le reste de l'année. La valeur de K va donc varier dans le temps.

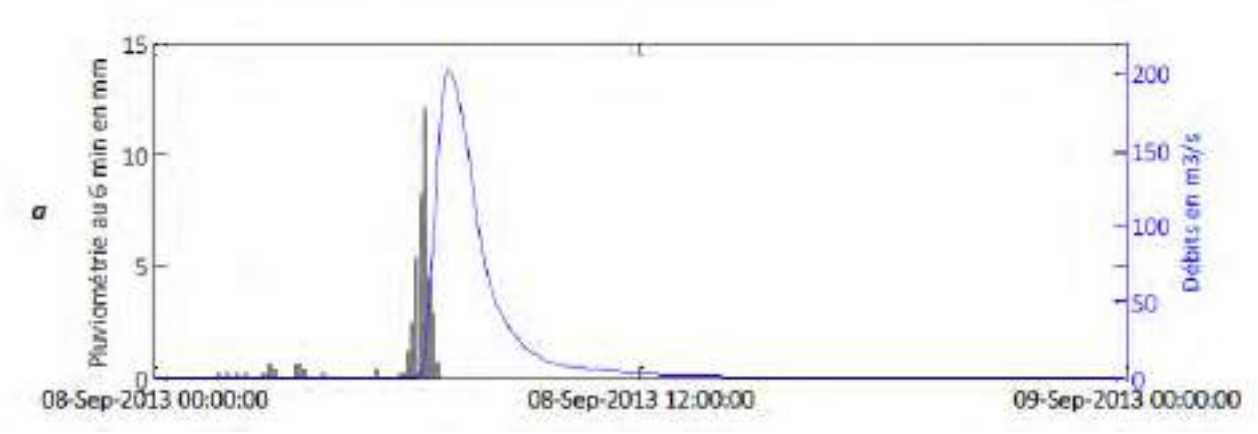


Figure 18. Exemple de relation pluie-débits pour la crue de septembre 2013 - Ducros (2014)

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des résultats sur l'Eygoutier

N° des crues	Date de début	Date de fin	Indice Masse/Volume (mg/L)	Durée de l'événement (heures)	Débit max (m^3/s)	Conductivité min (mS/cm)	Conductivité moyenne (mS/cm)	Charge sédimentaire totale (tonnes)	Pluviométrie				
									Hauteur de pluie totale (mm)	Intensité Maximale en 6 min (mm)	Intensité Maximale horaire (mm/h)	Antécédent pluviométrique à 1 jour (mm)	Antécédent pluviométrique à 15 jours (mm)
2	11/10/12 8:00	12/10/12 8:00	224,00	24:00:00	155,85	0,070	0,271	273,61	52,7	7,4	22,2	0	2,8
3	21/10/12 12:00	22/10/12 12:00	293,60	24:00:00	75,45	0,090	0,443	85,16	9,4	1,8	5,2	0	0
4	26/10/12 2:00	27/10/12 14:00	215,27	36:00:00	185,80	0,076	0,479	338,83	43,0	9,0	18,6	0	37,1
7	10/11/12 0:00	13/11/12 0:00	80,71	72:00:00	44,41	0,143	0,560	90,90	27,5	3,4	8,2	0	48,0
8	17/11/12 0:00	19/11/12 12:00	71,54	60:00:00	26,98	0,199	0,494	78,25	82,4	2,2	6,8	0,2	0,2
9	13/12/12 0:00	16/12/12 0:00	70,50	72:00:00	60,89	0,101	0,615	97,77	58,5	3,0	16,3	0	4,2
12	22/1/13 10:00	24/1/13 10:00	76,27	48:00:00	34,70	0,165	0,570	74,14	46,4	1,0	6,4	0	31,5
14	5/3/13 0:00	9/3/13 18:00	65,08	108:00:00	34,39	0,127	0,634	74,84	50,9	1,2	7,1	0	20,8
17	23/3/13 8:00	25/3/13 8:00	42,90	48:00:00	12,16	0,238	0,558	19,87	24,5	0,6	3,1	0	19,7
18	30/3/13 0:00	30/3/13 12:00	58,70	12:00:00	14,60	0,240	0,919	8,97	12,1	1,1	3,9	0	33,6
20	15/5/13 12:00	19/5/13 12:00	41,34	96:00:00	23,69	0,151	0,557	32,13	73,0	4,5	11,6	0	1,4
23	8/9/13 9:00	8/9/13 0:00	241,33	24:00:00	201,44	0,081	0,262	234,86	42,3	12,1	37,9	0	0
24	14/9/13 20:00	15/9/13 20:00	313,60	24:00:00	20,77	0,112	0,542	15,99	17,5	2,5	9,1	0	42,5
25	29/9/13 6:00	29/9/13 18:00	251,58	18:00:00	83,68	0,090	0,270	85,90	17,0	6,8	14,7	0	5,7
29	5/10/13 6:00	5/10/13 6:00	294,58	24:00:00	110,93	0,084	0,559	96,27	26,1	7,2	25,8	0	38,7
29	16/11/13 0:00	20/11/13 0:00	51,07	48:00:00	38,15	0,134	0,411	12,94	35,0	1,0	6,6	0,2	9,5
30	16/12/13 0:00	22/12/13 0:00	62,77	96:00:00	58,17	0,105	0,604	96,60	67,5	2,5	9,7	0	1,8
31	24/12/13 23:00	26/12/13 11:00	40,29	36:00:00	37,22	0,121	0,458	32,90	35,7	2,5	11,2	0	88,7
33	13/1/14 6:00	14/1/14 6:00	66,90	24:00:00	14,96	0,230	0,512	6,78	14,5	3,6	5,7	0	0
34	20/1/14 0:00	21/1/14 8:00	56,16	120:00:00	90,54	0,101	0,578	103,75	55,7	2,2	8,9	0	23,3

Avis sur les données :

- **Attention, certaines données de pluies utilisées à l'époque s'avèrent inexactes au vu des relevés météofrance acquis dans le cadre de la présente étude.**
- **Les maximums enregistrés (200 m^3/s) paraissent surestimés par rapport aux valeurs de capacité des sections (75 m^3/s quai M Pagnol) et des ouvrages (45 m^3/s au tunnel) relevées dans les études antérieures.**
    - **Au tunnel de Lamalgue**, le débit "hydrologique" P.O.S pour une pluie décennale trouvé de 114,54 m^3/s (SIB, 1994). La capacité hydraulique dans le tunnel de Lamalgue est estimée à 45 m^3/s (SCE, 2007 entre autre), il s'agit de la partie avale de l'entonnement au pont de Bazeilles. La capacité du tunnel est de l'ordre du débit de la crue de 1973 (DARAGON, 1989). Le fonctionnement du tunnel est donc jugé satisfaisant à 45 m^3/s (DARAGON 1989).

- Le tunnel de Lamalgue conditionne les écoulements et les débordements entre sa limite amont (extrémité du Boulevard de Bazeilles) et le cadre de l'autoroute (SCE, janvier 2008 - phase 3 - 207 page 193-194). Son influence remonte également dans le tunnel de l'autoroute jouant notamment sur la mise en charge des réseaux pluviaux bordant l'autoroute. Dans le modèle SCE, les caractéristiques sont les suivantes :
  - profils types des trois tronçons dans le tunnel : fer à cheval, cadre ancien puis cadre nouveau, de rugosité de Strickler Ks=65.
  - en amont : entonnement de grande longueur (65m), bordé de palplanches : rugosité estimée à Ks=45. Pas de coefficient de perte de charge singulière du fait de l'entonnement de grande longueur.
- La mise en charge du tunnel lors de crues importantes se fait sentir plus en amont par des débordements, entre l'avenue Pierre Loti et la sortie du cadre de l'autoroute. Le tunnel de Lamalgue est en charge systématiquement dans sa partie aval, du fait de son débouché plus de 3 mètres sous le niveau moyen de la mer. Les débits transitant par le Tunnel de Lamalgue sont influencés par le niveau moyen de la mer et les variations liées à la houle (La particularité de l'ouvrage est d'être sensible aux conditions aval) - SCE, janvier 2008 - phase 3

Identifiant	Commune	Localisation de l'ouvrage	Période de retour avant mise en charge en années	Capacité en m3/s ou débit maximum en centennale
OT-EYG200	Toulon	Cadre A57	10<T<20ANS	54.8
OT-EYG053	Toulon	Avenue de la Résistance	>100ANS	>60.8
OT-EYG052	Toulon	Passerelle Av. du régiment des Tirailleurs	100ANS	46.6
OT-EYG051	Toulon	Avenue Pierre Loti	50<T<100ANS	49.6
OT-EYG050	Toulon	Tunnel de Lamalgue	<5ANS	50.5

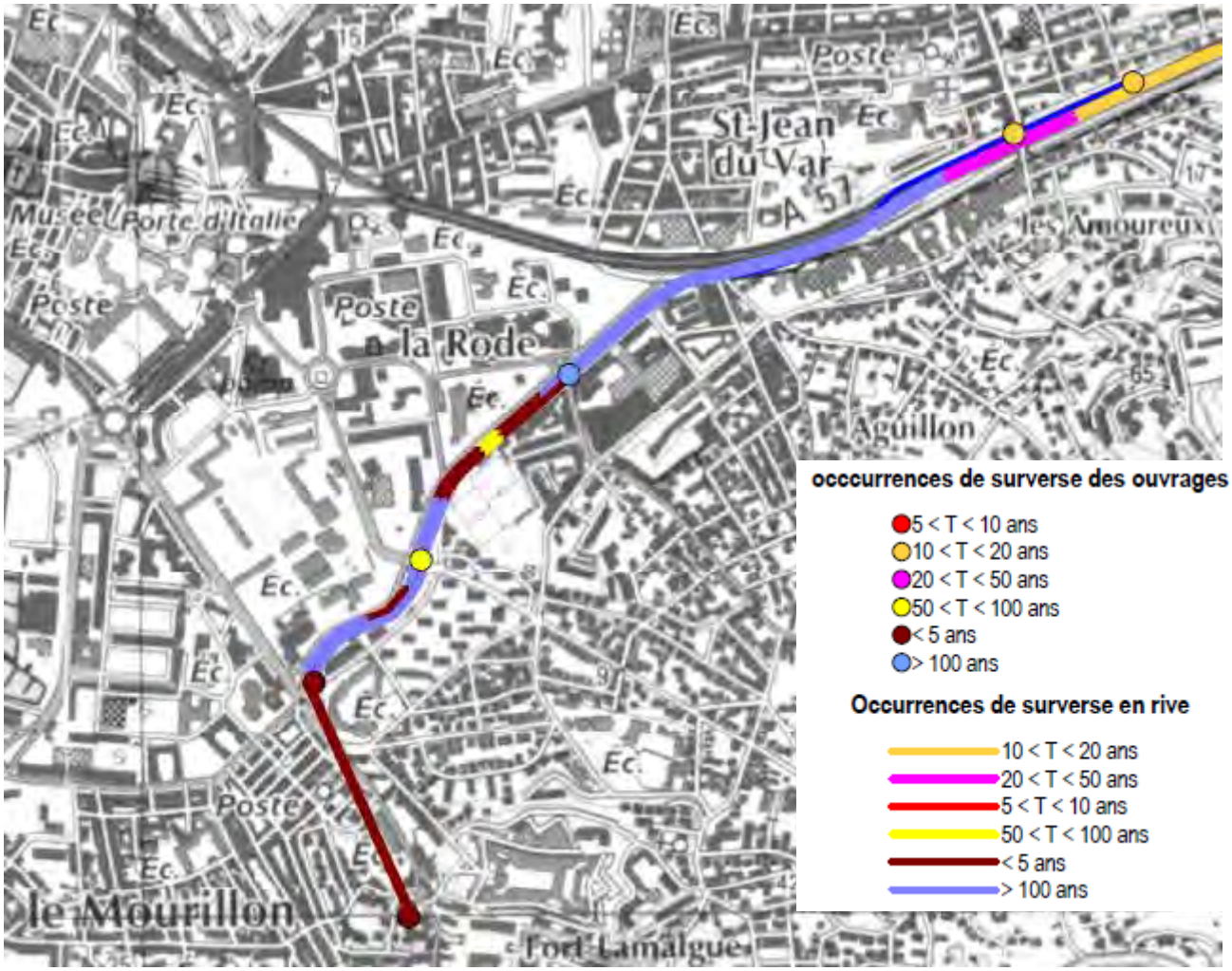
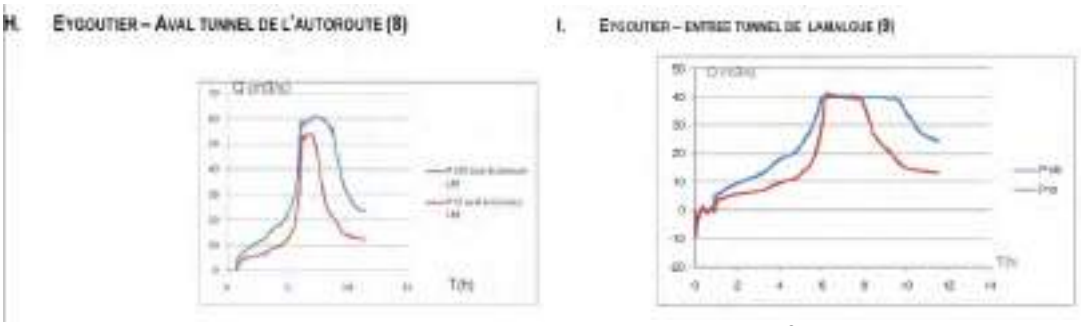
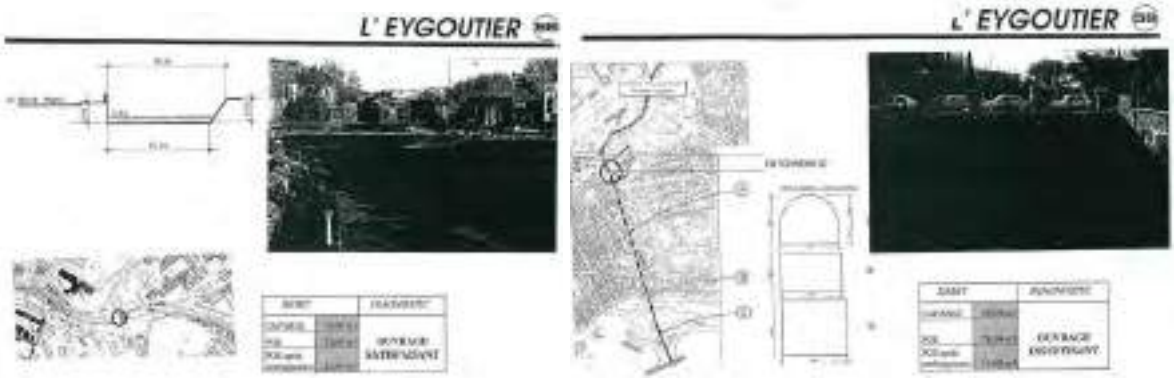


Figure 19. Carte et Tableau de capacité des ouvrages (SCE, janvier 2008 - phase 3 - page 213)

- Un des points importants de l'étude SCE est l'établissement d'hydrogrammes réalistes, les résultats hydrologiques n'ayant pas de sens eu égard à la capacité réduite des ouvrages (un débit décennal de 102m³/s en aval du cadre de l'autoroute calculé lors d'études antérieures est juste sur le plan du calcul hydrologique, mais n'est pas représentatif d'un écoulement écrêté à environ 55 à 64m³/s par la configuration hydraulique en amont (SCE, janvier 2008 - phase 3 - page 215-228). Le débit transitant dans le tunnel de Lamalgue s'élève à 41.2 m³/s pour une pluie centennale. Sa capacité d'écoulement maximale est donc atteinte dès la crue décennale. Ces débits sont obtenus avec une cote de la condition aval de 1,50m NGF, ce qui est pessimiste mais est inférieur à la cote de 2.60m prise pour l'étude diagnostic du Tunnel de Lamalgue existante. SCE, janvier 2008 - phase 3
- L'hydrogramme à l'entrée du tunnel traduit bien les débordements entre le cadre de l'autoroute et le tunnel de Lamalgue (quartier de La Rode). Cette zone inondable est connue du fait de sa position dans l'ancien lit de l'Eygoutier. Citons en particulier des crues historiques, comme celle de 1909 où jusqu'à 65m³/s se sont déversés dans le quartier de la rode.



- Ks =70 dans le tunnel dans DARAGON (1989) et 45 m^3/s -Daragon 1993. Section juste en amont (av M Pagnol) de 75 m^3/s de capacité !



- **La pente, le Ks et la géométrie utilisées sont à vérifier (une mauvaise pente semble l'explication des débits trop élevés).**
  - Loïc Ducros nous a fourni les caractéristiques de la section utilisée pour la transformation Hauteur -Débit (avec Ks= 60 et J = 0,00347 m/m) + localisation de la sonde à l'entrée de l'entonnement :

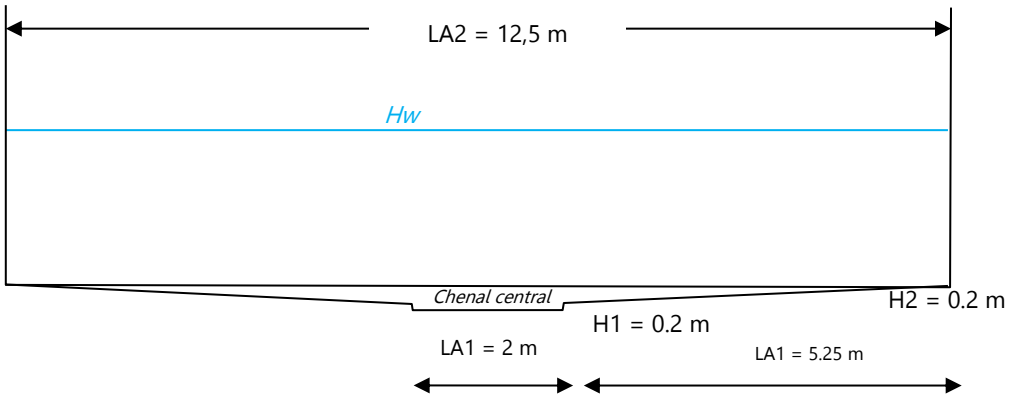


Figure 20. Section en travers pour le calcul des débits au pont de Bazeille

  - La photo au niveau du pont de Bazeille (ouvrage datant de 1961 : entonnement entre l'entrée du tunnel et le pont de Bazeilles) montre une échelle limnimétrique. Il est alors possible de calculer le débit au niveau du pont de Bazeille avec la formule de Manning-Strickler (KS=60) et la géométrie et pente du canal utilisées dans l'étude de Dufresne et Ducros (2014) pour la hauteur sous le pont. Signalons que la géométrie du canal qui a permis d'estimer les débits au niveau du pont de Bazeille est un peu différente de celles récupérée avenue Marcel Pagnol (Largeur = 16.60 m contre 12.25).

Avec un Ks=60, J= 0,00347 et Hw=3m, le débit est de 186 m^3/s, c'est-à-dire très supérieur au débit capable des études antérieures.

- Le Ks de 60 correspond bien au type de revêtement et de lit actuel : béton coulé non lissé ou béton très rugueux ou vieux ou maçonnerie vieille ou mal soignée ; canaux en maçonnerie moyenne avec joints nombreux ou nombreuses courbes ou béton avec développement dense d'algues ou de mousse…). Attention, dans l'étude SCE (2008 - phase 3 - page 194) la rugosité de l'**entonnement bordé de palplanches** est estimée à Ks=45 ! (⇔ surfaces à rugosité très importante (lit en gravier fin; canaux avec dépôts ou végétation; canaux en terre moyenne, dimensions modérées; moellons bruts grossièrement assemblés au ciment). Ces palplanches et un Ks de 45 n'ont pas été pris en compte en 2014 et ne le seront donc pas dans le cadre de notre étude.
- **La pente J de 0,35% ne semble pas adaptée par rapport à la réalité de la section**. D'après l'étude SCE (2008 -phase 3 - page 193) :
  - Entre le tunnel de l'Autoroute et l'entrée du tunnel de Lamalgue, l'Eygoutier présente un lit large de 10 à 15 m, avec un radier béton et des berges en maçonnerie ou en béton. D'après le profil en long de l'étude la pente moyenne sur le tronçon homogène est très faible de l'ordre de 0,06%.
  - Enfin, le tunnel Lamalgue est composé de trois tronçons : un cadre de 4,60 m * 3,80 m (sur 440 m), un cadre rétréci de 4,60 m * 2,70 m sur 44m ; puis un Fer à Cheval de 4,0 m * 3,32 m. La pente moyenne sur le 1er tronçon est d'environ 0.4 % (ce qui se rapproche de la pente utilisée par Dufresne et Ducros).

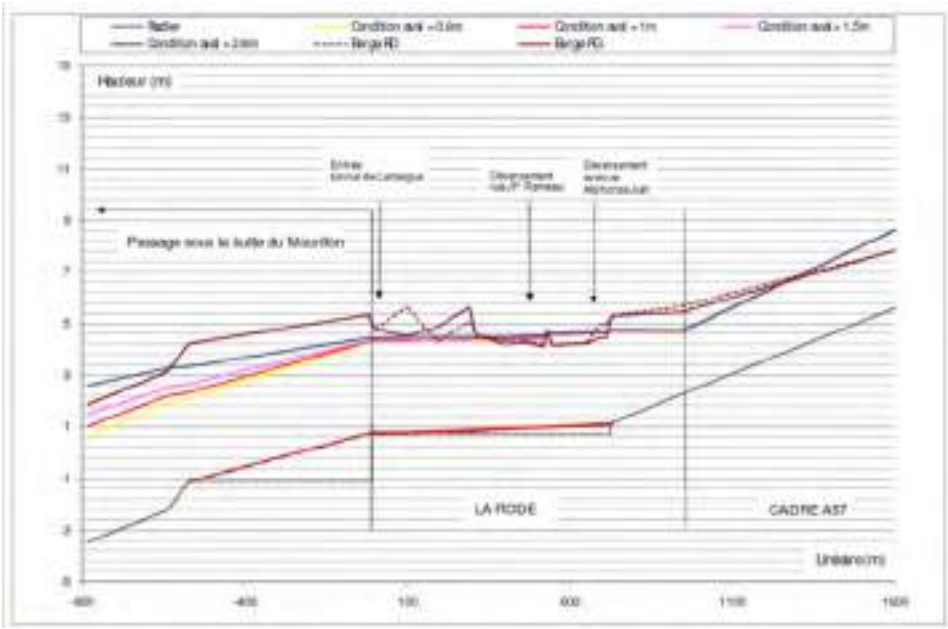


Figure 21. Profil en long de l'Eygoutier à l'aval du cadre de l'A57 (SCE, janvier 2008 - phase 3 page 188)

➔ **Avec une pente de 0.06 % (contre 0.35%) le débit de plein bord est de 78 m³/s ; ce qui semble plus réaliste avec capacité de 75 m³/s juste en amont (quai M. Pagnol).**

A retenir :

- La station du pont de Bazeille est représentative du bassin urbain de l'Eygoutier.
- HYDRETUDES propose d'utiliser une pente de 0.06% pour retomber sur une capacité de plein bord réaliste au pont de Bazeille. Les crues avec le plus fort débit sont retenues : 23 crues les plus importantes entre 2012 et 2013 (entre 6 et 85 m³/s) dont 5 avec des débits significatifs (>30 m³/s).

2.2.2.2 Station Véolia au chemin de la Foux

Au droit du chemin de la Foux à la Garde (en amont de la Planquette) en amont du secteur d'étude, les hauteurs de l'Eygoutier ont été relevées 2 à 3 fois par jour. Les données disponibles correspondent à 2005, 2006, et début 2007. La station Véolia draine un bassin versant de 25.87 km² (HYDRATEC, 2008). La hauteur moyenne annuelle est de 30 cm, pour une hauteur maximale de 2.18m le 28/01/2006 et des assecs (h=0m) durant les mois de juin à septembre.

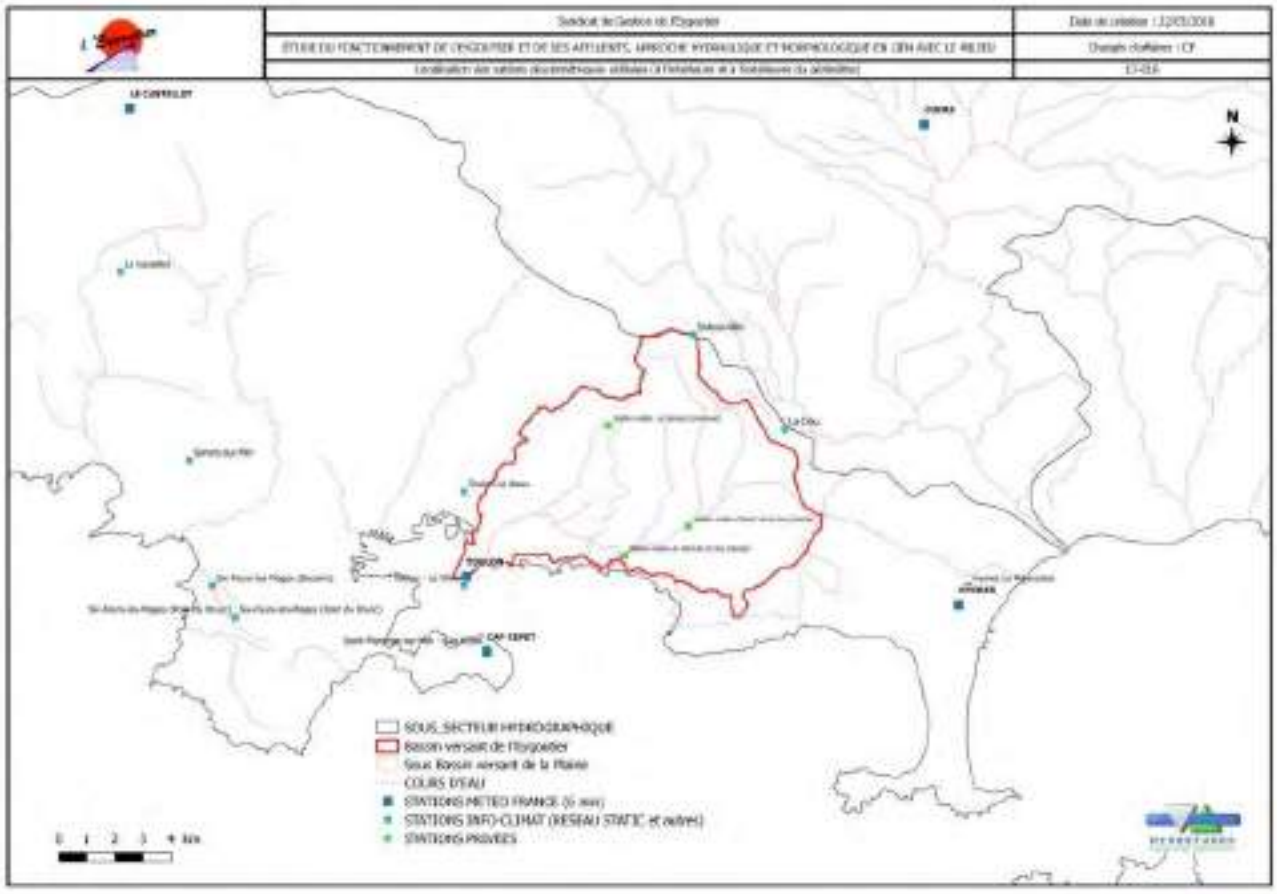
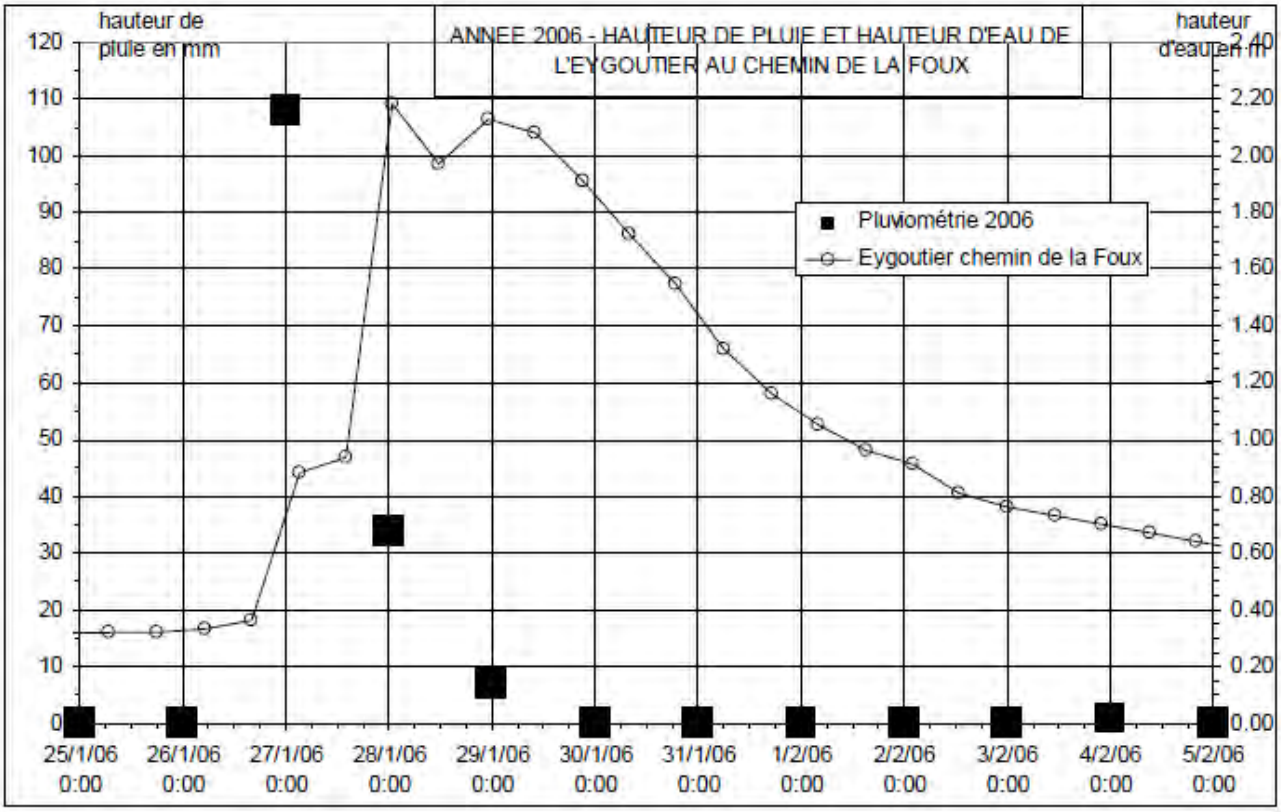


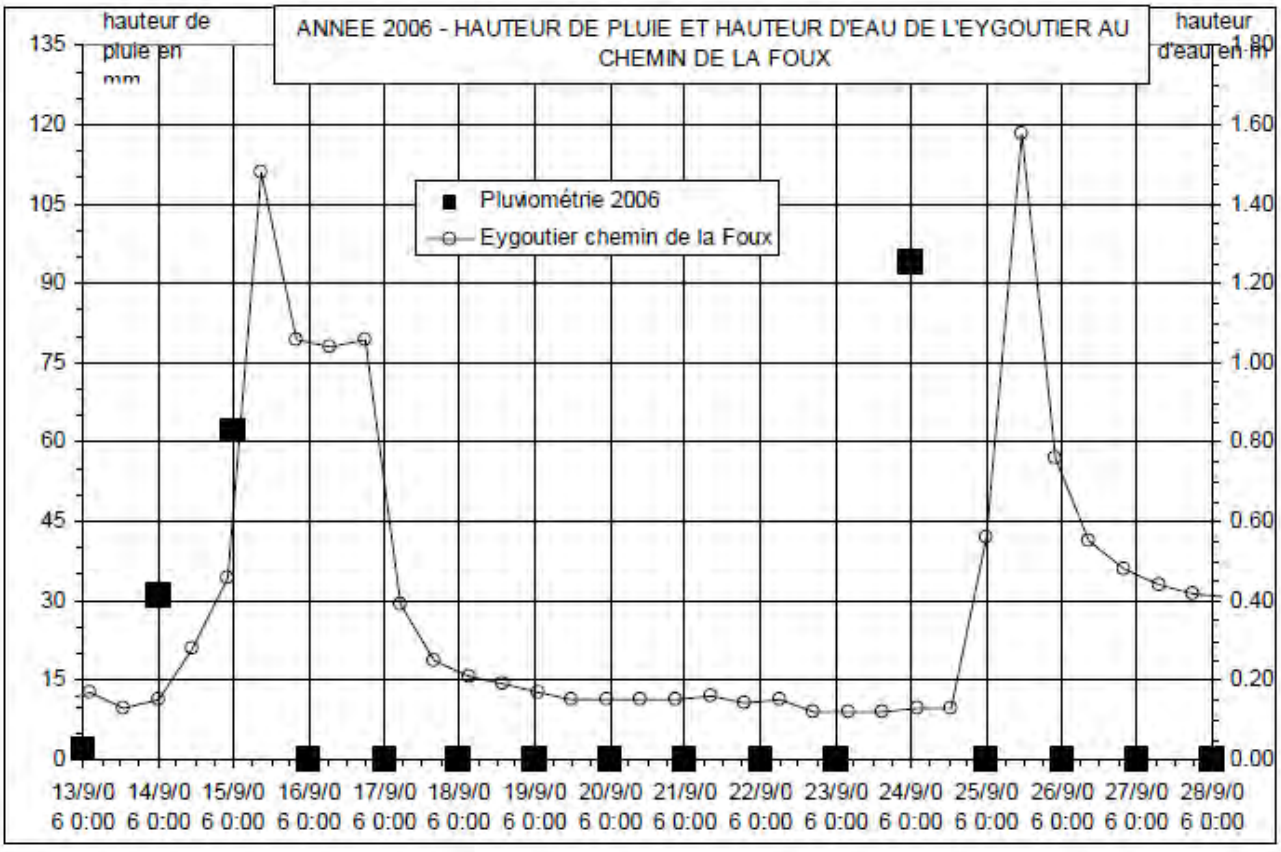
Figure 22. Localisation des stations

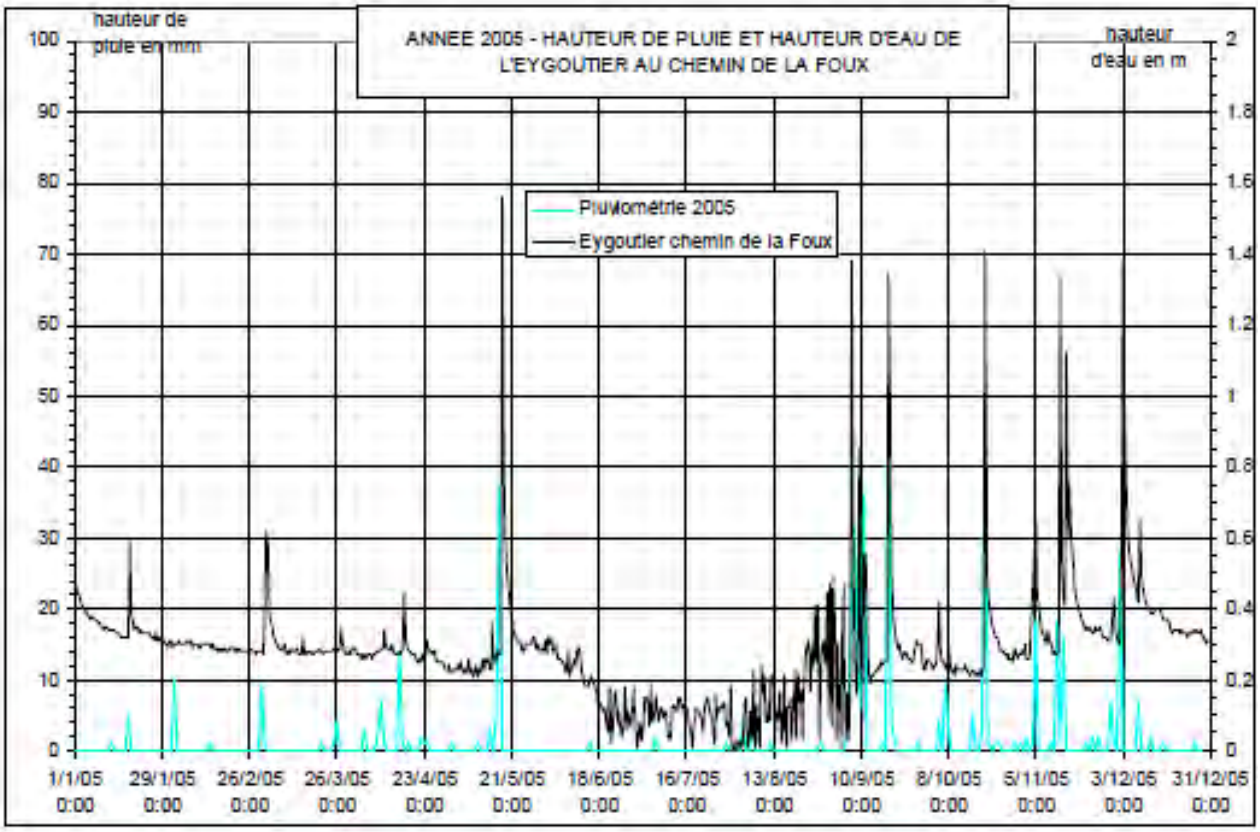
Limnigramme caractéristique (HYDRATEC, 2008) : Le temps de montée moyen est compris entre 2.h et 3h au droit du secteur. La durée moyenne de crue est comprise entre une demi-journée pour les orages intenses à 5 - 6 jours pour les épisodes pluvieux plus longs.

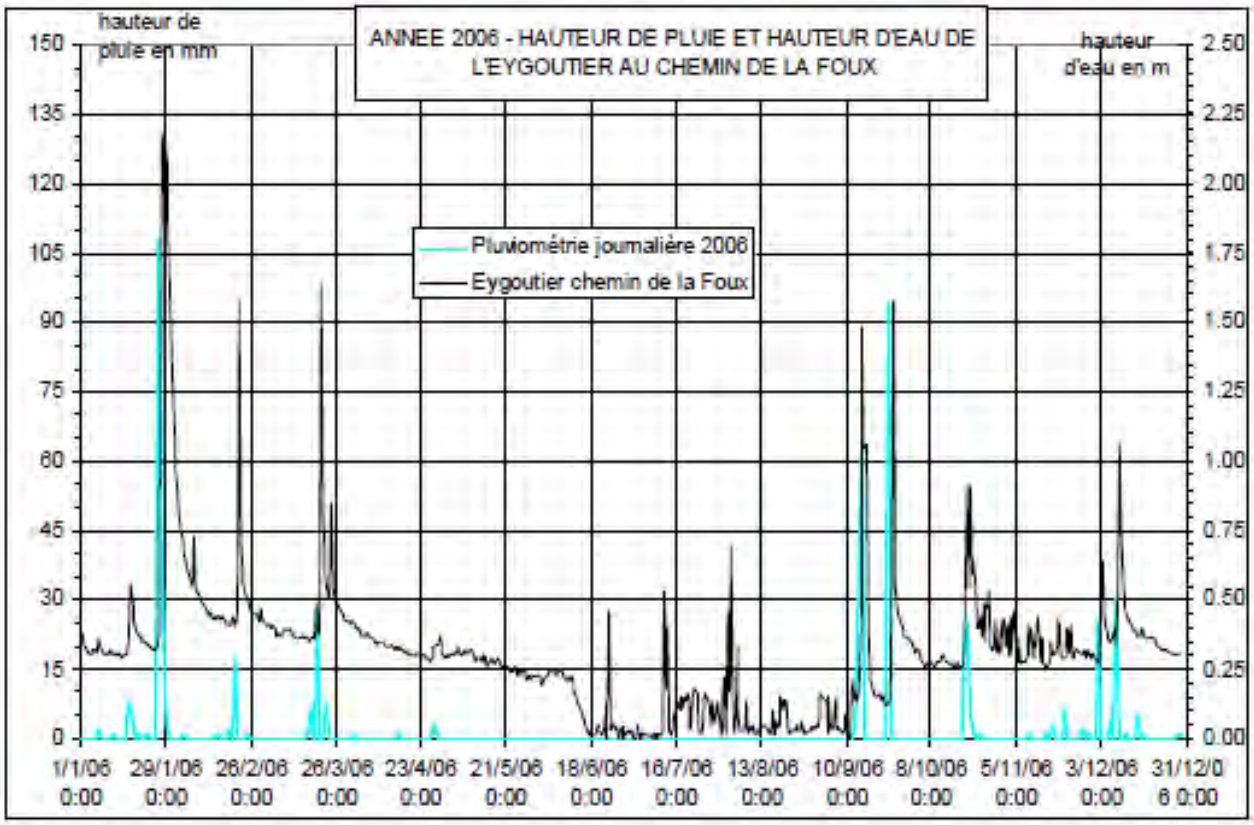
A retenir :

- La station du chemin de Foux est représentative du bassin rural de l'Eygoutier.
- Selon le SGE des nouvelles stations mesurant la hauteur d'eau existent aussi sur cette partie du bassin versant (2 nouvelles stations au pont de la Clue, une station à l'université).
- Ces stations non jaugées n'ont pas de courbe de tarage mais dans le cas où des profils en travers au niveau des stations seraient réalisés, une estimation des débits par les lois de l'hydraulique pourrait être faite.


ANNEE 2006 - HAUTEUR DE PLUIE ET HAUTEUR D'EAU DE L'EYGOUTIER AU CHEMIN DE LA FOUX
hauteur de pluie en mm
hauteur d'eau en m
Pluviométrie 2006
Eygoutier chemin de la Foux
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2.40
2.20
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
25/1/06 0:00
26/1/06 0:00
27/1/06 0:00
28/1/06 0:00
29/1/06 0:00
30/1/06 0:00
31/1/06 0:00
1/2/06 0:00
2/2/06 0:00
3/2/06 0:00
4/2/06 0:00
5/2/06 0:00


ANNEE 2006 - HAUTEUR DE PLUIE ET HAUTEUR D'EAU DE L'EYGOUTIER AU CHEMIN DE LA FOUX
hauteur de pluie en mm
hauteur d'eau en m
Pluviométrie 2006
Eygoutier chemin de la Foux
135
120
105
90
75
60
45
30
15
0
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
13/9/06 0:00
14/9/06 0:00
15/9/06 0:00
16/9/06 0:00
17/9/06 0:00
18/9/06 0:00
19/9/06 0:00
20/9/06 0:00
21/9/06 0:00
22/9/06 0:00
23/9/06 0:00
24/9/06 0:00
25/9/06 0:00
26/9/06 0:00
27/9/06 0:00
28/9/06 0:00


ANNEE 2005 - HAUTEUR DE PLUIE ET HAUTEUR D'EAU DE L'EYGOUTIER AU CHEMIN DE LA FOUX
hauteur de pluie en mm
hauteur d'eau en m
Pluviométrie 2005
Eygoutier chemin de la Foux
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
1/1/05 0:00
29/1/05 0:00
26/2/05 0:00
26/3/05 0:00
23/4/05 0:00
21/5/05 0:00
18/6/05 0:00
16/7/05 0:00
13/8/05 0:00
10/9/05 0:00
8/10/05 0:00
5/11/05 0:00
3/12/05 0:00
31/12/05 0:00


ANNEE 2006 - HAUTEUR DE PLUIE ET HAUTEUR D'EAU DE L'EYGOUTIER AU CHEMIN DE LA FOUX
hauteur de pluie en mm
hauteur d'eau en m
Pluviométrie journalière 2006
Eygoutier chemin de la Foux
150
135
120
105
90
75
60
45
30
15
0
2.50
2.25
2.00
1.75
1.50
1.25
1.00
0.75
0.50
0.25
0.00
1/1/06 0:00
29/1/06 0:00
26/2/06 0:00
26/3/06 0:00
23/4/06 0:00
21/5/06 0:00
18/6/06 0:00
16/7/06 0:00
13/8/06 0:00
10/9/06 0:00
8/10/06 0:00
5/11/06 0:00
3/12/06 0:00
31/12/0 6 0:00

PARTIE 2 : IDENTIFIER LES PROCESSUS A PLUS FORT RISQUE PLUVIOMETRIQUE ET HYDROLOGIQUE PAR SOUS-BASSINS

3 CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE GLOBAL

Les données annuelles et mensuelles des stations météorologiques du réseau Météo-France à l'intérieure et proche du bassin de l'Eygoutier ont été récupérées auprès de Météo-France sur les 10 dernières années (Toulon la Mitre, Cuers, Le Castellet, Hyères, Cap Cépet).

3.1 PRECIPITATIONS ANNUELLES

Les précipitations annuelles enregistrées entre 2007 à 2017 aux 5 stations montrent une certaine hétérogénéité spatiale et temporelle :

- Les moyennes interannuelles sont plus importantes sur les stations de Cuers et du Castellet, plus au nord et plus hautes en altitudes que sur les 3 stations du Littoral. Sur ces 3 stations proches de la mer et à basse altitude, la station d'Hyères présente les moyennes les plus fortes.

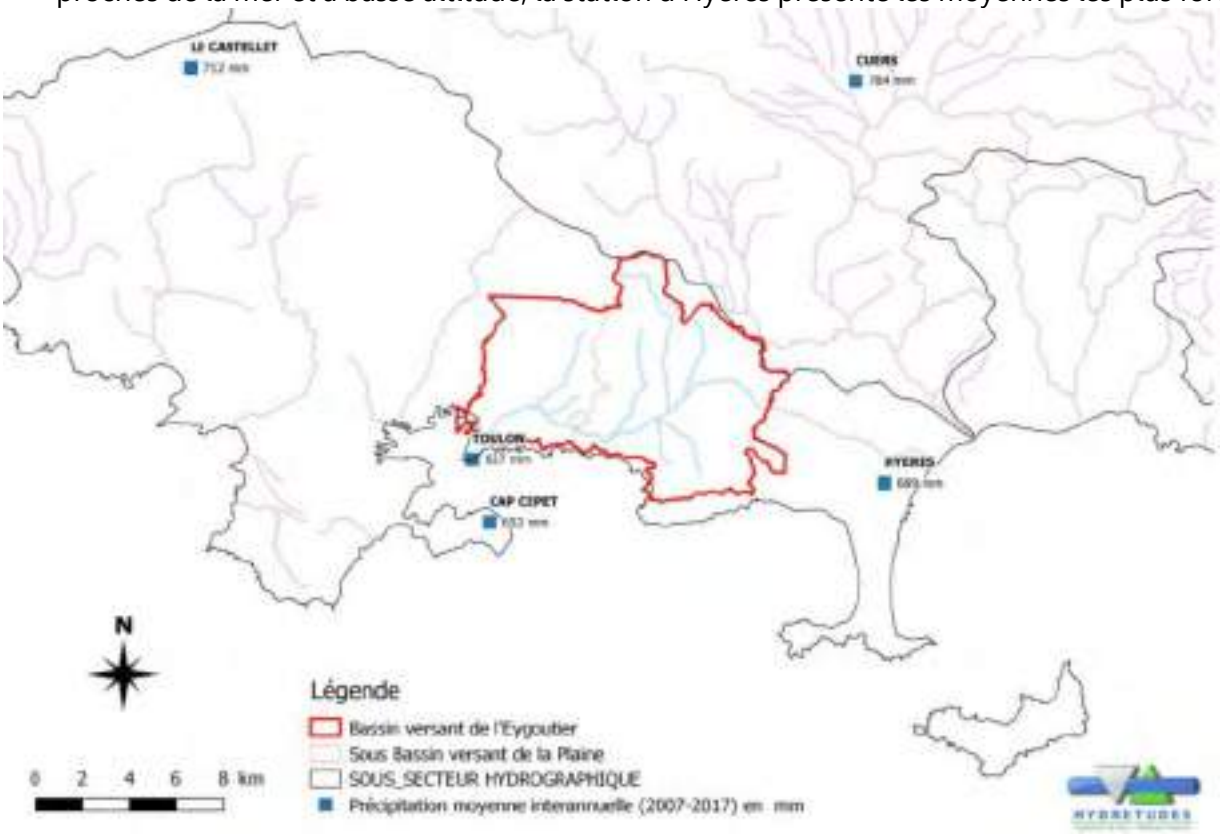


Figure 23. Répartition des précipitations moyennes interannuelles (2007-2017) sur les 5 stations météo-France

- Les cumuls annuels de 2007 à 2017 sont fortement corrélés (R^2>0.95) entre les 4 stations suivantes : Toulon - Cap Cepet - Hyères - Cuers. Les biais entre Toulon/Cap Cepet et Toulon/Hyères sont proches de 1 (respectivement de 1.03 et de 1.1). Le biais Toulon/Cuers est significatif avec 1.25. La station de Toulon est moins bien corrélée avec celle du Castellet (R^2=0.7). La tendance interannuelle se retrouvent (cumul de précipitation annuel à Cuers > Hyères> Cap Cepet > Toulon) mais si elles ne sont pas systématiques d'une année sur l'autre.

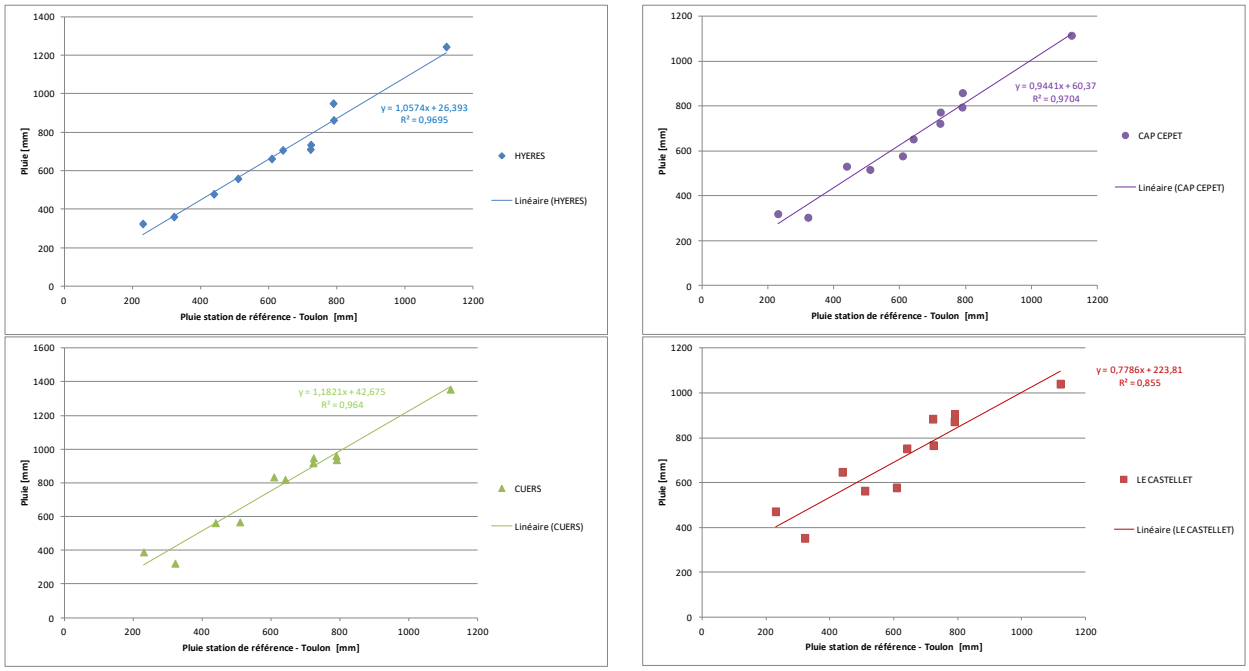


Figure 24. Corrélation entre les précipitations moyennes interannuelles enregistrées à la station de Toulon de 2007 à 2017 et les 4 autres stations météo-France

- La variabilité d'une année sur l'autre est importante sur ces 10 dernières pour toutes les stations. L'année 2014 est particulièrement pluvieuse avec des cumuls de plus de 1000 mm (1356 mm à Cuers et 1243 mm à Hyères). Inversement, les années 2007 et 2017 sont particulièrement sèches avec des cumuls inferieures à 450 mm.

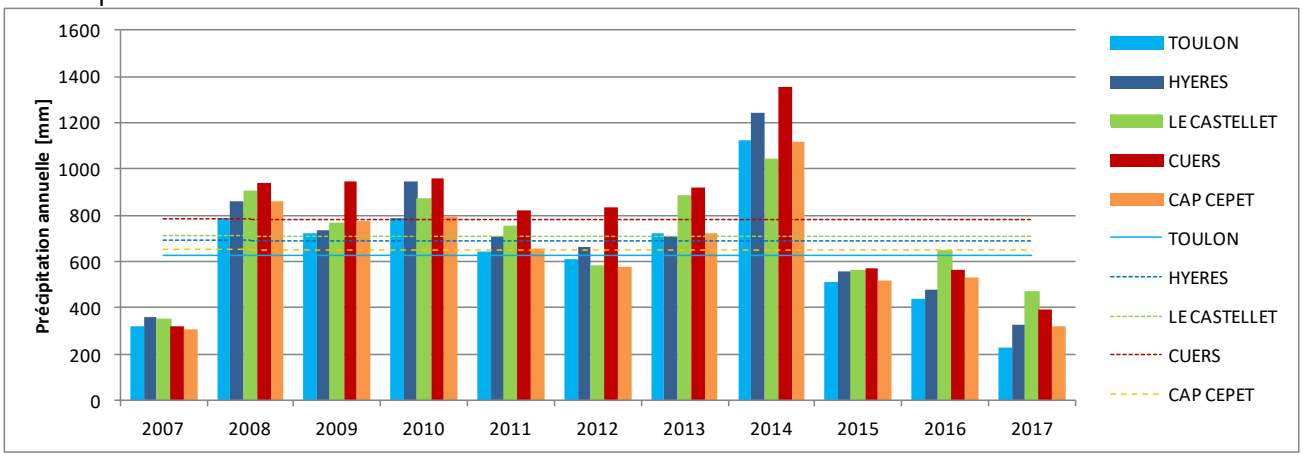


Figure 25. Evolution des cumuls de précipitations annuels de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France

A retenir :

Les cumuls annuels de 2007 à 2017 sont variables d'une année à l'autre quelle que soit la station et sont fortement corrélés (R^2>0.95). Les cumuls annuels à Toulon sont généralement plus faibles que ceux enregistrés aux Cap Cepet et à Hyères et d'autant plus à Cuers et au Castellet.

3.2 PRECIPITATIONS MENSUELLES

- Les précipitations moyennes mensuelles (2007-2017) présentent un régime typiquement méditerranéen sur les 5 stations avec des cumuls maximaux d'octobre à décembre et des

minimaux en été (juillet et aout). Pour une même station, la variabilité précipitations moyennes mensuelles d'une année sur l'autre peut être très importante.

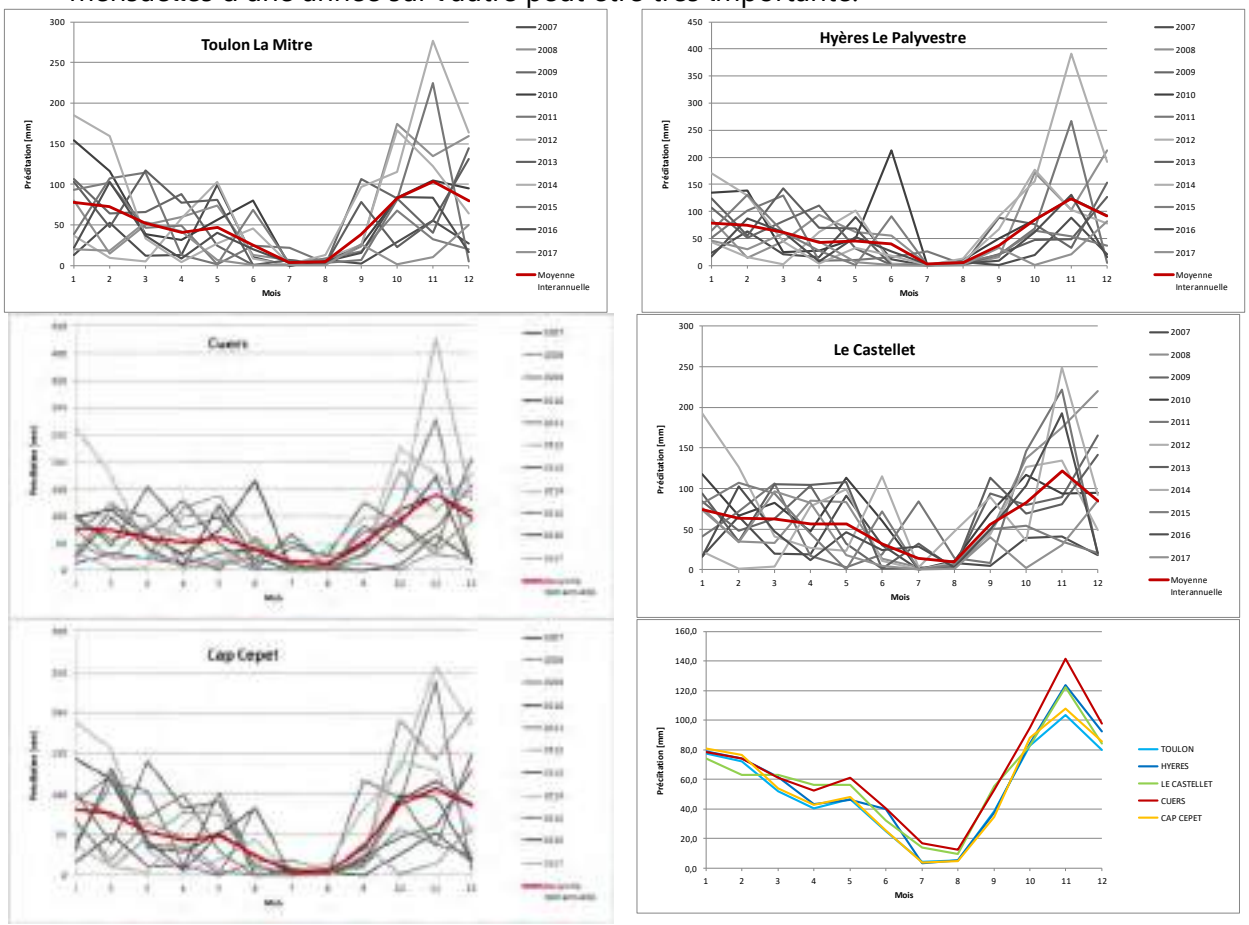


Figure 26. Précipitations mensuelles de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France et moyenne interannuel.

- Les tendances annuelles se retrouvent sur les précipitations mensuelles, avec des corrélations significatives des cumuls mensuels entre stations et des précipitations mensuelles en moyenne plus forte sur Cuers que sur les autres stations du littoral.

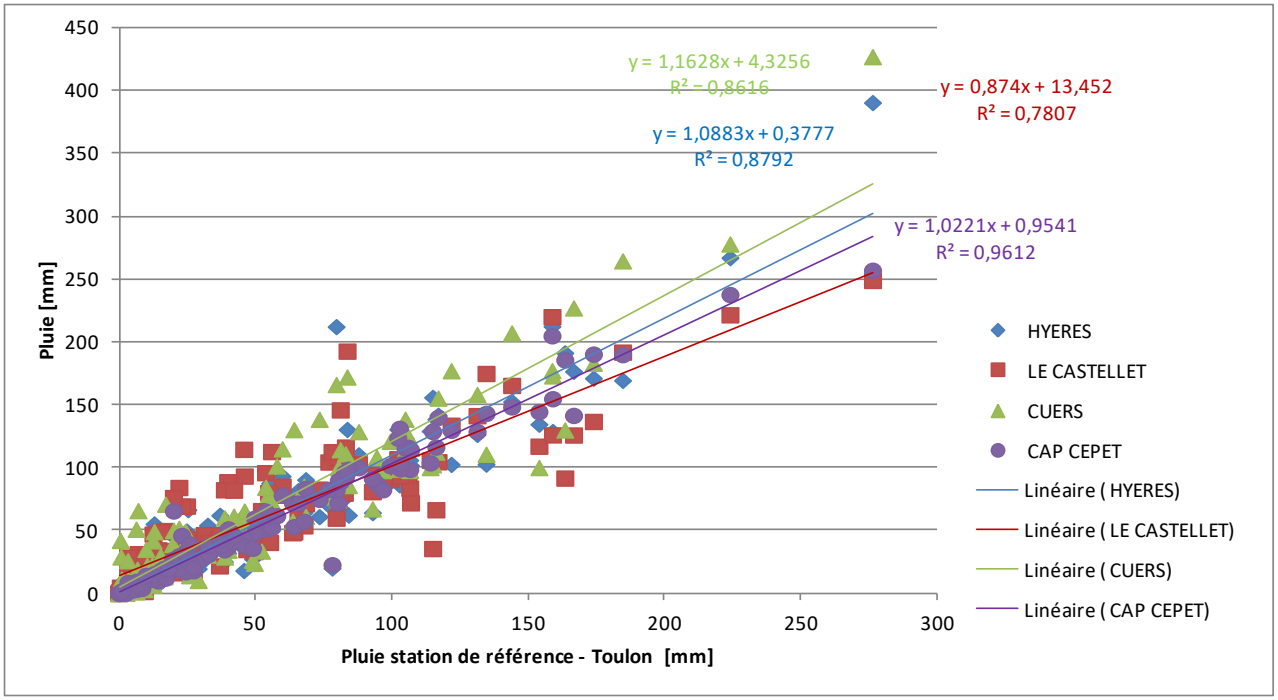


Figure 27. Corrélation entre les cumuls mensuels de précipitations enregistrés à la station de Toulon entre 2007 et 2017 et les 4 autres stations météo-France

A retenir :

Les cumuls mensuels suivent les tendances annuelles avec des précipitations plus importantes sur Cuers. Le régime est typiquement méditerranéen avec une variabilité interannuelle très forte.

3.3 PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES ANNUELLES

Les précipitations journalières maximales annuelles sur chaque site ont également été récupérées auprès de Météo France (sans distinguer la date de l'événement).

- Les cumuls maximums annuels sur 24h de 2007 à 2017 montrent une importante hétérogénéité temporelle et spatiale. Les années 2010 et 2014 sont atypiques à la station d'Hyères avec des P24h de plus de 140 mm. L'année 2010 est particulière à Cuers.

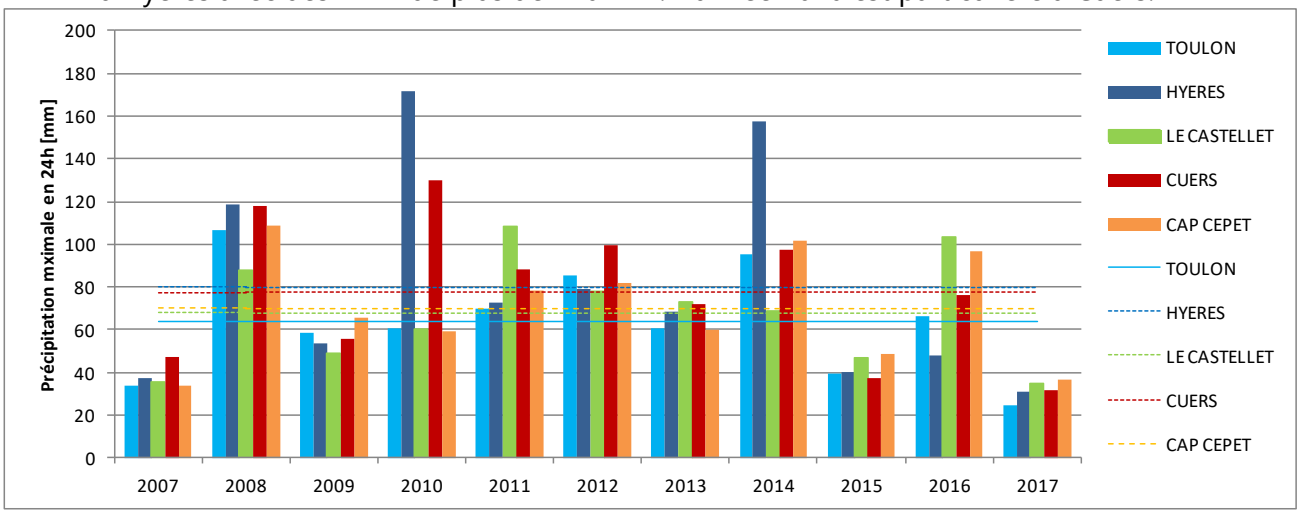


Figure 28. Evolution des cumuls maximums annuels sur 24h de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France

- Seules les stations de Toulon et Cap Cepet sont bien corrélées. Contrairement aux cumuls mensuels ou annuels, les précipitations journalières maximales ne sont pas corrélées entre Toulon et Hyères du fait des deux années atypiques.

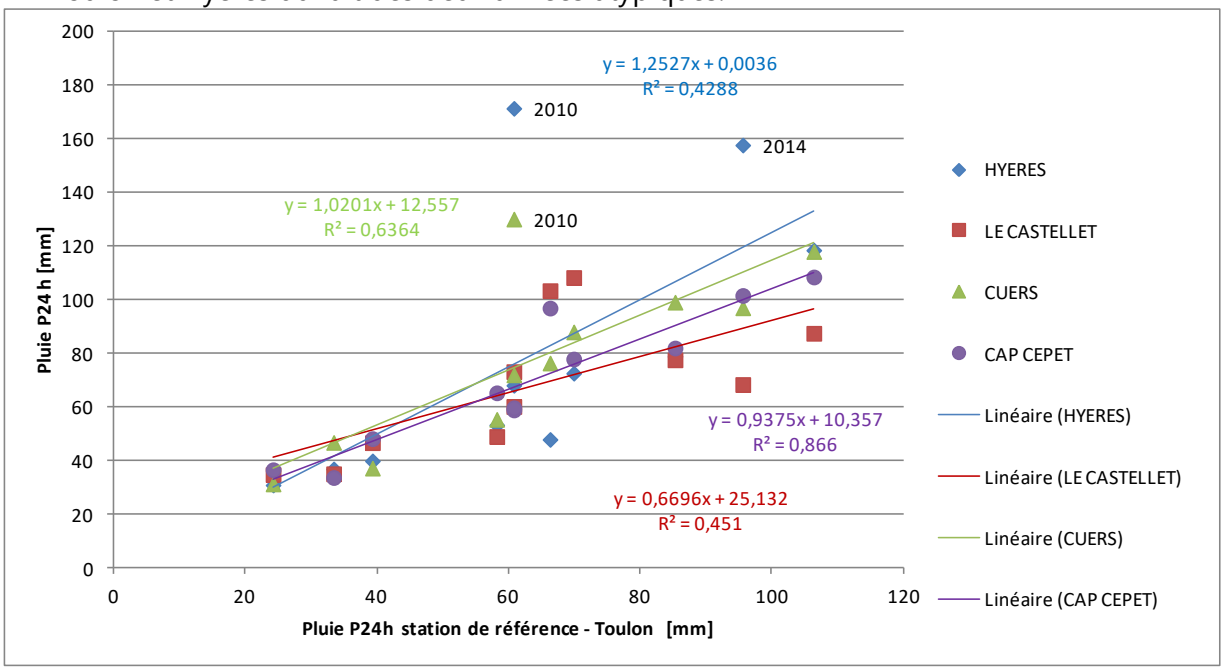


Figure 29. Corrélation entre les cumuls maximums annuels sur 24h de précipitations enregistrés à la station de Toulon entre 2007 et 2017 et les 4 autres stations météo-France

A retenir :

Les précipitations journalières maximales annuelles enregistrées à la station de Toulon entre 2007 et 2017 sont bien corrélées à celles de Cap Cepet, et dans une moindre mesure à celles de Hyères et de Cuers du fait d'années atypiques (2010 et 2014).

3.4 PRECIPITATIONS JOURNALIERES EXCEPTIONNELLES

Afin d'affiner l'analyse spatiale des précipitations, deux analyses des précipitations journalières exceptionnelles ont été menées sur les 5 stations de météo France. Seules les chroniques de données journalières des années 2012 à 2017 ont été récupérées auprès de la DDTM83 ; bien que la période soit restreinte, elle comporte des années de très forte pluviométrie. Les pluies journalières supérieures à 40 mm sont étudiées (elles représentent des jours de pluviométrie forte à très forte, suivant la durée de la pluie).

Une analyse par couple de station permet d'identifier une éventuelle dépendance entre précipitations journalières. L'idée est de voir si les plus forts cumuls journaliers **observés à une date donnée** sur une station de référence correspondent à ceux d'une autre station et vice-versa (simultanéité des pluies).

- Les cumuls pluvieux sur 24h > 40 mm sur Toulon sont corrélés avec ceux de Cap Cepet et Hyères mais le coefficient reste relativement faible (R^2~0.7). Il n'y a pas de corrélation avec les cumuls journaliers de Cuers et de Le Castellet.
- Les cumuls pluvieux sur 24h >40 mm sur Cuers ne sont corrélés avec aucune des 4 autres stations.
- Les cumuls pluvieux sur 24h >40 mm sur Hyères sont uniquement corrélés avec ceux de Toulon avec un coefficient relativement faible (R^2~0.6).
- Les cumuls pluvieux sur 24h >40 mm sur Le Castellet ne sont corrélés avec aucune des autres stations.

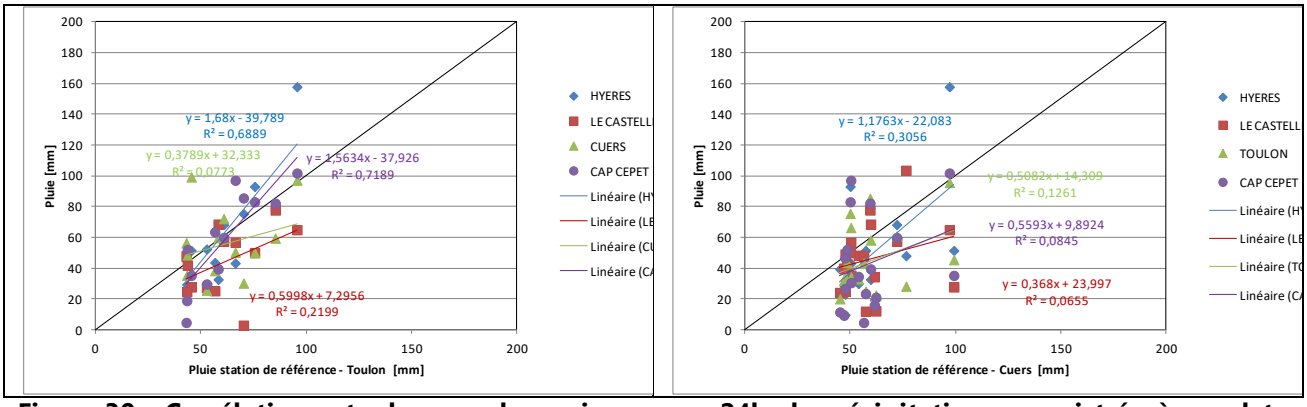


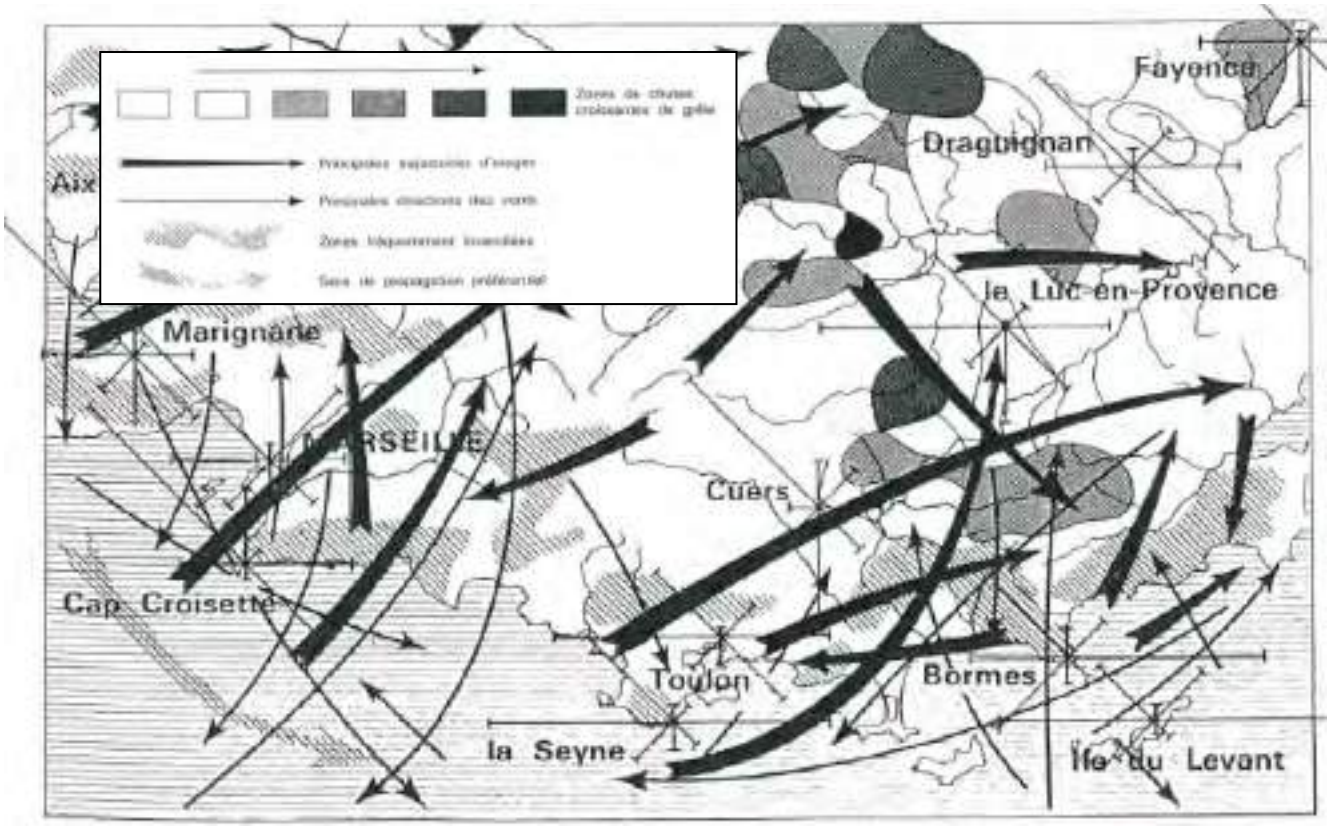
Figure 30. Corrélation entre les cumuls maximums sur 24h de précipitations enregistrés à une date donnée à la station de Toulon entre 2007 et 2017 et les 4 autres stations météo-France

A retenir :

Les fortes pluies à Toulon sont ainsi généralement associées à des fortes pluies au Cap Cepet et à Hyères (la réciproque est vraie, surtout pour la station du Cap Cepet). Les fortes pluies à Toulon sont aussi en moyenne associées à des fortes pluies à Cuers, mais la réciproque n'est pas vraie.

3.5 VENTS DOMINANTS ET PRINCIPALES TRAJECTOIRES D'ORAGE DANS LE VAR

Une carte climatique issue de l'étude SIB de 1994 donne les principales trajectoires d'orage dans le var (extrait de la Carte de la végétation de la France - source CNRS). Il est intéressant de noter que pour le bassin de l'Eygoutier, les deux vents dominants sont le mistral (NORD-OUEST) et le Labech du SUD-OUEST. Ce dernier s'accompagne souvent de pluies torrentielles. Les principales directions d'orages sont orientées vers le NORD-EST et l'EST apportant les principales pluies.



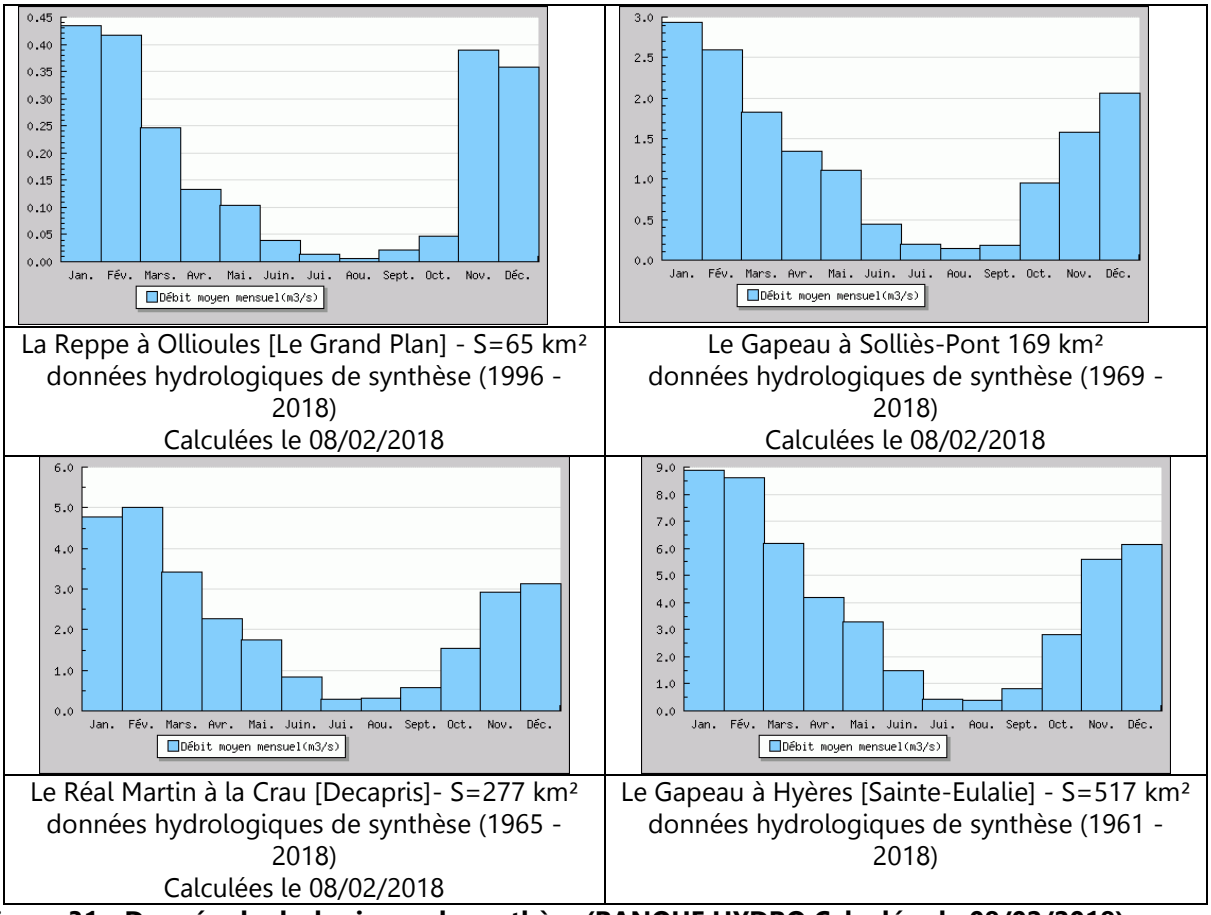
Principales trajectoires d'orage dans le var (source CNRS, d'après SIB, 1994)

4 FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE

4.1 REGIME HYDROLOGIQUE

Il existe peu de donnée sur des périodes trop courtes pour établir le régime moyen ou le régime d'étiage du cours d'eau et ses affluents. Les seuls éléments qui peuvent être rapportés sur le **régime** des cours d'eau hors crue sont donc purement qualitatifs et généraux :

- Comme tous les cours d'eau méditerranéens, l'Eygoutier et ses affluents sont caractérisées par une grande variabilité saisonnière de leurs débits. En été, du fait des fortes températures (évaporation) et des faibles précipitations, les niveaux d'eau sont au plus bas, provoquant souvent des périodes d'étiage marquées. Par contre, pendant l'automne et l'hiver des crues peuvent se produire, avec notamment l'arrivée d'orages violents.
  Ceci peut être observé sur la Figure suivante qui représente les débits mensuels interannuels issus de la banque HYDRO au niveau de stations sur des bassins versant limitrophes.



La Reppe à Ollioules [Le Grand Plan] - S=65 km² données hydrologiques de synthèse (1996 - 2018) Calculées le 08/02/2018

Le Gapeau à Solliès-Pont 169 km² données hydrologiques de synthèse (1969 - 2018) Calculées le 08/02/2018

Le Réal Martin à la Crau [Decapris]- S=277 km² données hydrologiques de synthèse (1965 - 2018) Calculées le 08/02/2018

Le Gapeau à Hyères [Sainte-Eulalie] - S=517 km² données hydrologiques de synthèse (1961 - 2018)

Figure 31 - Données hydrologiques de synthèse (BANQUE HYDRO Calculées le 08/02/2018).

L'Eygoutier présente un régime contrasté, avec des étiages marqués, pouvant aller jusqu'à l'assec en saison estivale, et des crues importantes et parfois brutales suite aux épisodes orageux comme le montre l'évolution des débits sur l'ensemble de la période de mesures réalisées dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014).

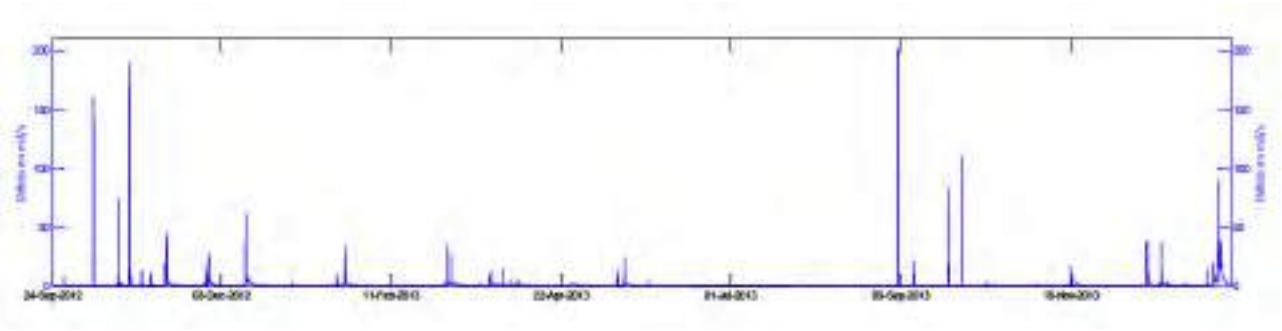


Figure 32. Evolution des débits sur l'ensemble de la période de mesure sur l'Eygoutier (hydrogramme) - Ducros (2014)

- Le régime de l'Eygoutier et de ses affluents est influencé par le fonctionnement atypique de la nappe alluviale : **en période de hautes eaux, la mise en charge de la nappe triasique profonde provoque une « remontée » de la nappe alluviale qui contribue à soutenir le débit des cours d'eau** ; a contrario, en période d'étiage, la nappe alluviale, drainée par la nappe profonde dont le niveau baisse, se tarit et ne permet pas d'assurer un soutien des débits des cours d'eau.
- Les affluents, alimentés en tête par des sources karstiques, sont en eau la majeure partie de l'année et contribuent en grande partie à soutenir le débit de l'Eygoutier. Ceci est particulièrement vrai pour le **tronçon en aval du Pont de la Clue, qui est aujourd'hui reconnecté du tronçon amont quand les écoulements sont faibles (travaux 2018).**
- Le contexte géologique du bassin favorise les écoulements intermittents sur certains tronçons (écoulements de subsurface, drainage vers la nappe alluviale voire la nappe profonde).

4.2 ANALYSE DES CRUES RECENTES ENREGISTREES

Les données de pluie à Toulon et de débits relevées au Pont de Bazeille entre le 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014 (16 mois) recueillies dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014) ont été récupérées et analysées. Pour chaque événement, la durée caractéristique de crue (durée pendant laquelle le débit dépasse la moitié du débit de pointe) a été calculée à partir des hydrogrammes.les volumes écoulés pendant cette durée ont également été calculés.

Ces données correspondent à 20 crues avec des débits de pointes entre 12 et 85 m^3/s (seules 6 crues présentent des débits significatifs >30 m^3/s). Elles ont lieu majoritairement entre septembre et janvier. Parmi les 6 crues les plus importantes, 6 ont lieu entre septembre et octobre.

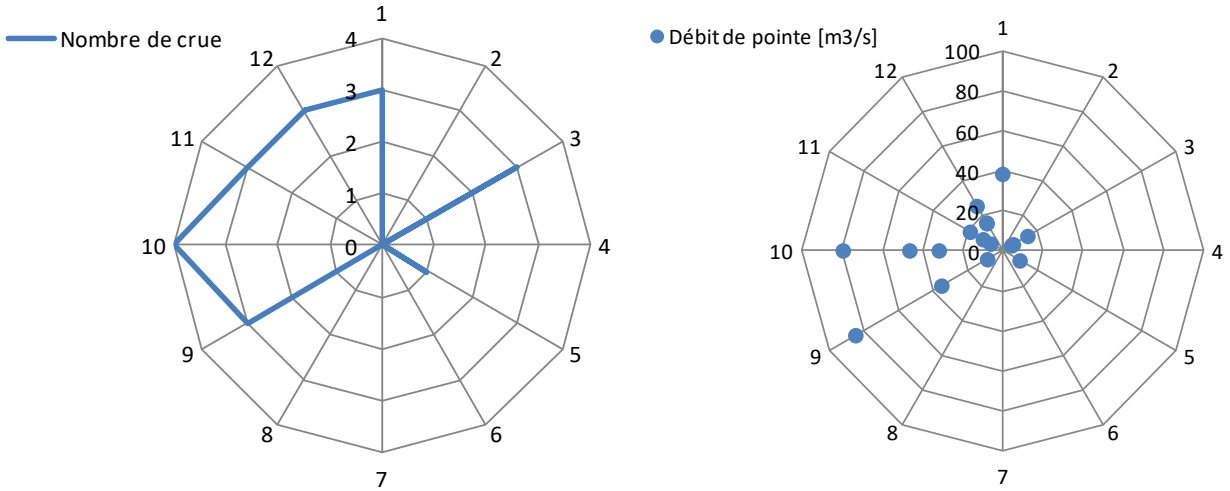


Figure 33. Répartition saisonnière des crues au Pont de Bazeille entre le 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014

4.2.1 Relation Pluie-Débit globale

Différentes corrélations ont été testées entre les débits de pointes au Pont de Bazeille et les données de pluie à Toulon : hauteur de pluie totale (mm), sur 24 h, 1 h et 6 min (mm), Intensité Maximale horaire (mm/h) et antécédent pluviométrique à 5 et 15 jours. Les pluies à la station de Toulon la Mitre pour n'ont pas été enregistrée pour la crue n°3 (21/10/2012). La série des pluies n°34 (16/01/2014) est incomplète.

Les débits maximums enregistrés sont assez bien corrélés avec les intensités de pluies sur 6min et les pluies horaires (R^2>0.6) d'autant plus si 2 crues sont retirées (R>0.88). Effectivement les pluies de la station de Toulon la Mitre ne semblent pas expliquer les crues importants (>30 m3/s) n°4 (26/10/2012) et 34 (16/01/2014). Les deux pluies sur 6min et horaires sont corrélées.

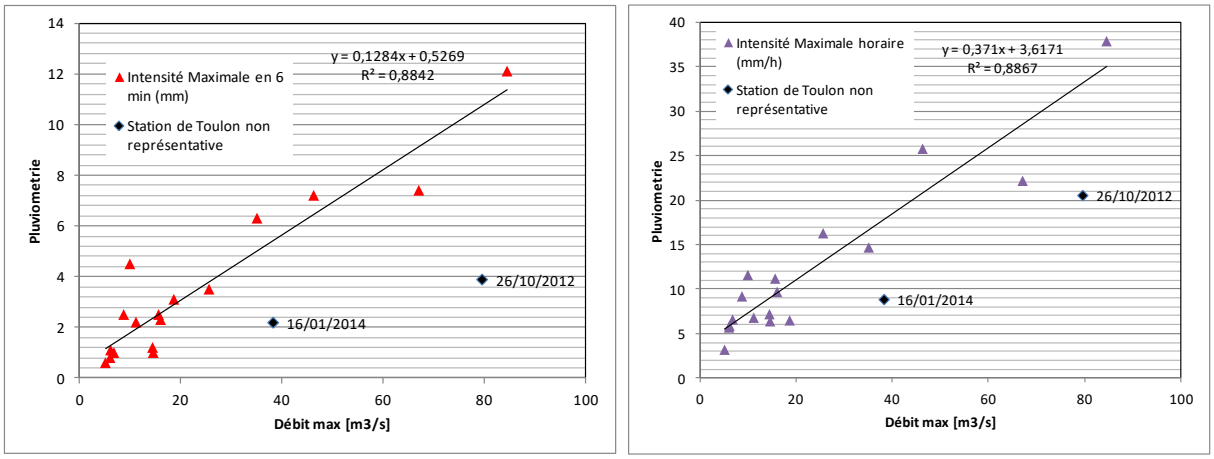


Figure 34. Corrélations entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques (ΔT = 6min et 1h).

Les débits maximums enregistrés ne sont en revanche pas corrélés avec les cumuls sur 24 (6h-6h) ou la hauteur totale de l'événement, ni avec l'antécédent pluviométrique à 5 et 15 jours (mm). L'événement du 26/10/2012 crue (n°4) est atypique par ses débits et ses conditions antécédentes (cf. chapitre 4.2.3.3.).

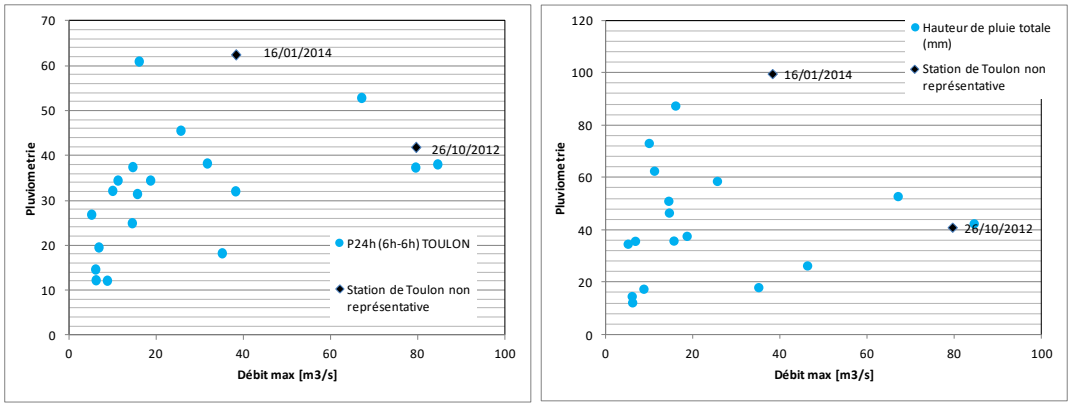


Figure 35. Corrélations entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques sur 24 h et hauteur totale de l'événement.

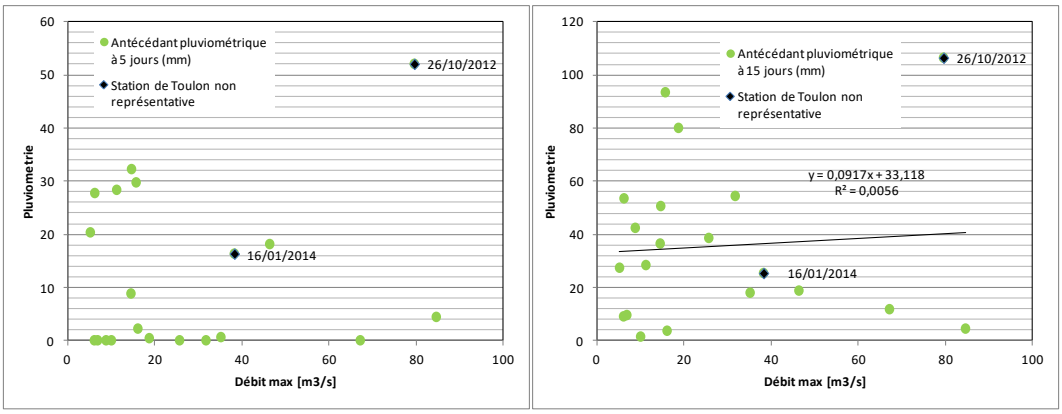


Figure 36. Corrélations entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques sur l'événement et antécédents pluviométriques à 5 et 15 jours.

4.2.2 Forme des hydrogrammes

Les hydrogrammes de 23 crues les plus remarquables ont donc été récupérées auprès de Loïc Ducros (IRSN). Ils ont été normés et centrés pour les comparer. Les 13 hydrogrammes de forme simple (non atypiques) peuvent être regroupés suivant leur forme en différentes catégories suivant leur forme et la durée caractéristique de crue (durée pendant laquelle le débit dépasse la moitié du débit de pointe) :

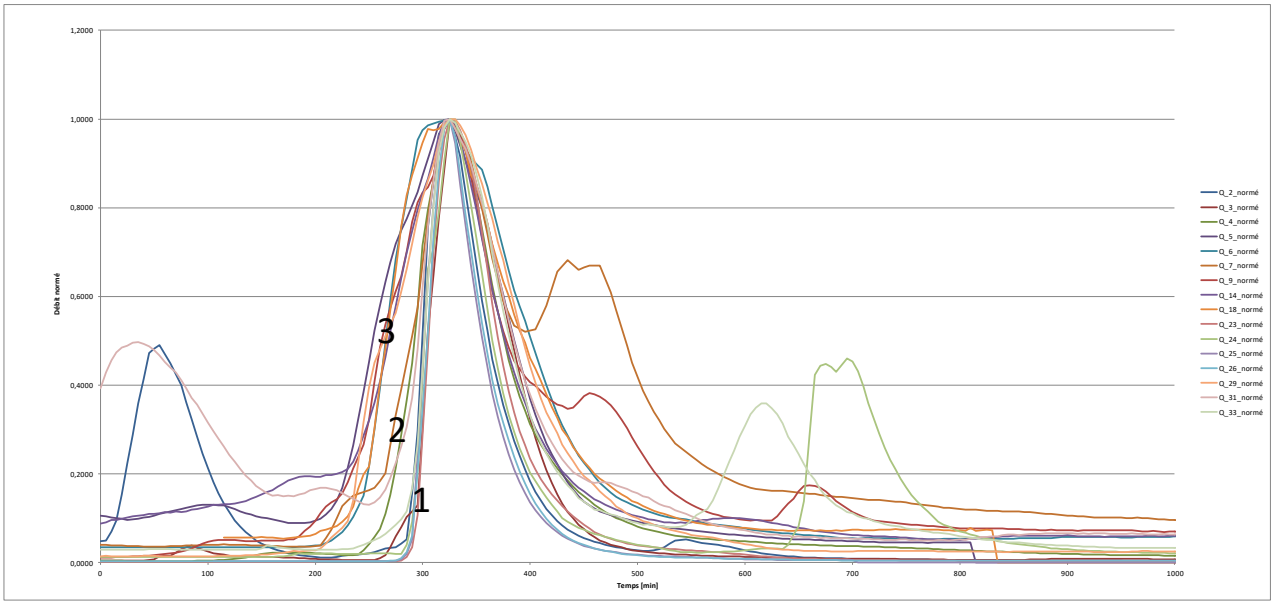


Figure 37. Hydrogrammes de 23 crues les plus remarquables normés et centrés

4.2.2.1 Les hydrogrammes centré-réduit à montée très brutale (n°2,3,23,24,25,26,33)

Les crues (n°2,3,23,24,25,26,33) à montée très brutale (groupe 1) se distinguent en deux sous-groupes suivant leur durée caractéristique de crue :

- Le groupe 1-A, formé de 5 crues avec des débits de pointe entre 8.7 <Qp< 84 m^3/s, présente une montée très brutale de crue et des durées caractéristiques entre 55<Ds<65 min.
- Le groupe 1-B avec 2 crues avec des débits de pointe entre 6 <Qp< 31.7 m^3/s,, se distingue par une décrue moins brutale et des durées caractéristiques de 80 min.

Les valeurs de débits de pointes de crues sont très bien corrélées avec les pluies de 6 min (R^2=0.92) mais aussi avec les cumuls sur 24 h et sur l'événement. Les 4 crues les plus fortes **(**n°2, 23, 25,26) dont la crue du 8 septembre 2013 (n°23), remarquable par son débit de pointe de 84.6 m3/s, appartiennent à ce type.

Il est intéressant de comparer les crues n°2 (11/10/2012) et n°26 (04/10/2013). Pour quasi les mêmes caractéristiques de pluie au pas de temps fins, le débit de pointe plus important de la crue n°2 (Qp= 67.1 m^3/s) s'explique sans doute par la succession de deux épisodes de pluie rapproché et une crue précédente significative (voir détail ci-dessous).

4.2.2.2 Les hydrogrammes centré-réduit avec montée moyenne (n°4, 31)

Les 2 crues du groupe 2 (n°4, 31), avec des débits de pointe entre de 15.6 et 79.5 m^3/s, présentent une montée de crue moyenne et des durées caractéristiques de crue de 85 min. Les deux crues présentent des similarités en termes de cumuls de pluies sur 24 h (et sur l'événement) et d'antécédents pluviométriques importants.

La corrélation avec la pluviométrie à pas de temps faibles n'est pas établie pour la crue n°4 (26/10/2012) ; elle l'est pour la crue n°31 (24/12/2013). En revanche le débit de pointe de la crue n°4 semble lié au groupe 1 par les cumuls sur 24h ou sur la totalité de l'événement

Soit la station de Toulon peut être jugée ne pas représenter l'événement soit d'autres processus sont en jeux pour expliquer les pointes de débits de la crue n°4 (26/10/2012).

4.2.2.3 Les hydrogrammes centré-réduit de forme symétrique (n°9, 14, 18, 29)

Les 4 crues du groupe 3 (n°9, 14, 18, 29) présente un hydrogramme centré-réduit de forme symétrique. Les débits de pointe sont faibles entre (< 25 m^3/s). Ils sont très bien corrélés avec les pluies de 6 min et 1h. La relation avec les cumuls de hauteurs de pluies sur 24 h et sur l'événement est différente de celle du groupe .1. Pour une même pluviométrie, les débits sont plus faibles. Il n'y a pas de lien avec les conditions antécédentes.

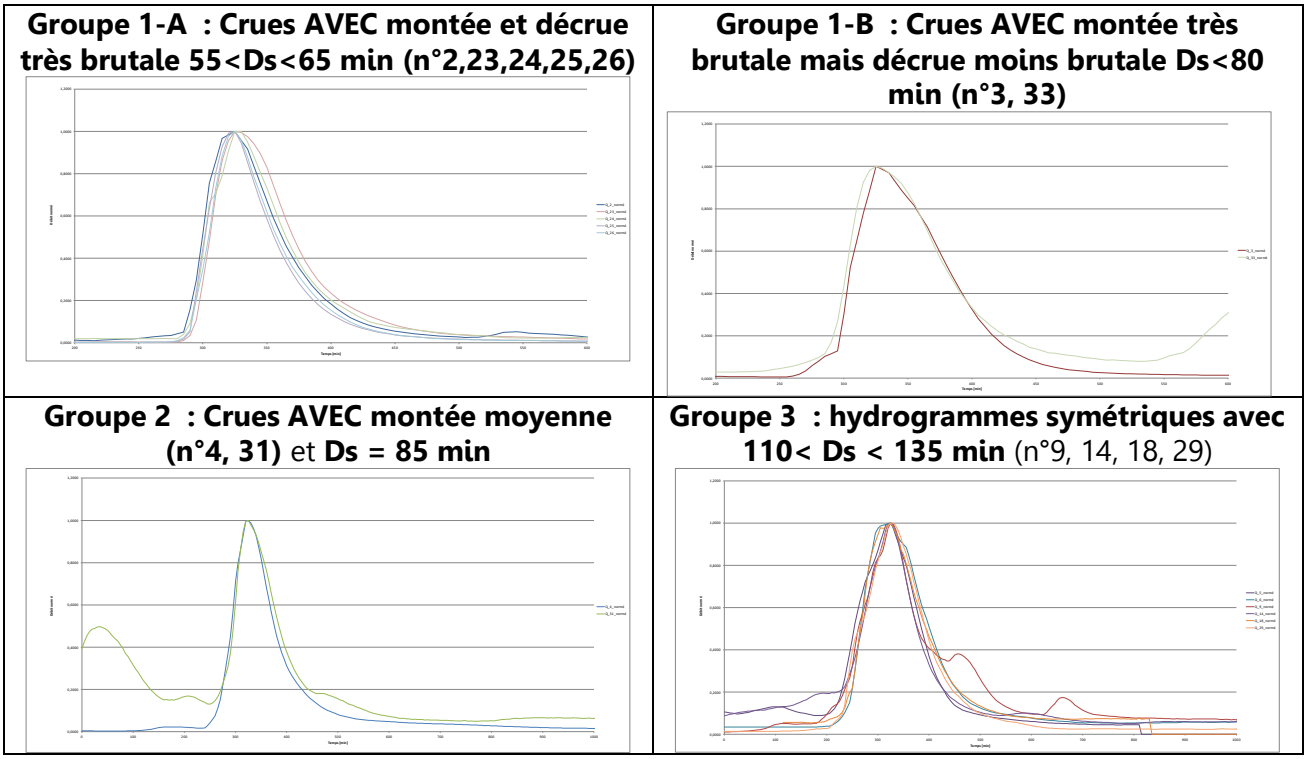


Figure 38. Hydrogrammes remarquables normés et centrés par type de crue

Les différentes corrélations entre les débits de pointes au Pont de Bazeille et les données de pluie à Toulon par type de crue permettent de bien distinguer deux types de fonctionnent hydrologique :

- Les crues intenses et très courtes (Ds<80 min) qui s'expliquent par des intensités pluviométriques au pas de temps fins importantes (4 des plus fortes crues enregistrées). L'antécédent pluviométrique nul ou faible, sur 5 et 15 jours, ne semble pas jouer sur l'amplitude de la crue.

- Les petites crues moins intenses liées à des pluies plus longues et peu intenses.

La crue n°4 est atypique ; elle est parmi les plus forte en amplitude (Qp=79.5 m^3/s) , outre des données de pluies peut être non représentatives des pluies sur le bassin versant, il semble que la conjugaison d'une intensité pluviométrique sur 1 heure relativement importante (20.6 mm/1h) et des conditions antécédentes humides puissent en partie expliquer ces débits importants.

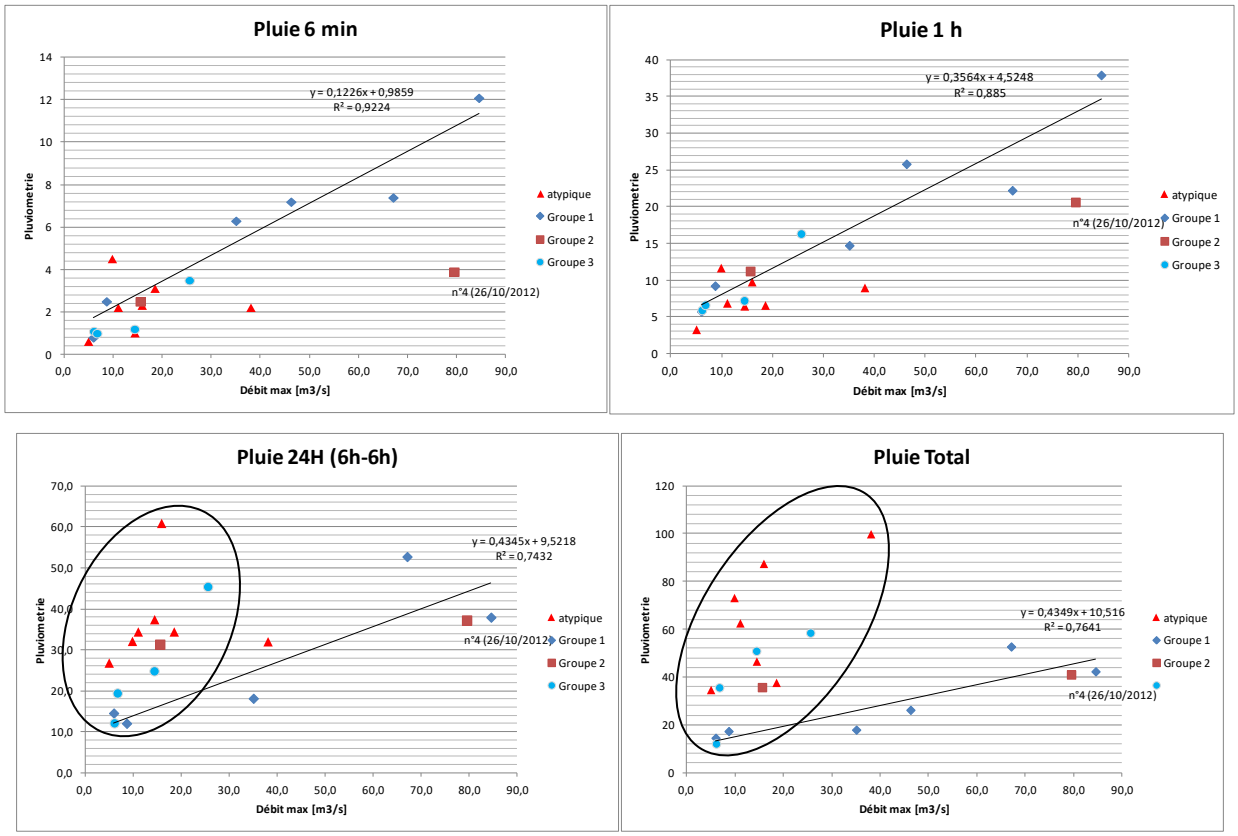


Figure 39. Corrélations, par type de crue, entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques (ΔT = 6min et 1h), cumuls pluviométriques sur l'événement et antécédents pluviométriques à 15 jours. Les courbes sont tracées pour le groupe 1.

4.2.3 Analyse des 3 crues les plus importantes (n°2, 4 et 23)

4.2.3.1 Crue du 8 septembre 2013 (n°23)

La crue du 8 septembre 2013 (n°23) est la plus forte enregistrée au pont de Bazeille entre 2012 et 2014 (avec Qmax = 84.6 m^3/s). L'analyse de l'hydrogramme au pont de Bazeille et du cumul pluviométrique au pas de temps de 6min à la station de Toulon montre que la crue est très rapide et intense sur l'Eygoutier aval (montée et décrue très rapides avec Ds =65 min). Le temps de réaction entre le pic d'intensité et la pointe de crue est de 33 min.

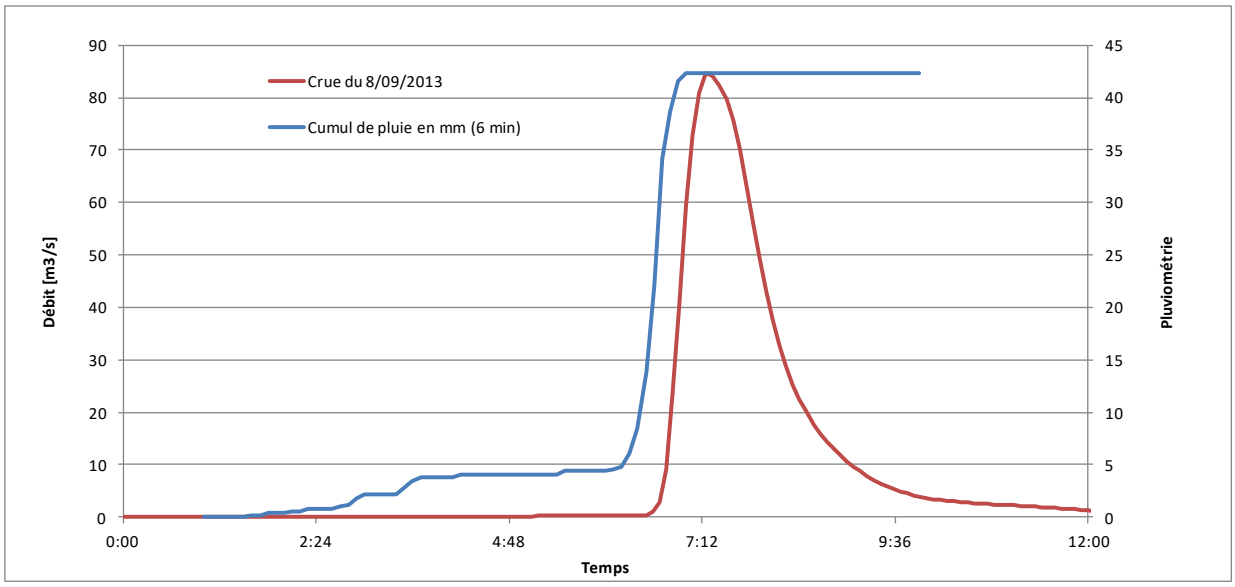


Figure 40. Evolution des débits au pont de Bazeille (pas de temps 5 min) et des cumuls pluviométriques (pas de temps de 6 min)

L'épisode pluviométrique du 8 septembre 2013 ayant provoqué cette crue a touché tout le bassin de l'Eygoutier mais il n'y a pas eu de dégâts déclarés (pas d'arrêtés CAT NAT). Il n'y a pas eu de débordements pour l'Eygoutier mais des inondations liées essentiellement au ruissellement urbain signalées dans la plaine de la Garde et au Pradet. La Planquette était en limite de débordement (débordements localisés). Il n'y a pas eu de crues significatives sur les autres cours d'eau de la région (<< 2 ans).



La Planquette aval 9h22



Chemin de Rabasson à la Garde (il y aura entre 20 et 50cm d'eau à 09h54)

Figure 41. Inondations à La Garde (83) - 08 Septembre 2013 (source : http://une-vie-un-instant.e-monsite.com/pages/nature/meteorologie/pluie-inondations/orage-diurne-a-la-garde-83-08-septembre-2013.html)

L'épisode pluvio-orageux du 8 septembre 2013 est très localisé. Il n'est pas répertorié sur le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine".

Les données de pluie au pas de temps de 6 min, acquises auprès de Météo France au poste de Toulon, montre que l'événement est très court ; il s'est produit sur 1 h. La pluie de septembre 2013 présente ainsi des cumuls sur 30 min et 6 min significatifs avec des temps de retour entre 10 et 20 ans. Les données, récupérées à la station de Serre à La Valette et du pont de la Clue à la Garde (SAFEGE, 2015), présente une répartition des cumuls et des périodes de retour similaires aux données de la station MétéoFrance de Toulon (période intense avec 30 mm en 30 minutes environ donc entre 10 et 20 ans de temps de retour) - *contrairement aux temps de retour centennaux annoncés par SAFEGE* . Les cumuls ne sont pas exceptionnels sur 24 h, 12 h et 6h.

Associer une période de retour à un événement pluviométrique réel peut poser des difficultés. Une période de retour moyenne est estimée en positionnant la pluie observée sur les courbes IDF disponibles sur le bassin.

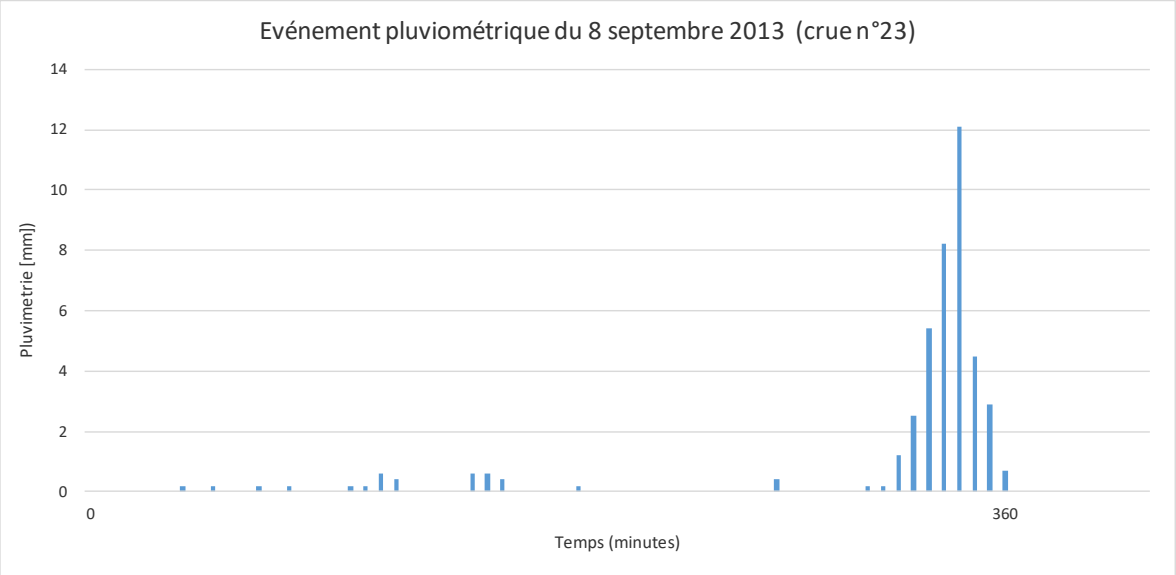
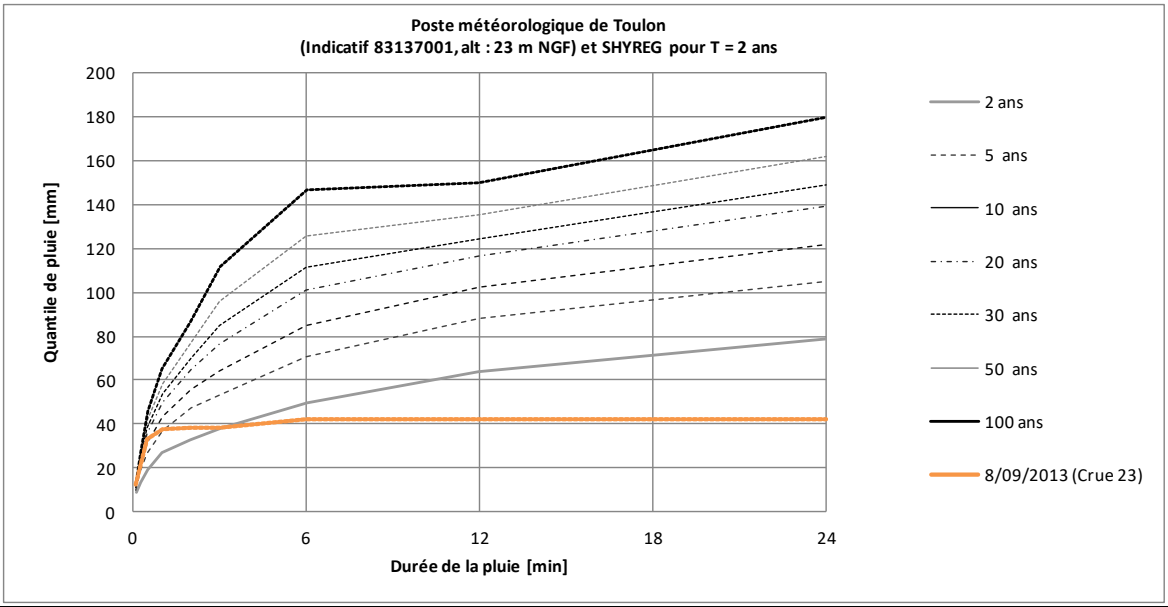


Figure 42. Evolution de la pluviométrique au pas de temps de 6 min



	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	24h	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30 min	6 min
Cumul [mm]	42,3	42,3	42,3	37,9	42,3	42,3	42,3	38,5	38,3	37,9	33,1	12,1
Temps de retour	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	< 2 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans	5 <T< 10 ans	10 <T< 20 ans	10 <T< 20 ans

* Données issue des calculs 6h-6h
** Calcul à partir des données de précipitations par pas de 6 minutes décomptées sur des fenêtres glissantes (Attention : pas toujours 24 heures de données récupérées).

Figure 43. Caractéristiques de l'événement du 8 septembre 2013 au poste de Toulon La Mitre

Le contexte pluviométrique et les conditions antécédentes d'humidité sont normaux voire déficitaires (donc pas défavorables). Le rapport à la normale [1950 -2013] au mois d'août des cumuls mensuels pour station de Toulon est de 0.1. Les cumuls sur le mois de septembre sont proches de la normale (rapport de 1.3. L'indice d'humidité des sols au début du mois de septembre au niveau de Toulon est faible et le niveau des nappes en aout et septembre décroit mais est au-dessus de la normale (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Bulletin_hydro_paca_Aout_2013_cle0661de.pdf).

L'antécédent pluviométrique (cumuls des pluies journalières 6h-6h) est de 4.4 mm pour les 5 jours et 15 jours précédents.

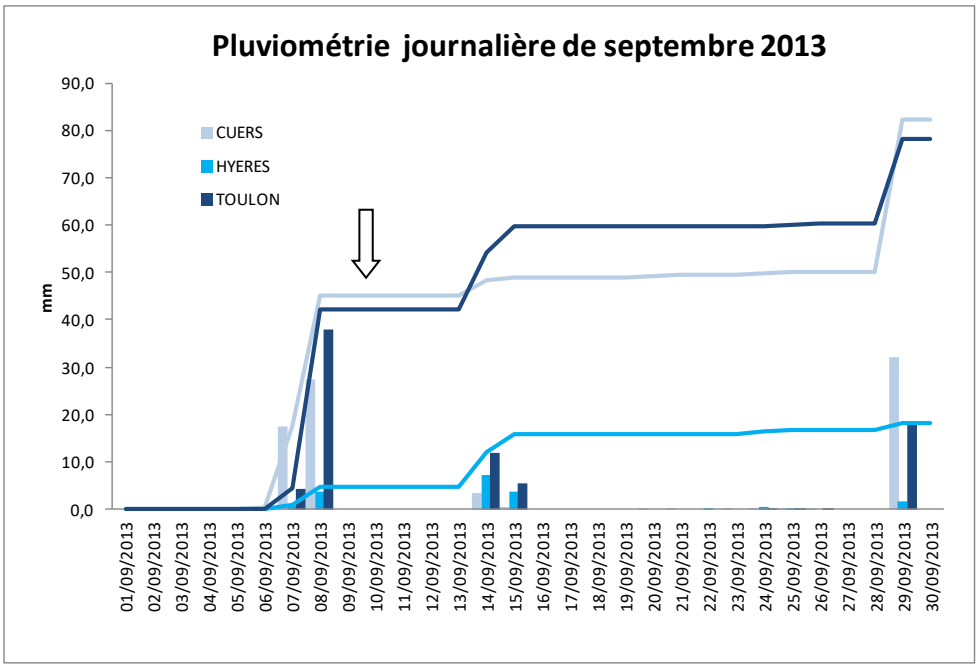
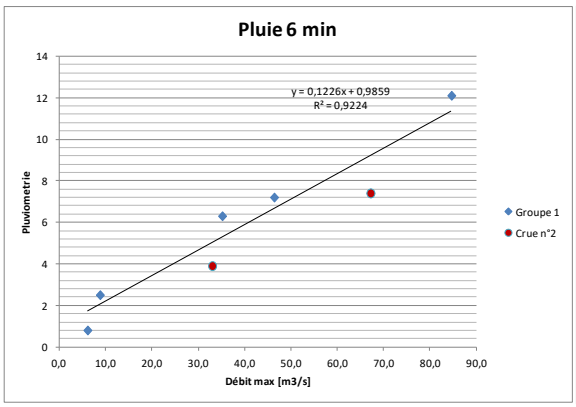
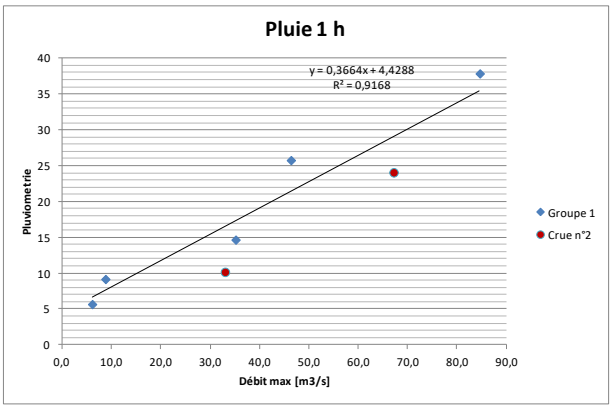


Figure 44. Evolution de la pluviométrique journalière

4.2.3.2 Crue du 11 octobre 2012 (n°2)

Aucun évènement remarquable n'a été signalé sur l'Eygoutier et ses affluents et il n'y a pas de crues significatives sur les autres cours d'eau de la région. L'analyse de l'hydrogramme au pont de Bazeille et du cumul pluviométrique au pas de temps de 6min, acquises auprès de Météo France au poste de Toulon, montre deux crues successives avec des temps de réaction entre le pic d'intensité et la pointe de crue de 52 min (Qmax = 32.9 m^3/s) pour le 1er pic et de 40 min (Qmax = 67.1m^3/s) pour le 2ème. L'intensité des pics de crue est proportionnelle à l'intensité des pluies.





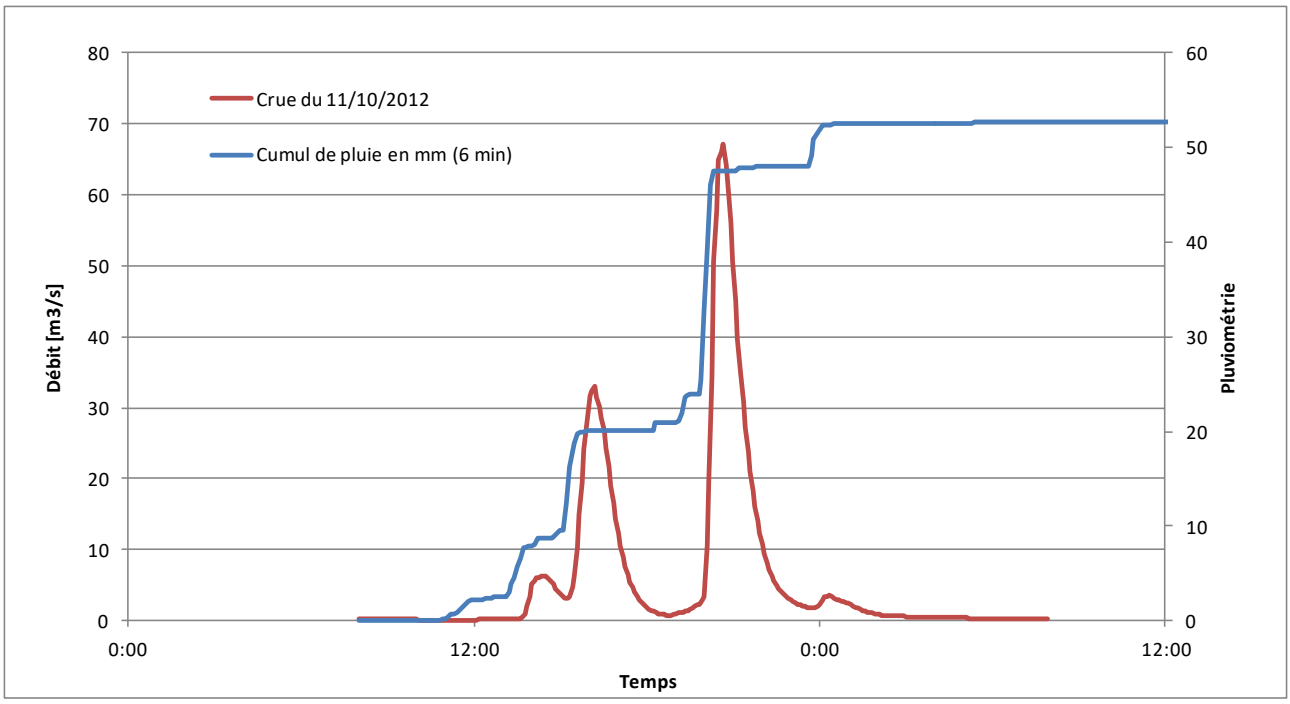


Figure 45. Evolution des débits au pont de Bazeille (pas de temps 5 min) et des cumuls pluviométriques (pas de temps de 6 min)

L'événement s'est produit sur environ 10 heures avec plusieurs périodes intenses. Le cumul n'est remarquable que sur le deuxième pic de pluie avec 23.6 mm en 30 min (temps de retour entre 2 et 5 ans).

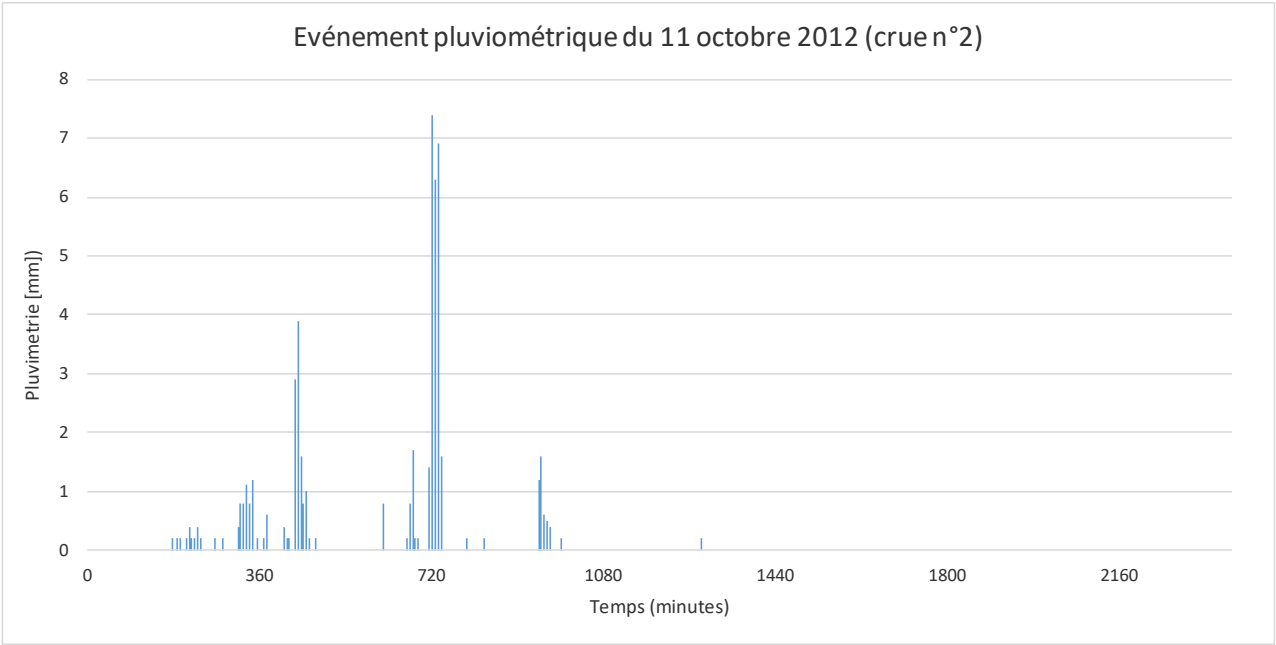


Figure 46. Evolution de la pluviométrique au pas de temps de 6 min

Le contexte pluviométrique et les conditions antécédentes d'humidité sont normaux voire déficitaires au début du mois (donc pas défavorables). Le mois de septembre a été relativement sec (rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour station de Toulon de 0.8). Les cumuls sur le mois d'octobre sont bien plus importants que la normale (rapport de 2.8). L'indice d'humidité des sols au début du mois de septembre qui tend vers 0 dans le sud du Var, montre que le sol est en état de stress hydrique. Le niveau des nappes est stable et reste au-dessus de la normale.

L'antécédent pluviométrique est de 0 mm pour les 5 jours précédents (cumuls des pluies journalières 6h-6h) et de 11.7 mm pour les 5 jours précédents.

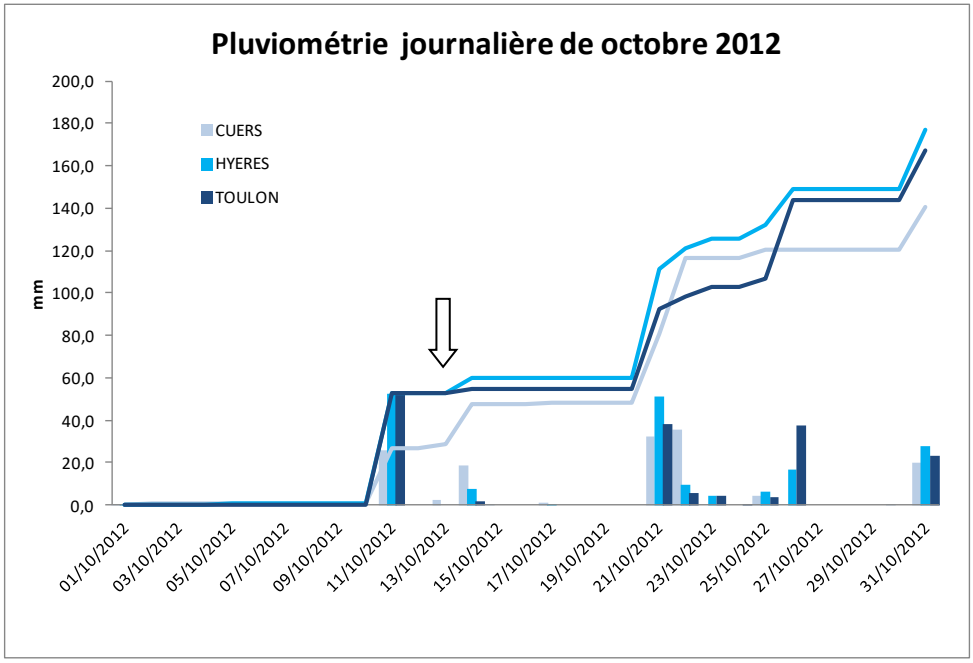


Figure 47. Evolution de la pluviométrique journalière

4.2.3.3 Crue du 26 octobre 2012 (n°4)

La crue du 26 octobre 2012 (n°4) est la deuxième crue plus forte enregistrée au pont de Bazeille entre 2012 et 2014 (Qmax=79.5 m^3/s). L'analyse de l'hydrogramme au pont de Bazeille et du cumul pluviométrique au pas de temps de 6min à la station de Toulon montre que la montée de crue est moins rapide que pour les deux autres crues (avec Ds =85min). Le temps de réaction entre le pic d'intensité et la pointe de crue est plus long avec 60 min avec une pointe de crue qui a lieu le 26/10/2012 à 13h45 tandis que la pluie la plus intense sur 6 min a lieu à 12h42.

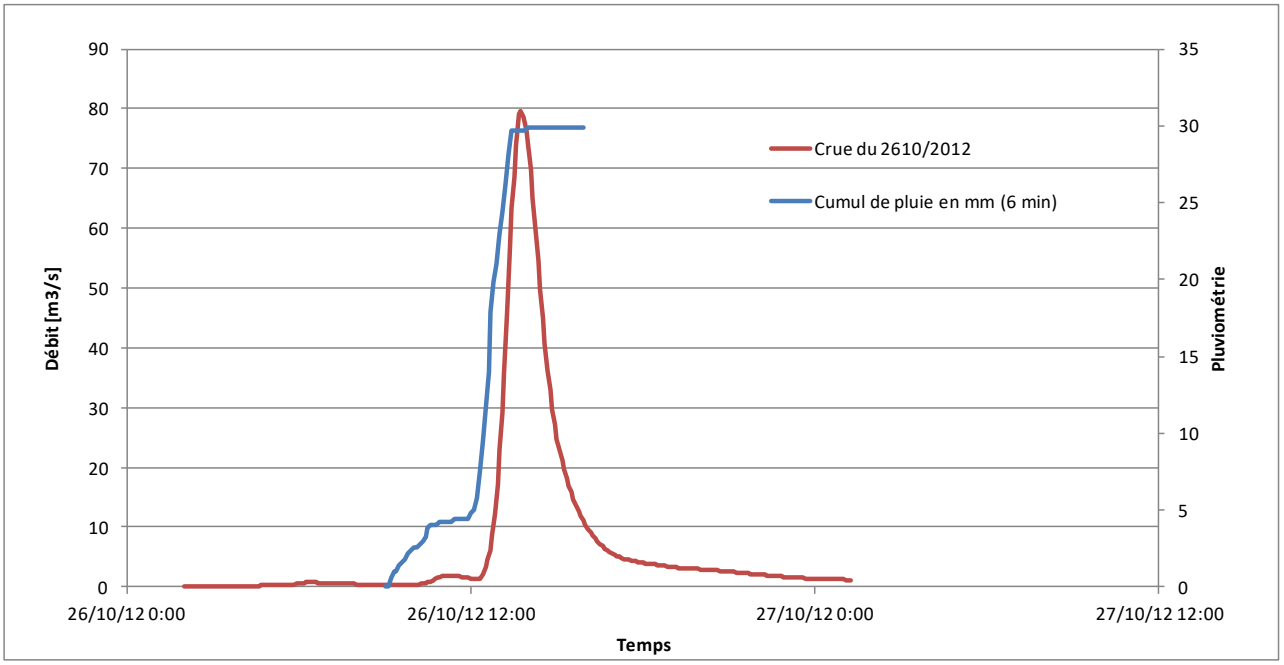


Figure 48. Evolution des débits au pont de Bazeille (pas de temps 5 min) et des cumuls pluviométriques (pas de temps de 6 min)

L'épisode du 26 octobre 2012 (n°4) est un évènement remarquable par le décès de deux étudiants à la Garde (qui ont chuté dans un canal d'écoulement des eaux de pluies) et les dégâts occasionnés (Arrêté de catastrophe naturelle pour inondations et coulées de boue sur les communes de La Garde, Le Pradet, Toulon).

L'événement de crue du 26/10/2012 à Toulon a été qualifié par l'IRSTEA selon la méthode AIGA entre 10 et 50 ans de période de retour sur le secteur de la Garde à 13h45 (UTC).

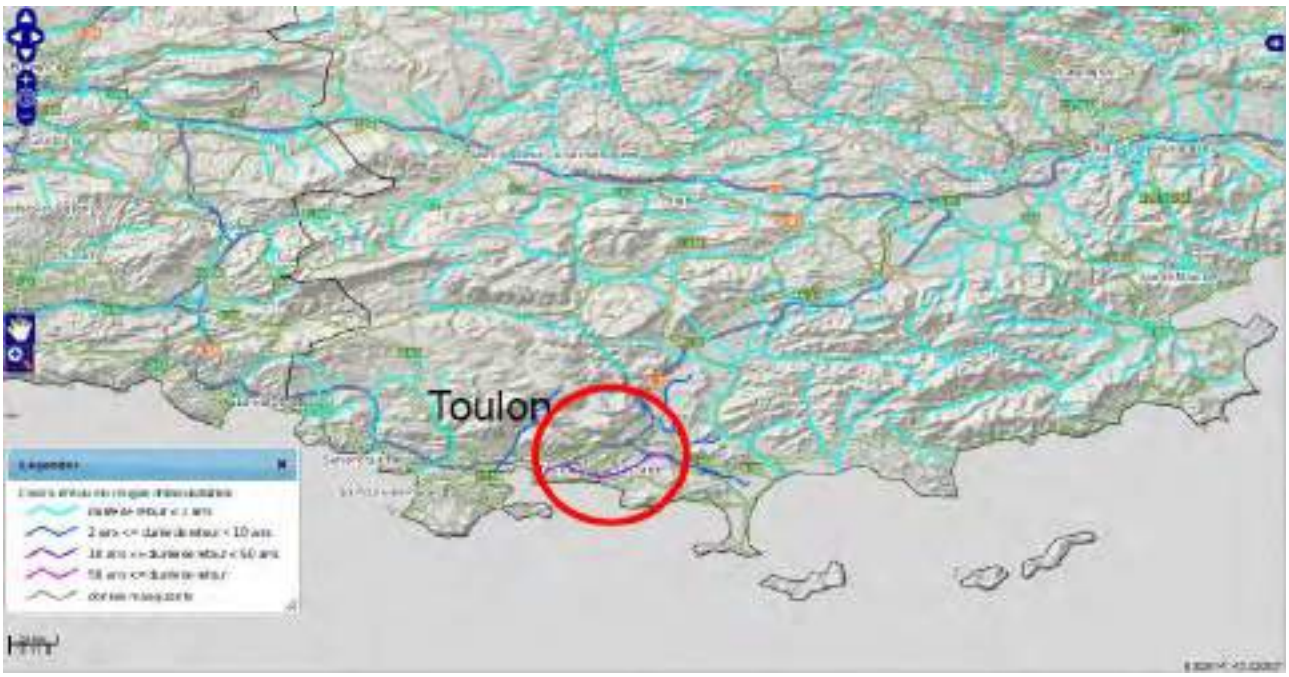


Figure 49.Qualification de l'aléa hydrologique de l'événement du 26/10/2012 à Toulon par la méthode AIGA -IRSTEA le26/10/2012 à 15h45 (soit 13h45 en UTC) (http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf).

L'épisode pluviométrique du 26 octobre 2012, caractérisé par de nombreux orages localement très intenses est répertorié comme " événement mémorable" par le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine"(http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Violents-orages-sur-le-Var-et-les-Alpes-Maritimes.html). D'après ce site, la station météorologique de Toulon a relevé 37 mm en 24h dont 20 mm sont tombés en 1 heure (soit <2 ans de période de retour). A La Garde, située à 10 km à l'est, les observations du radar permettent d'estimer un total de pluie de 65 mm tombés en 2 heures (soit entre 20 et 30 ans de période de retour si l'on se réfère aux statistiques 1971-2012 de la station météorologique de Toulon). A Hyères le 11/10/2012, la station a relevé 52,3 mm en 24h dont 40 mm en 1 h (soit entre 10 et 20 ans de période de retour si l'on se réfère aux statistiques 1977-2014 de la station météorologique de Hyères).

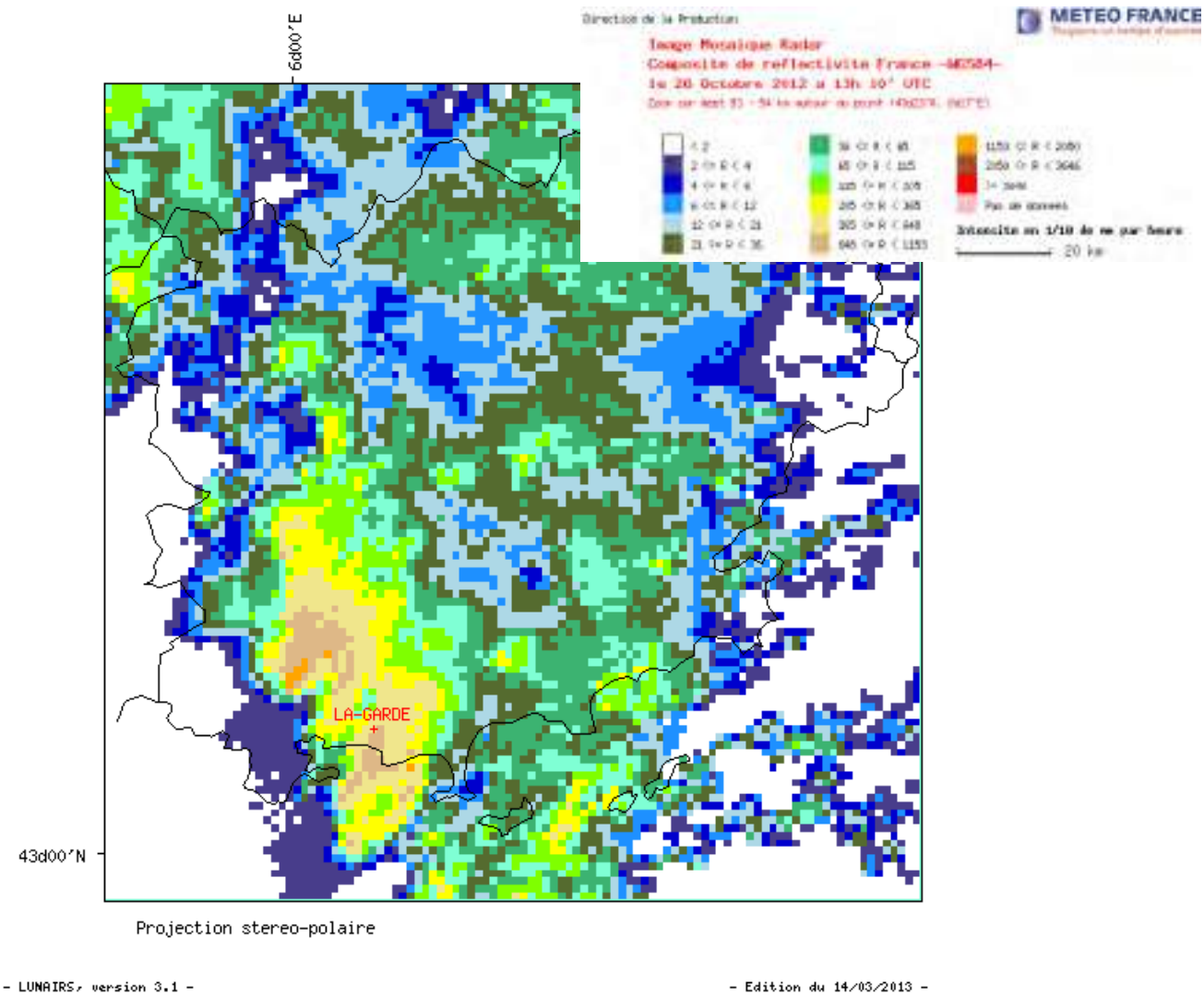


Figure 50. Image de réflectivité radar du 26/10/2012 à 13H10 UTC. Les pluies les plus intenses se produisent sur La Garde. (source : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/IMG/sipex_gif/2012_10_26_image_radar.gif)

L'évolution de l'aléa pluviométrique de l'événement du 26/10/2012 à Toulon par la méthode AIGA - IRSTEA entre 12h45 et 14h30 (UTC) montre que l'orage s'est déplacé d'ouest vers le nord-est et que les zones d'intensité >2 ans n'ont jamais touchées la station de Toulon la Mitre.

La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (INGEROP, 2017). L'événement de pluie dure un peu moins d'une heure et demie (25.3 mm en 2h soit une période de retour inferieure 2 ans). **La pluviométrie au poste de Toulon n'est pas représentative de l'événement sur le bassin versant.**

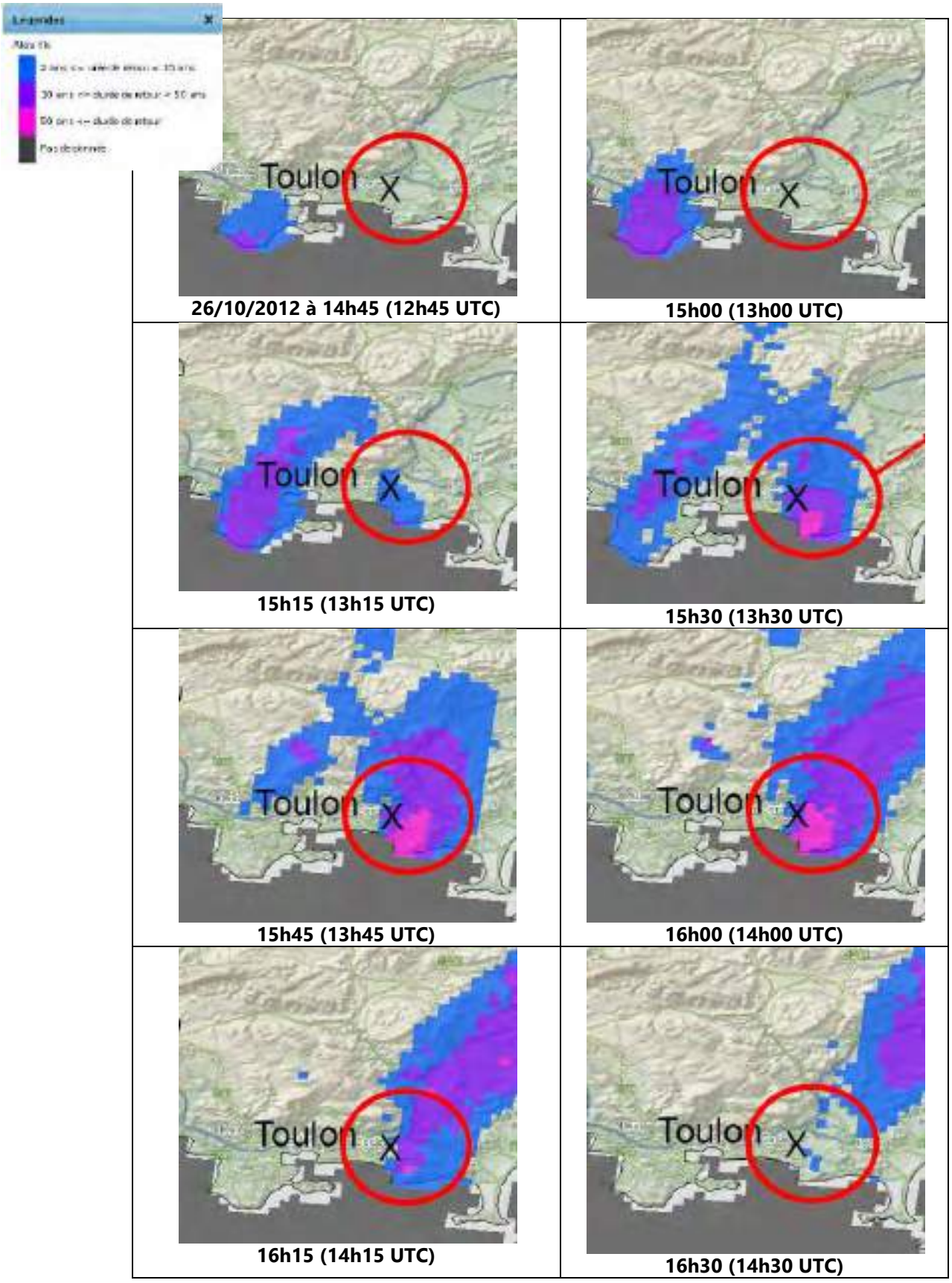


Figure 51.Qualification de l'aléa pluviométrique de l'événement du 26/10/2012 à Toulon par la méthode AIGA -IRSTEA le 26/10/2012 entre 14h45 et 16h30 (http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf).

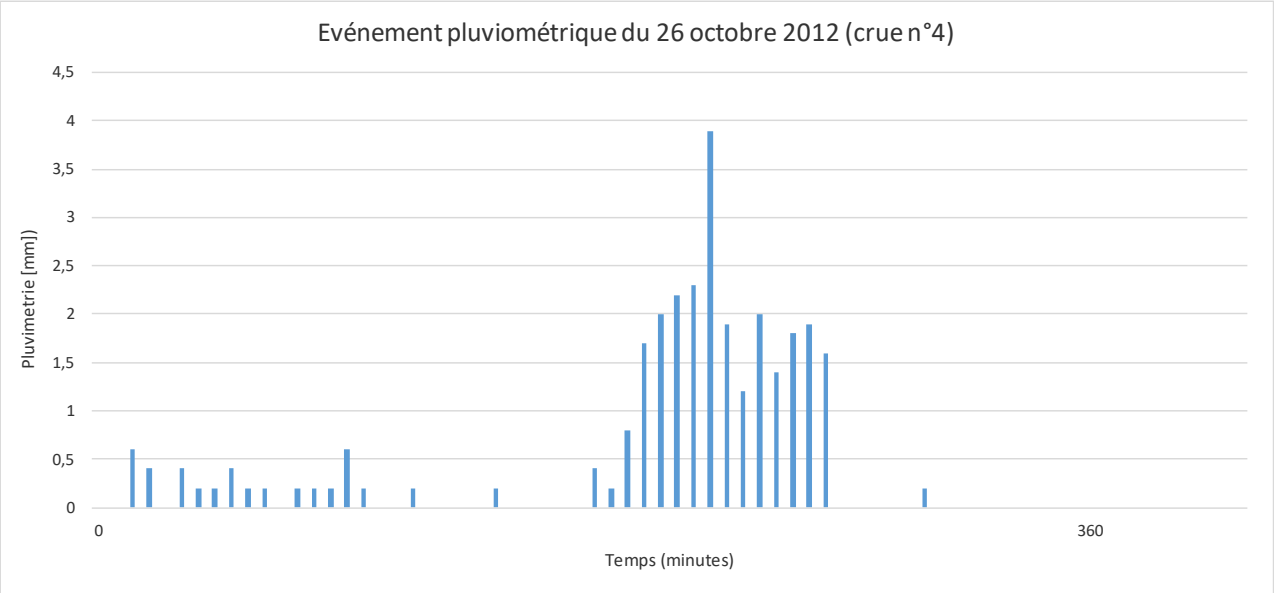


Figure 52. Evolution de la pluviométrique au pas de temps de 6 min

La crue du 26 octobre 2012 s'inscrit dans un contexte pluviométrique plutôt humide avec un antécédent pluviométrique très défavorable de 52 mm pour les 5 jours précédents (cumuls des pluies journalières 6h-6h) et de 106.3 mm pour les 5 jours précédents.

A retenir :

Les débits maximums de l'Eygoutier enregistrés au Pont de Bazeille sont très bien corrélés avec les intensités de pluies sur 6min et les pluies horaires (R^2>0.88). Il n'y a pas de relation globale avec le cumul sur l'événement, ni avec l'antécédent pluviométrique.

5 ANALYSE DES EVENEMENTS REMARQUABLES

Les caractéristiques des précipitations et des débits ayant produit un événement remarquable "inondation" sur le bassin versant de l'Eygoutier (crue et/ou débordement des principaux cours d'eau, inondation par ruissellement) ont été étudiées. L'ensemble des éléments recueillis sont en annexe III (synthétisés dans un tableau récapitulatif).

5.1.1 Méthodes de caractérisation des événements "historiques"

La caractérisation des événements de crue marquants sur l'Eygoutier (inondation / crues historiques) est basée sur les étapes suivantes :

1. **Sélection des événements remarquables et intensité des dégâts.** Le risque inondation sur le bassin versant de l'Eygoutier est du en particulier à un ruissellement important sur tout le bassin (pas uniquement en zone urbaine) et à des débordements de l'Eygoutier et de ses affluents en lit majeur. La caractérisation de l'importance du risque inondation, et la sélection des événements remarquables sont essentiellement basées sur le nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle (CATNAT) par inondation pour les 7 communes du bassin de l'Eygoutier (7 communes) et les témoignages recueillis sur Internet et dans la presse.

   Ce travail a été en partie réalisé dans la phase 1 (voir Annexe 2du rapport de la phase 1 "Informations détaillées (mentions textuelles non synthétisées) contenues dans les archives et la bibliographie, relatives aux crues et inondations. ") puis complété par la consultation directe des archives.

Les événements remarquables de crues enregistrées sur L'Eygoutier entre le 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014 (16 mois) dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014) ont été rajoutés à cette liste.

2. **Dynamique et qualification de l'événement pluviométrique initiateur à l'origine des crues**. L'analyse de la pluviométrie, la répartition spatiale et la période de retour associée à l'événement permet de caractériser l'événement pluviométrique initiateur à l'origine des événements remarquables (voir § 2.1).
3. **Caractérisation des conditions antécédentes d'humidités.** Il s'agit d'appréhender l'état initial du bassin versant par l'analyse du rapport aux normales saisonnières, des cumuls de pluies antécédent et de l'indice d'humidité des sols ainsi que de l'état des nappes.
4. **Caractérisation hydrologique de l'événement.** Comme le cours d'eau n'est pas instrumenté ou que partiellement sur des périodes restreintes (les débits de l'Eygoutier à la station de mesure expérimentale du pont de Bazeille sont utilisés), les caractéristiques hydrologiques de l'événement sont issues dans un premier temps des informations contenues dans les archives (presses etc....) et la bibliographie relative aux crues et inondations.

   L'amplitude de l'événement à l'origine de la crue et sa répartition spatiale (crues généralisées et étendus à toute la région ou pas) peuvent être appréhendées par l'analyse des débits des autres cours d'eau observés lors des événements remarquables sur le bassin de l'Eygoutier (débits issues des mesures aux stations hydrométriques de la BANQUE-HYDRO : La-Reppe-à-Ollioules-[Le-Grand-Plan] ; Le-Gapeau-à-Solliès-Pont ; Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris], Le-Gapeau-à-Hyères-[Sainte-Eulalie]...). La Reppe (65 km²) se situe à l'Ouest du bassin de l'Eygoutier, Le-Gapeau-à-Solliès-Pont (169 km²) au nord et Le-Réal-Martin-à-la-Crau (277 km²) au nord -est. Les temps de retour des débits de crues sont issus de CRUCAL (BANQUE-HYDRO). Les temps de retour sont issus des statistiques BANQUE HYDRO (CRUCAL) et pour Q100 des études qui font référence sur ces cours d'eau (voir annexe).

A retenir :

Au final, 24 « événements remarquables » sont étudiés entre 1973 et 2014, dont 9 événements marquants (crue et/ou débordement des principaux cours d'eau, inondation par ruissellement)

5.1.2 Analyse globale des caractéristiques des événements

5.1.2.1 Risque Inondation : répartition des Arrêtés CATNAT par communes

Le bassin de l'Eygoutier est touché par le risque inondation qui constitue un risque majeur dans la mesure où il concerne quasi l'ensemble des communes de ce bassin côtier comme le montre nombre d'arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles" portant sur les « Inondations et coulées de boue».

Ce sont particulièrement les communes de Toulon et la Garde qui sont touchées. Attention, la commune de Sollies-Pont, en tête de bassin, n'est pas représentative des risques liés aux débordements de l'Eygoutier et de ses affluents (3 Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles" portant sur les " Inondations et coulées de boue 29/09/1982, 17/01/1999 et 26/10/2012).

L'importance du risque inondation semble en particulier due à un ruissellement sur tout le bassin, induit par l'urbanisation et la topographie de la zone, mais également à des débordements des différents cours d'eau en lit majeur. Ces débordements concernent des enjeux socio-économiques importants.

La répartition des arrêtés et donc des dégâts permet de caractériser certains événements en termes d'amplitude et de répartition géographique (partie toulonnaise, plaine de la garde ou tout le bassin).

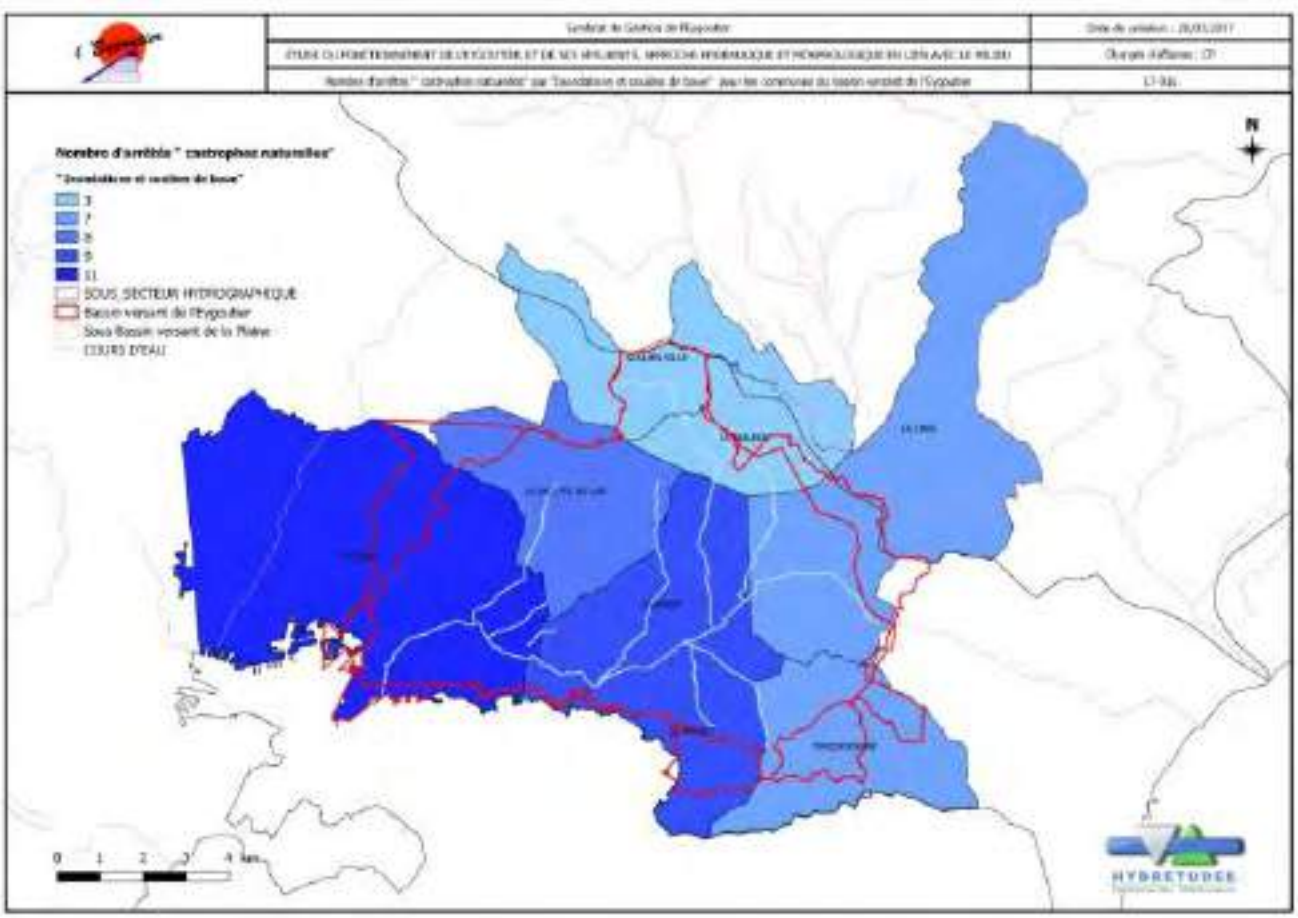


Figure 53. Nombre d'arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles" portant sur les " Inondations et coulées de boue" pour les 7 communes du bassin de l'Eygoutier (avant 2018)

Parmi les 24 événements remarquables, 9 événements marquants ont été sélectionnés à partir des données des archives et du nombre d'arrêtés pris pour l'événement en question.

La limite de l'utilisation de ces données peut être illustrée par l'événement du 29 septembre 1982 avec des arrêtés de catastrophe naturelle pris sur les 7 communes du bassin mais trop peu d'information sur les pluies pour statuer sur le type de phénomènes en jeux. Cet événement n'a pas été retenu comme marquant du fait qu'aucune crue notable n'a été observée sur les cours d'eau de la région.

5.1.2.2 Saisonnalité des événements remarquables

Sur les 24 événements sélectionnés avec des informations sur les inondations et/ou les dégâts liés aux inondations, 65 % des événements ont lieu sur les mois de septembre à novembre (avec 27 % sur octobre). Cette répartition est liée au régime des précipitations typiquement méditerranéen. Les événements marquants (9) ont lieu entre septembre et janvier.

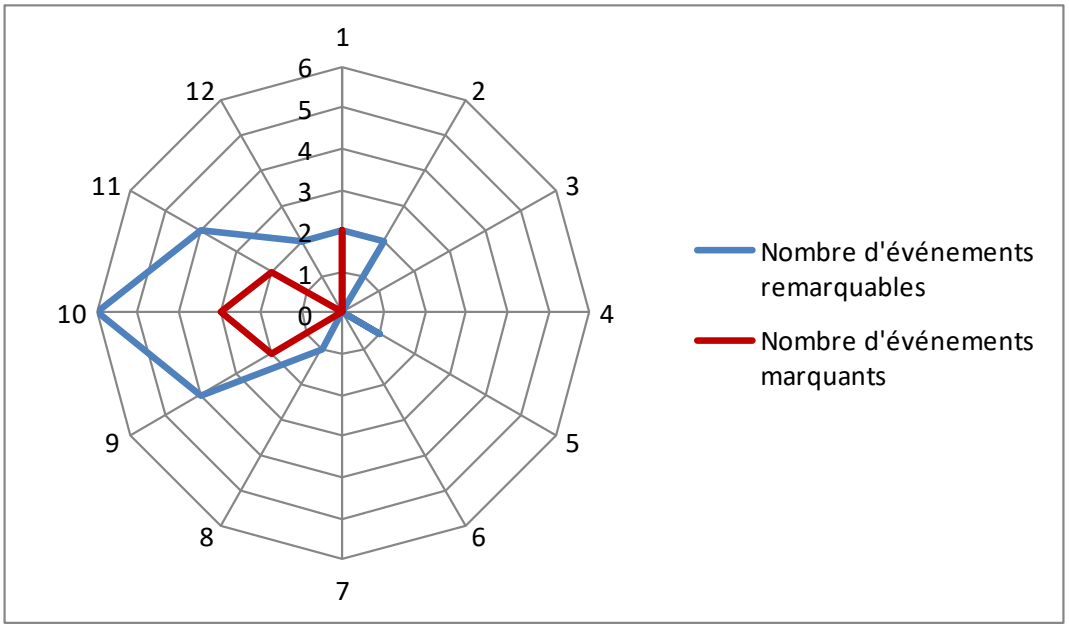


Figure 54. Répartition saisonnière (mois) des 24 événements remarquables sélectionnés.

A retenir :

Les événements "remarquables" ont majoritairement lieu en automne sur les mois de septembre à novembre.

5.1.2.3 Pluviométrie

Sur les 24 événements sélectionnés :

- 14 événements remarquables sont répertoriés sur le site de MétéoFrance " Pluies extrêmes en France métropolitaine" pour des durées de pluies 1 jour (dont 8 événements pour des durées de pluies de plus de 2 jours - entre 2 et 10 jours).
- Sur les 14 événements présentent des pluies journalières remarquables, seules 5 événements présentent des pluies journalières avec des temps de retour supérieur à 2 ans sur la station de Toulon.

Pour les durées de pluies plus courtes, les données sont très incomplètes.

Il ressort toutefois que les événements remarquables sont associés à des pluies de temps de retour extrêmes sur des durées très variables. Par exemple, l'événement du 19/09/2014 est exceptionnellement important (>100 ans) que sur 6 min (Pour 3h le temps de retour est 2 <T< 5 ans et pour 24h >> 2 ans). L'événement du 24/09/2006, déjà relativement exceptionnelle sur 24 h (10 <T< 20 an) l'est d'autant plus sur les pas de temps entre 3h et 6 min (> 100 ans). A contrario, l'événement de référence de janvier 1978, exceptionnel sur 48 h (50 <T< 100 ans) ne semble pas avoir présenté des intensités exceptionnelles sur les pas de temps courts (mais manque d'information fiable).

La figure suivante replace les événements pour lesquels des données au pas de temps de 6 min à Toulon ont été récupérés sur les IDF de Toulon. Elle met en évidence la difficulté d'associer une période de retour à un événement pluviométrique réel.

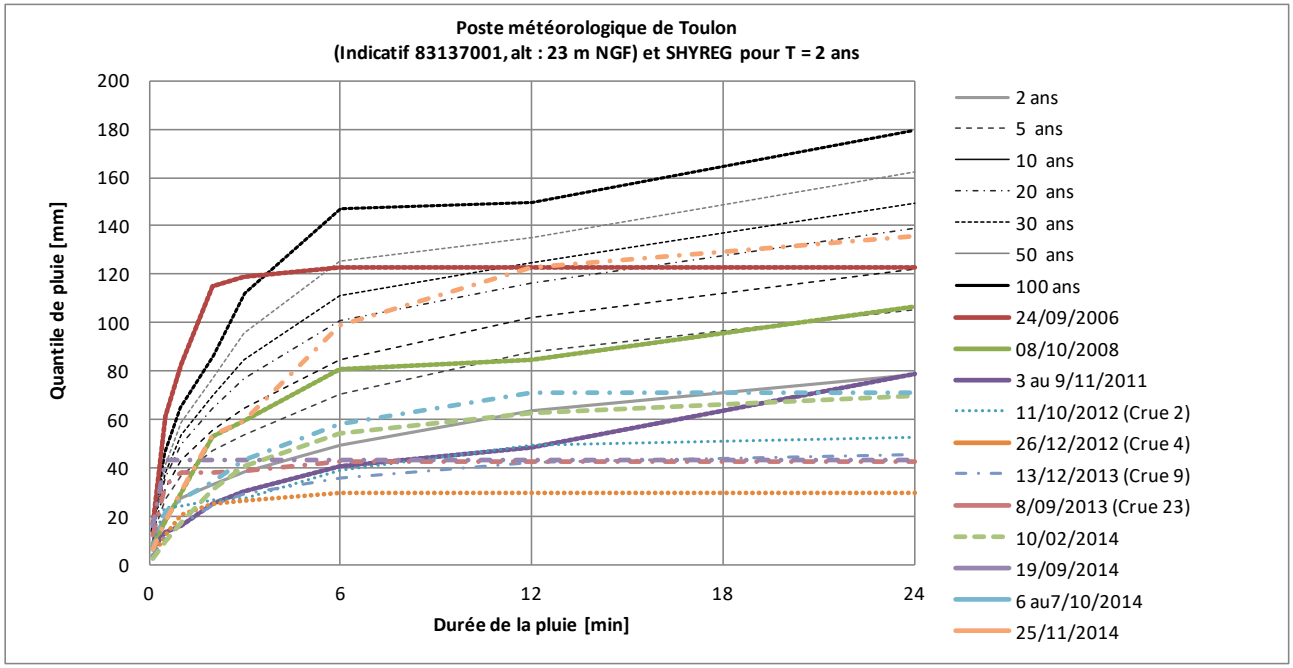


Figure 55. Temps de retour des événements pour lesquels des données au pas de temps de 6 min à Toulon ont été récupérés (après 2005)

5.1.2.4 Répartition spatiale des pluies

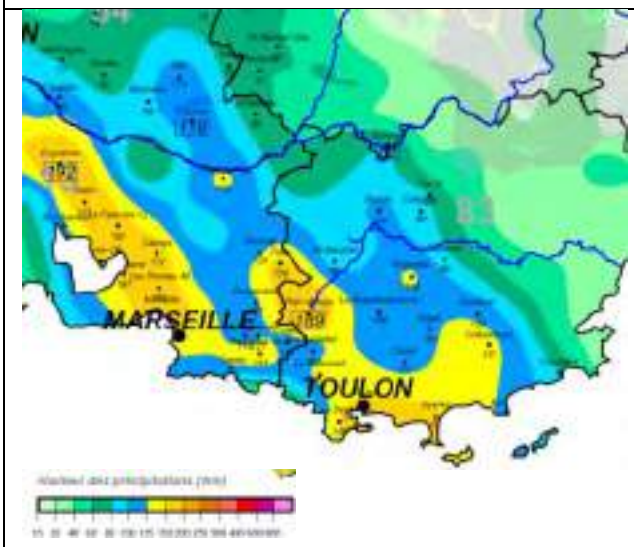
La répartition des pluies journalières pour les événements remarquables "inondation" sur le bassin versant de l'Eygoutier sont essentiellement issue du site de MétéoFrance " Pluies extrêmes en France métropolitaine" (http://pluiesextremes.meteo.fr)". Il n'y a pas de pluies extrêmes sur 1 jour répertoriées sur le site Météo France pour les événements remarquables "inondation" du 13/10/1988, du 26/09/1992, 13/11/1999, 9 et 10 Octobre 2002, 28 octobre 2004, 15 décembre 2008.

Des images radar ont été récupérées sur Internet pour certains événements remarquables.

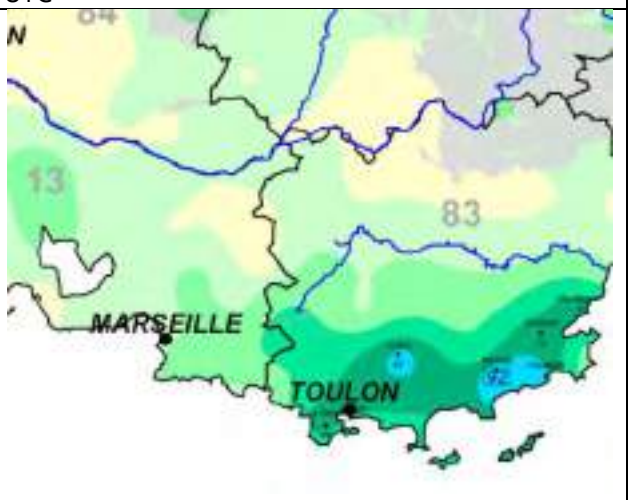
A retenir :

Aucune structure spatiale type ne ressort de ces cartes ni des images radar récupérées.

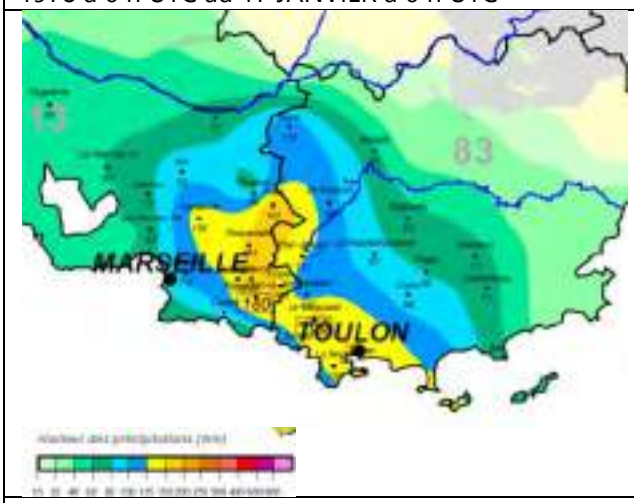
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 2 OCTOBRE 1973 à 6 h UTC au 3 OCTOBRE à 6 h UTC



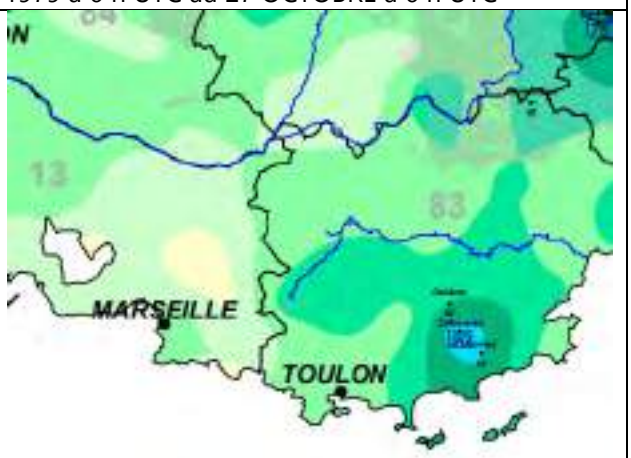
Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 1 jour du 4 FEVRIER 1976 à 6 h UTC au 5 FEVRIER à 6 h UTC



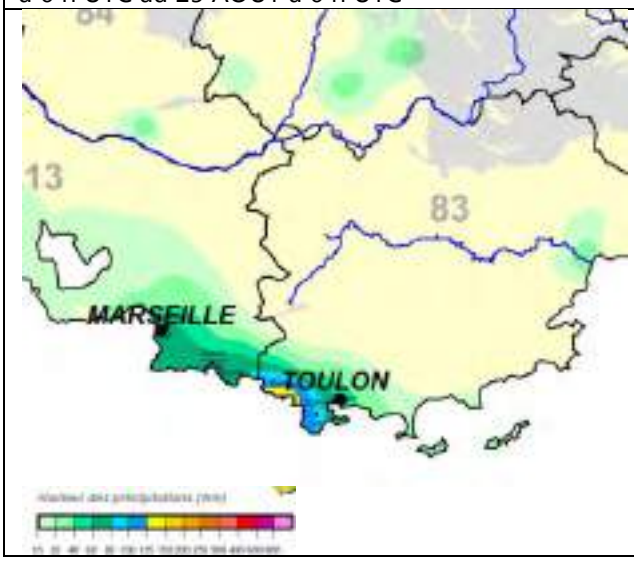
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 16 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 17 JANVIER à 6 h UTC



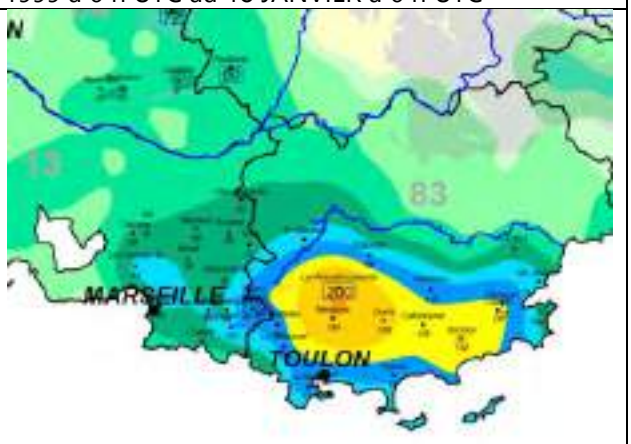
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 26 OCTOBRE 1979 à 6 h UTC au 27 OCTOBRE à 6 h UTC

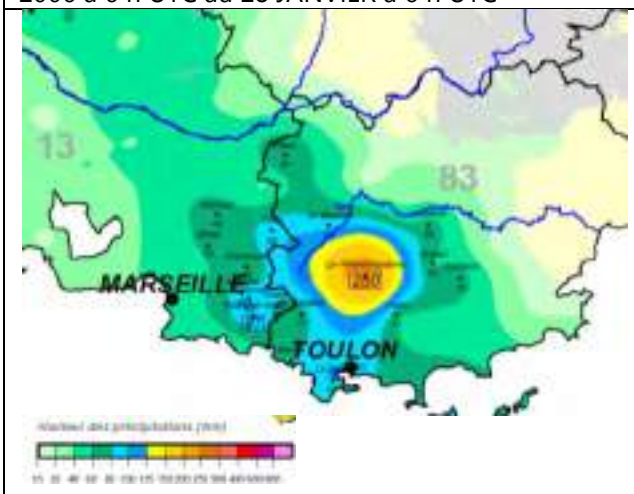
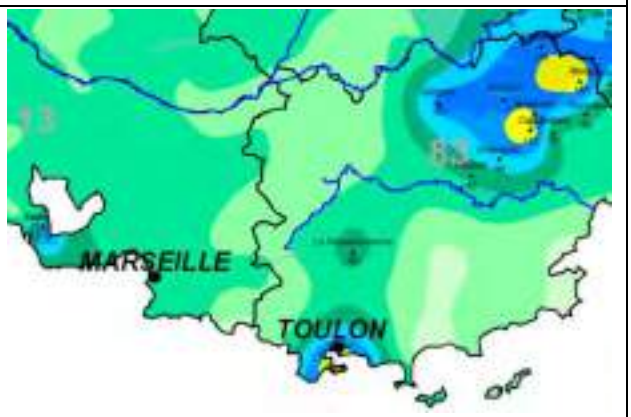
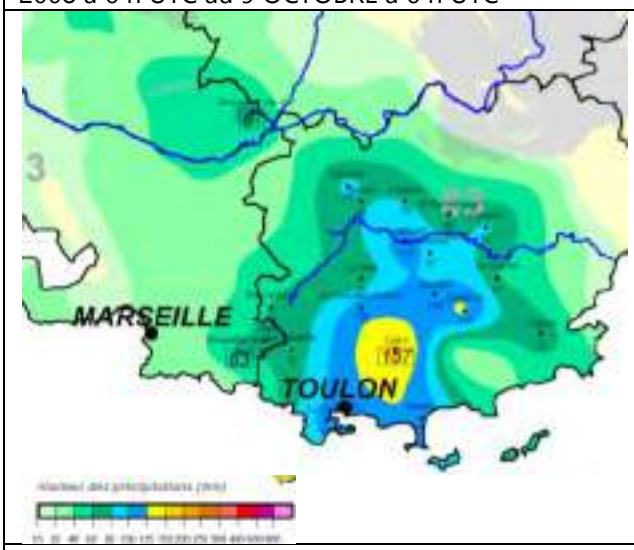
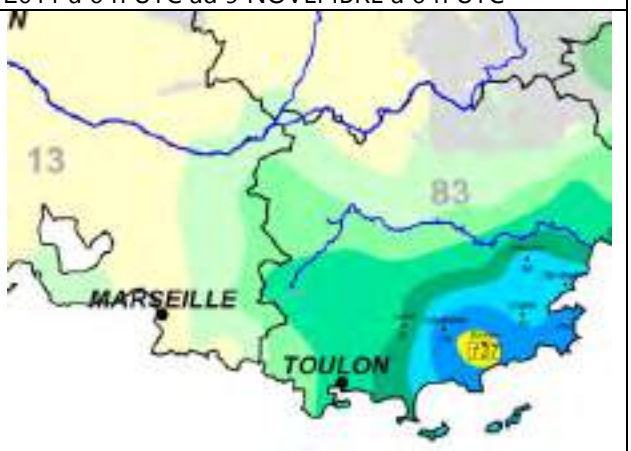
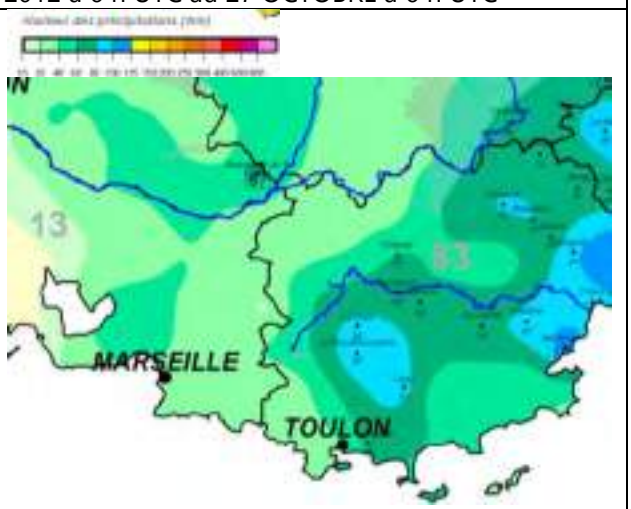


Quantité de pluie (mm) en 1 jour le 24 AOUT 1983 à 6 h UTC au 25 AOUT à 6 h UTC



Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 17 JANVIER 1999 à 6 h UTC au 18 JANVIER à 6 h UTC



Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 27 JANVIER 2006 à 6 h UTC au 28 JANVIER à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 24 SEPTEMBRE 2006 à 6 h UTC au 25 SEPTEMBRE à 6 h UTC
	
Quantité de pluie (mm) en 1 jour u 8 OCTOBRE 2008 à 6 h UTC au 9 OCTOBRE à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 8 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 9 NOVEMBRE à 6 h UTC
	
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 20 MAI 2012 à 6 h UTC au 21 MAI à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 26 OCTOBRE 2012 à 6 h UTC au 27 OCTOBRE à 6 h UTC
	

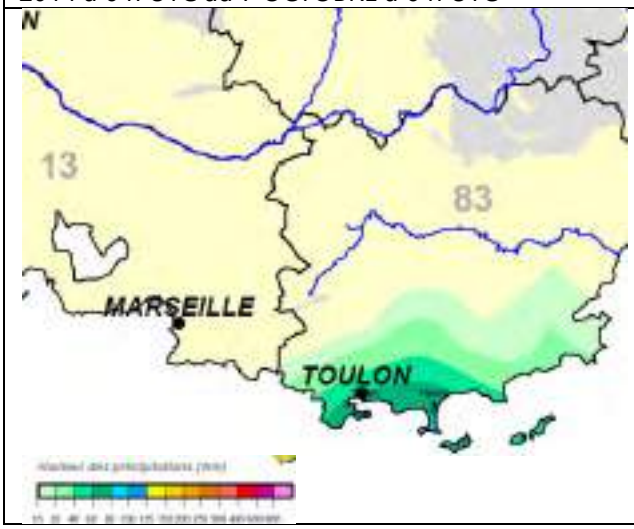
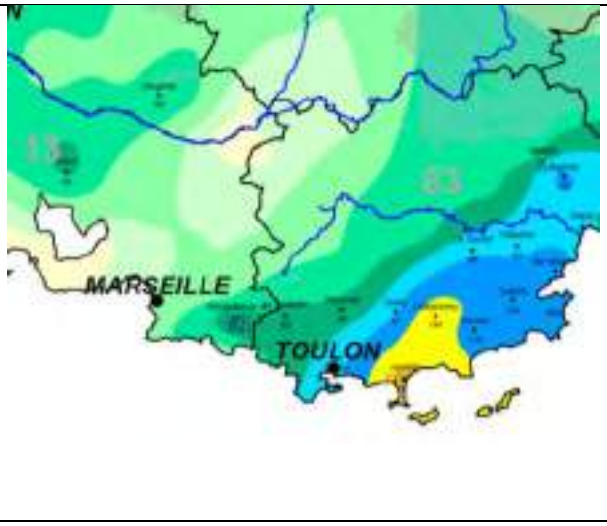
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 6 OCTOBRE 2014 à 6 h UTC au 7 OCTOBRE à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 25 NOVEMBRE 2014 à 6 h UTC au 26 NOVEMBRE à 6 h UTC
	

Figure 56. Cartes pluviométriques du Var pour certains événements remarquables "inondation" sur le bassin versant de l'Eygoutier (http://pluiesextremes.meteo.fr)".

5.1.2.5 Conditions antécédentes d'humidité

Sur les 24 événements sélectionnés la majorité des événements remarquables présentent des conditions d'humidité défavorables (9 défavorables et 10 jugés très défavorables).

5.1.2.6 Crues remarquables sur les autres cours d'eau de la région

Sur les 24 événements sélectionnés, 9 événements sont extrêmement localisés du fait qu'aucune crue remarquables (c'est à dire >Q2) sur les autres cours d'eau de la région n'a été observées. Pour tous les autres événements au moins 1 autre cours d'eau été en crue. Sur les 9 événements marquants 8 événements sont caractérisés par au moins 1 autre cours d'eau en crue.

Tableau 13 - Débits des autres cours d'eau observés lors des événements remarquables sur le bassin de l'Eygoutier (débits issues des mesures aux stations hydrométriques de la BANQUE-HYDRO (HYDRETUDES, 2018)

Date de l'événement	La-Reppe-à-Ollioules-[Le-Grand-Plan]			Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
02/10/1973	Crue très importante sur la Reppe en deux temps. 1er octobre, remplissage du Karst (pluie de 40 mm) puis grosse intensité (120 à 140 mm sur le 2 octobre)			03/10/1973	35,6	<Q2	03/10/1973	153	Q5<Q<Q10
13/10/1973				13/10/1973	76,4	Q5<Q<Q10	13/10/1973	194	Q10<Q<Q20
04/02/1976				05/02/1976	52,6	Q2<Q<Q5	04/02/1976	176	Q5<Q<Q10
16-17 01/1978				17/01/1978	93	Q10<Q<Q20	16/01/1978	195	Q10<Q<Q20
26-27/10/1979				28/10/1979	55,5	Q2<Q<Q5	28/10/1979	150	Q5<Q<Q10
29/09/1982				30/09/1982	<<	<<	30/09/1982	<<	<<
23-24/08/1983				pas de données			24/08/1983	30,3	<<
13/10/1988				15/10/1988	69,5	Q2<Q<Q5	13/10/1988	55,1	<Q2
26/09/1992				27/09/1992	1,86	<<	27/09/1992	61,6	<Q2
17 -18 /01/1999	**18/01/1999**	**52**	**Q20<Q<Q50**	**18/01/1999**	**141**	**Q>Q50**	**18/01/1999**	**197**	**Q10<Q<Q20**
13/11/1999	19/11/1999	1,75	<<	14/11/1999	13,6	<<	13/11/1999	45,5	<Q2

17/11/2002 à Hyeres et 15/11 à Toulon	16/11/2002	3,76	<<	16/11/2002	18,2	<<	17/11/2002	57	<Q2
24/09/2006	15/09/2006	2,59	<<	25/09/2006	5,12	<<	25/09/2006	1,65	<<
08/10/2008	08/10/2008	2,81	<<	08/10/2008	8,38	<<	09/10/2008	33,4	<<
14 au 16/12/2008	16/12/2008	22,3	Q2<Q<Q5	14/12/2008	56,8	Q2<Q<Q5	14/12/2008	174	Q5<Q<Q10
4 au 10 Novembre 2011 (08/10/2011)	09/11/2011	35,9	Q10<Q<Q20	05/11/2011	66,7	Q2<Q<Q5	09/11/2011	166	Q5<Q<Q10
26/10/2012	26/10/2012	3,08	<<	26/10/2012	14,9	<<	26/10/2012	126	Q2<Q<Q5
18/05/2013	18/05/2013	56	Q20<Q<Q50	18/05/2013	50,8	Q2<Q<Q5	18/05/2013	86,8	~Q2
08/09/2013	08/09/2013	4,41	<<	08/09/2013	9,27	<<	08/09/2013	55,4	<Q2
10/02/2014	10/02/2014	25,3	Q5<Q<Q10	10/02/2014	49,3	Q2<Q<Q5	10/02/2014	119	Q2<Q<Q5
19/09/2014	19/09/2014	21,1	Q2<Q<Q5	19/09/2014	6,72	<<	19/09/2014	14,5	<<
11/10/25014	07/10/2014	0,905	<<	07/10/2014	3,18	<<	07/10/2014	11,3	<<
25/11/2014	26/11/2014	9,99	<Q2	27/11/2014	46,4	Q2<Q<Q5	27/11/2014	161	Q5<Q<Q10
05/12/2014	06/12/2014	17,1	Q2<Q<Q5	06/12/2014	38,1	<Q2	06/12/2014	92,2	Q2<Q<Q5

5.2 ESSAI DE CLASSIFICATION DES PRECIPITATIONS AYANT PROVOQUEES DES DEGATS OU DES CRUES REMARQUABLE

L'analyse des données recueillies permet de regrouper les événements en 3 grandes catégories de précipitations ayant provoquées des dégâts ou des crues remarquables.

- **Type 1 : Episode de grande extension spatiale, de longue durée mais sans intensité remarquable et des conditions pluviométriques antécédentes défavorables**

  Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours) mais sans intensité remarquable sur le bassin de l'Eygoutier. Les conditions pluviométriques antécédentes sont très défavorables (successions d'événements pluvieux conduisant à la saturation des bassins versants). Ce type d'épisode provoque des crues remarquables sur les autres cours d'eau de la région. Evénement typique : 4 au 10 Novembre 2011

Date de l'événement	**Inventorié dans "Pluies extrêmes en France métropolitaine"**		**Conditions antécédentes**	**Période de retour de l'épisode pluvieux**							**Commune avec arrêté de catastrophes naturelles**	**événement "inondation" localisé à**
	> 1 jour	**1 jour**		**192 h**	**48h**	**24h***	**24h**	**6h**	**1h**	**6 min**		
26-27/10/1979	4 jours	1 jour	trés défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	-	<< 2 ans	-	-	-	plaine de la Garde
13/10/1988	3 jours	1 jour	trés défavorable	<< 2 ans	5 <T< 10 ans	<< 2 ans	-	-	-	-	4	Tout le bassin
14 au 16/12/2008	4 jours	1 jour	trés défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	-	-	<< 2 ans	-	3	Tout le bassin
4 au 10 Novembre 2011 (08/10/2011)	**7 jours**	**1 jour**	**trés défavorable**	**10 <T< 20 ans**	**2 <T< 5 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**~ 2 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**5**	**Tout le bassin (épisode remarquable)**
05/12/2014	2 jours	1 jour	trés défavorable	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	-	~ 2 ans	<< 2 ans	-	2	plaine de la Garde

- **Type 2 : Episode de grande extension spatiale, de longue durée et des intensités remarquables et des conditions pluviométriques antécédentes défavorables**

  Episodes de grande ampleur géographique avec des précipitations abondantes sur de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours), avec de très fortes intensités sur des pas de temps infra-journalier. Les conditions antécédentes sont défavorables et le bassin versant réagit fortement aux sollicitations pluvieuses. Ce type d'épisode provoque des crues remarquables sur au moins 1 des autres cours d'eau de la région. Ce sont tous des événements marquants sur L'Eygoutier (sauf celui du 10/02/2014).

Date de l'événement	"Pluies extrêmes en France métropolitaine"		Conditions antécédentes	Période de retour de l'épisode pluvieux							Commune avec arrêté de catastrophes naturelles	événement "inondation" localisé à
	> 1 jour	1 jour		192 h	48h	24h*	24h	6h	1h	6 min		
02/10/1973	2 jours	1 jour	défavorable	5 <T< 10 ans	50 <T< 100 ans	30 <T< 50 ans	-	-	5 <T< 10 ans	-	-	partie toulonnaise
13/10/1973	-	-	trés défavorable	<< 2 ans	5 <T< 10 ans	10 <T< 20 ans	-	50 <T< 100 ans	2 <T< 5 ans	-	-	partie toulonnaise
16-17 01/1978	**10 jours**	**1 jour**	**trés défavorable**	**30 <T< 50 ans**	**50 <T< 100 ans**	**30 <T< 50 ans**	**50 <T< 100 ans**	**5 <T< 10 ans**	**-**	**-**		**Tout le bassin**
5 au 10/02/2014	-	-	trés défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	0	plaine de la Garde
25/11/2014	**4 jours**	**1 jour**	**trés défavorable**	**<< 2 ans**	**2 <T< 5 ans**	**2 <T< 5 ans**	**10 <T< 20 ans**	**10 <T< 20 ans**	**20 <T< 30 ans**	**<< 2 ans**	**4**	**plaine de la Garde**

* 24h de 6 UTC à 6 UTC

- **Type 3 : Episode orageux nettement localisés caractérisés par des intensités record sur des pas de temps très courts.** Les conditions antécédentes sont variables.
  - **Type 3-a :** Les autres cours d'eau de la région ne sont pas touchés

Date de l'événement	"Pluies extrêmes en France métropolitaine"		Conditions antécédentes	Période de retour de l'épisode pluvieux							Commune avec arrêté de catastrophes naturelles	événement "inondation" localisé à
	> 1 jour	1 jour		192 h	48h	24h*	24h	6h	1h	6 min		
29/09/1982	-	-	non	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	-	-	-	**7**	Tout le bassin
23-24/08/1983	-	1 jour	non	5 <T< 10 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	-	-	-	1	partie toulonnaise
26/09/1992	-	-	non	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	-	-	-	2	partie toulonnaise
13/11/1999	-	-	non	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	-	<< 2 ans	-	0	très localisé
17/11/2002	-	-	défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	-	-	-	2	Tout le bassin
24/09/2006	**-**	**1 jour**	**non**	**<< 2 ans**	**5 <T< 10 ans**	**5 <T< 10 ans**	**10 <T< 20 ans**	**30 <T< 50 ans**	**>100 ans**	**>100 ans**	**3**	**partie toulonnaise**
08/10/2008	-	1 jour	non	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans	5 <T< 10 ans	5 <T< 10 ans	2 <T< 5 ans	~ 2 ans	1	partie toulonnaise
08/09/2013	-	1 jour	non	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	~ 2 ans	5 <T< 10 ans	10 <T< 20 ans	0	Tout le bassin
11/10/2014	**-**	**1 jour**	**très défavorable**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**2 <T< 5 ans**	**20 <T< 30 ans**	**2**	**plaine de la Garde**

- **Type 3-b :** Ayant touchés au moins 1 des autres cours d'eau de la région.

Date de l'événement	"Pluies extrêmes en France métropolitaine"		Conditions antécédentes	Période de retour de l'épisode pluvieux							Commune avec arrêté de catastrophes naturelles	événement "inondation" localisé à
	> 1 jour	1 jour		192 h	48h	24h*	24h	6h	1h	6 min		
26/10/2012	-	1 jour	défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	3	partie toulonnaise
19/09/2014	**-**	**-**	**non**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**<< 2 ans**	**~ 2 ans**	**5 <T< 10 ans**	**>100 ans**	**5**	**Tout le bassin**

Enfin, certains événements ne sont pas classés dans ces 3 types de pluie alors que des crues sont observées sur tous les autres cours d'eau ; soit qu'il s'agisse d'un épisode de grande extension spatiale, mais peu intense sur le bassin de l'Eygoutier ; soit que les données pluviométriques sur le bassin de l'Eygoutier ne sont pas représentatives, soit parce que la pluviométrie n'explique pas tout et que d'autres phénomènes sont en jeux. L'épisode du 17 et 18 janvier 1999, événements marquants par ses dégâts (5 communes en CATNAT) fait partie de ce type.

Date de l'événement	"Pluies extrêmes en France métropolitaine"		Conditions antécédentes	Période de retour de l'épisode pluvieux							Commune avec arrêté de catastrophes naturelles	événement "inondation" localisé à
	> 1 jour	1 jour		192 h	48h	24h*	24h	6h	1h	6 min		
04/02/1976	-	1 jour	défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	-	2 <T< 5 ans	-	-	-	plaine de la Garde
17 -18 /01/1999	-	1 jour	non	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	-	-	-	-	5	Tout le bassin (Evénement marquant)
18/05/2013	-	-	défavorable	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	1	très localisé

5.3 ANALYSE DE QUELQUES EVENEMENTS REMARQUABLES

5.3.1 Evénement du 4 au 10 Novembre 2011 (type 1)

5.3.1.1 Type de crue

Les cumuls pluviométriques qui se sont abattus sur le Var début novembre 2011 ont entrainé des inondations ou des coulées de boues et des dégâts importants sur le bassin versant de l'Eygoutier (5 communes du bassin en CATNAT). Tous les cours d'eau de la région sont en crue et réagissent aux sollicitations pluvieuses de la même manière (2 crues successives rapprochées). La Reppe réagit plus fortement avec des pointes entre 10 et 20 ans de temps de retour. Le Gapeau a débordé à Hyères. Les inondations restent soutenues par des pluies abondantes et régulières. La vigilance crue orange est levée pour le Gapeau le 9 novembre au soir (http://www.senat.fr/rap/r11-775/r11-775_mono.html#toc33).

Ces crues généralisées à tous les cours limitrophes laissent présager que la crue de l'Eygoutier était également importante.

Débit de crue et temps de retour associé pour les 3 cours d'eau limitrophes.

	Temps de retour sur les autres cours d'eau		
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	09/11/2011	05/11/2011	09/11/2011
Débit	35,9	66,7	166
temps de retour	Q10<Q<Q20	Q2<Q<Q5	Q5<Q<Q10

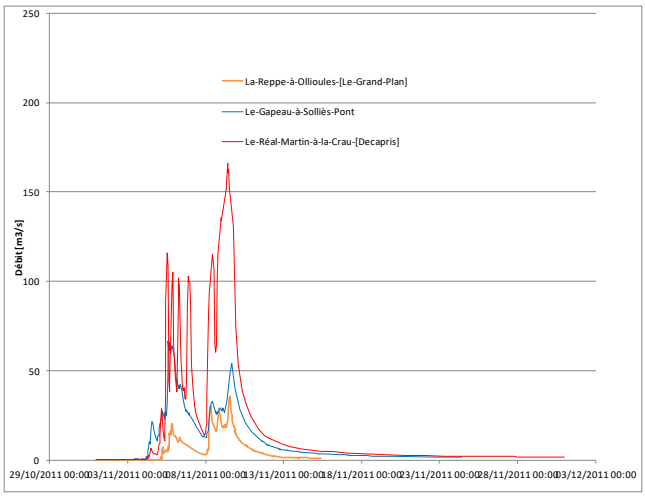


Figure 57. Hydrogrammes pour les 3 cours d'eau limitrophes

5.3.1.2 Type de Pluie

L'épisode pluviométrique de novembre 2011 est un événement mémorable sur le Sud de la France par son ampleur géographique et sa durée. Il est répertorié comme tel par le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine" : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Deluge-sur-le-Sud.html

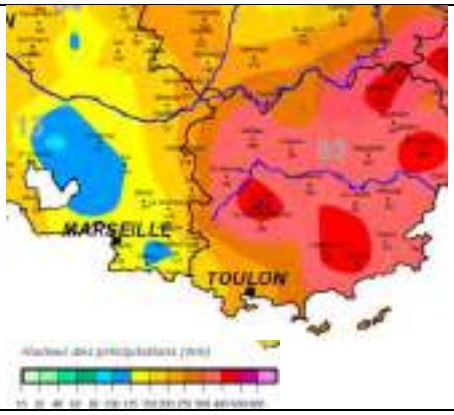
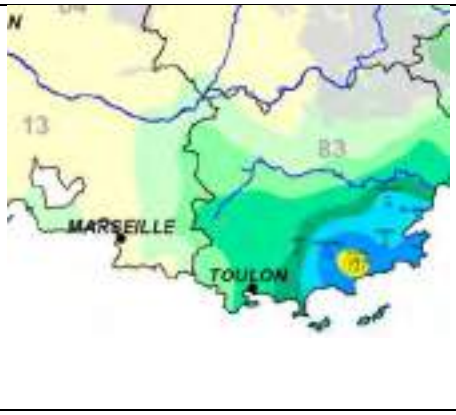
Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 7 jours du 3 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 10 NOVEMBRE à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 8 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 9 NOVEMBRE à 6 h UTC
	

Figure 58. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)

Il touche les Cévennes en début de période avec des "cumuls totalisés sur plusieurs jours faramineux" . A l'est du Rhône, les cumuls ont été moindres mais cependant très conséquents. C'est sur le Var et

la Côte d'Azur que l'épisode a été le plus virulent l'ensemble engendrant des inondations dont les plus graves touchent à nouveau le département du Var. Par ailleurs, "les vents ont soufflé en tempête en Méditerranée, levant une forte houle qui a provoqué de nombreux dégâts sur les côtes. " Les inondations se trouvent a priori amplifiée par ce phénomène : la forte houle contraignant l'écoulement des eaux vers la mer.

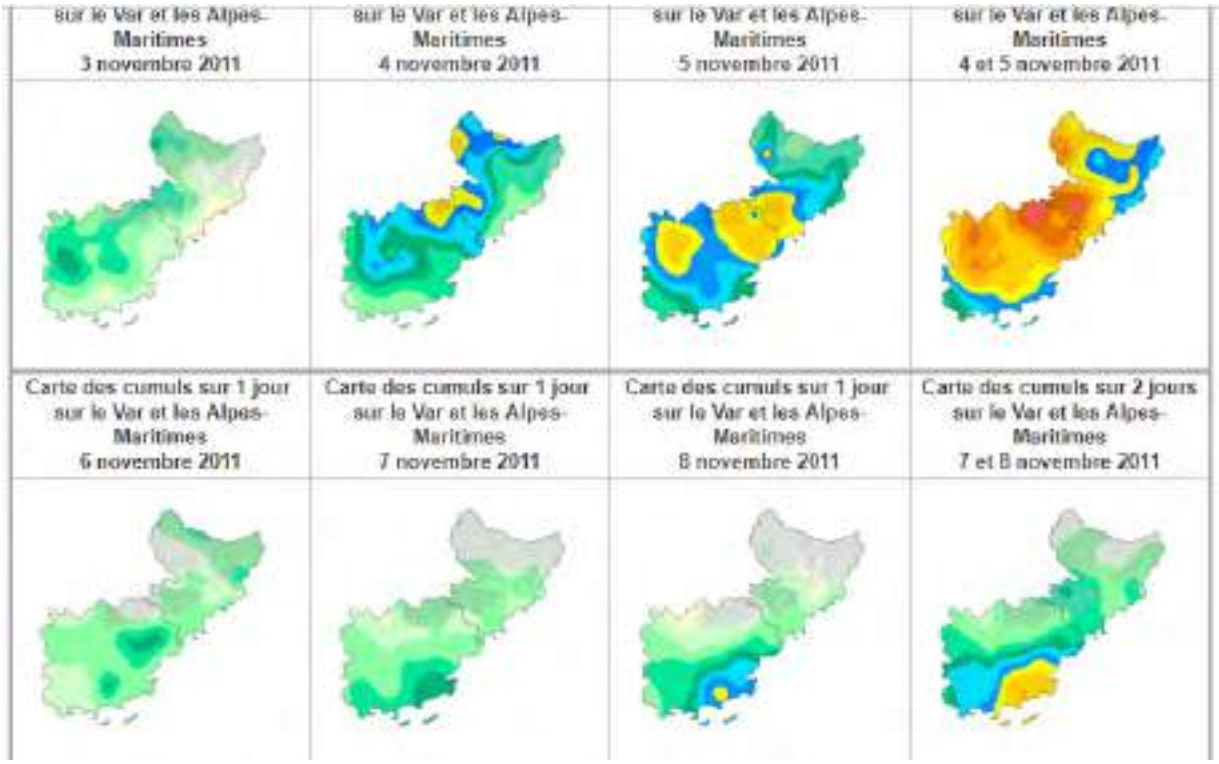


Figure 59. Animation des cumuls quotidiens sur le sud de la France du 31 octobre au 9 novembre 2011 : "Dans la nuit du 7 au 8 et le 8 c'est la côte varoise qui va être le plus éprouvée : au total sur ce nouvel épisode, les cumuls atteindront 207 mm à Bormes les mimosas." (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Deluge-sur-le-Sud.html)

Sur le bassin versant de l'Eygoutier, l'épisode est aussi exceptionnel par sa durée (7 jours de pluie avec 2 épisodes pluvieux successifs) mais les cumuls sont plus faibles que les valeurs enregistrées sur les stations plus au nord-est, (l'épisode étant centré plus au nord-est).

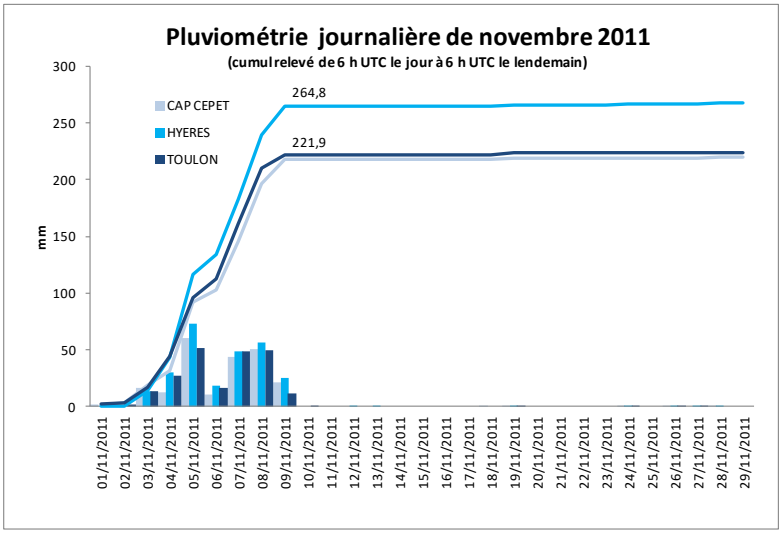
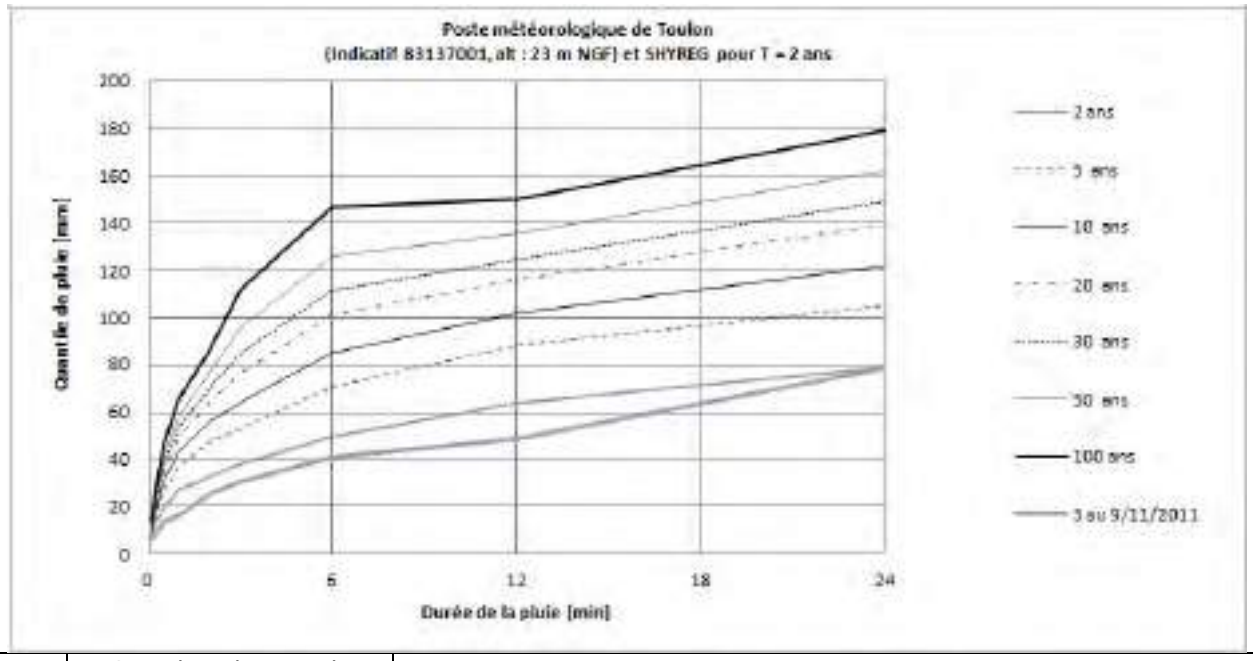


Figure 60. Evolution de la pluviométrique journalière

La pluviométrie de l'événement acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, montre bien que les cumuls sur 192h (8 jours) sont remarquables avec des temps de retour entre 10 et 20 ans mais que les intensités sont faibles pour les pas de temps journalier et infra-journalier.



	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	**24h**	**24h**	**12h**	**6h**	**3h**	**2h**	**1h**	**30 min**	**6 min**
Cumul [mm]	220,1	166,2	98,3	51,3	78,6	48,5	40,8	30,5	25,4	16,2	13,6	6,5
Temps de retour	10 <T< 20 ans	5 <T< 10 ans	2 <T < 5 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	~ 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans

* Données issue des calculs 6h-6h

** Calcul à partir des données de précipitations par pas de 6 minutes décomptées sur des fenêtres glissantes (Attention : pas toujours 24 heures de données récupérées).

Figure 61. Caractéristiques de l'événement du 4 au 11 novembre 2011 au poste de Toulon La Mitre

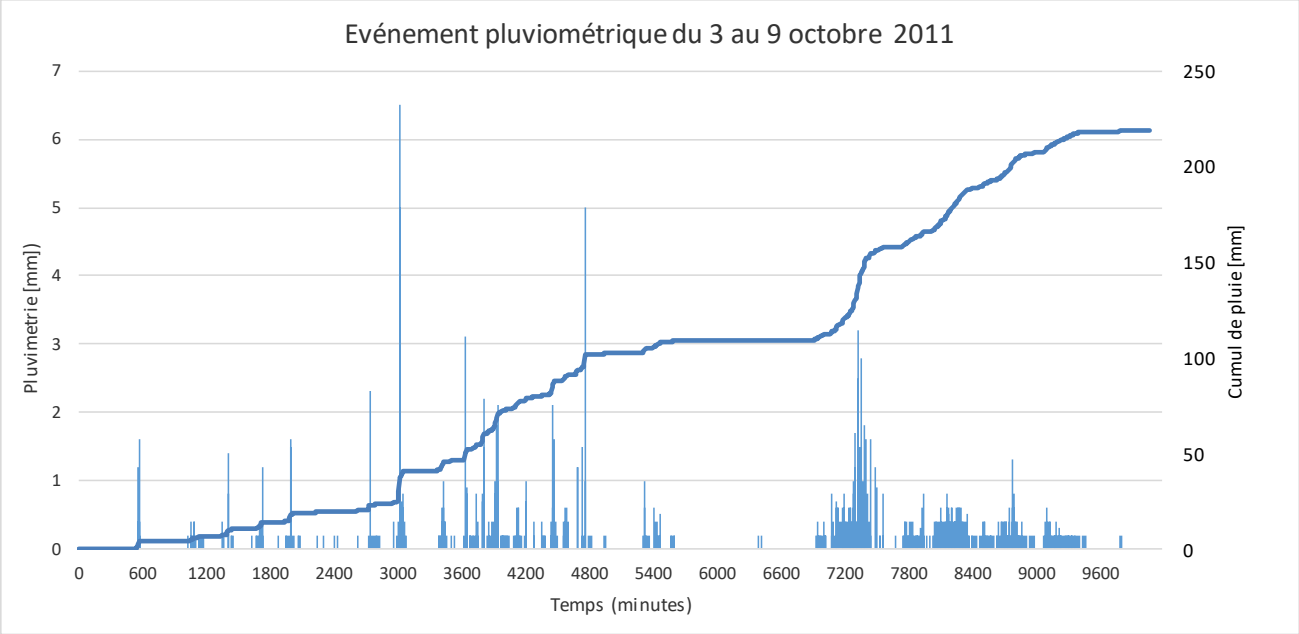


Figure 62. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement

5.3.1.3 Contexte pluviométrique et condition antécédentes d'humidité

Les antécédents pluviométriques à Toulon (cumuls des pluies journalières 6h-6h) pour les 5 et 15 jours précédents le maximum journalier de l'événement de pluies (5/11) sont de 44.2 et 121.9 mm.

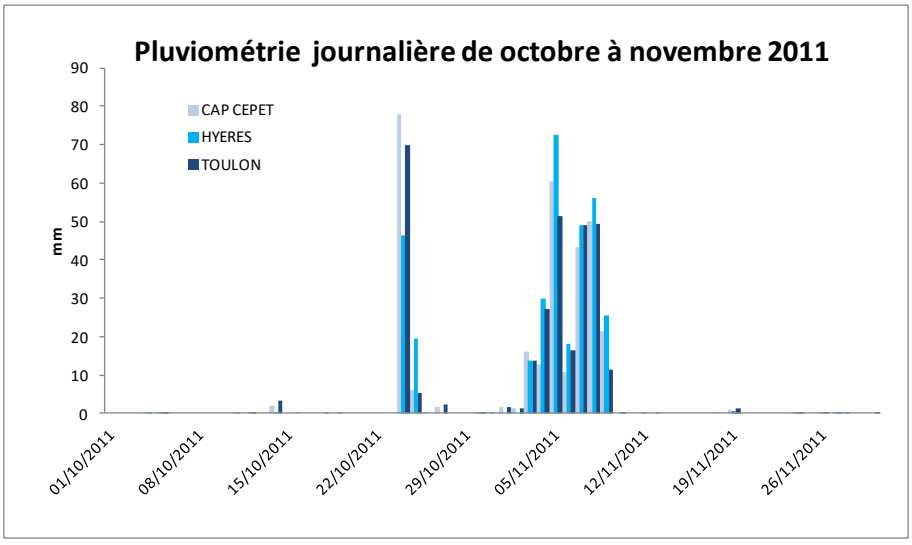


Figure 63. Evolution de la pluviométrique journalière

Le mois d'octobre précédent a été sec et chaud sur la région PACA qui présente une situation déficitaire en pluie, notamment durant la première moitié du mois d'octobre. La région de Toulon est cependant moins touchée avec un rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour le mois d'octobre 2011 à la station de Toulon de 0.8. L'indice d'humidité des sols au début du moi de novembre est par ailleurs important (entre 0.9 et 1). Le niveau des nappes en octobre est stable et au-dessus de la normale. En novembre le niveau des nappes devient très au-dessus de la normale avec les pluies de fin octobre et début novembre. Les conditions antécédentes sont très défavorables.

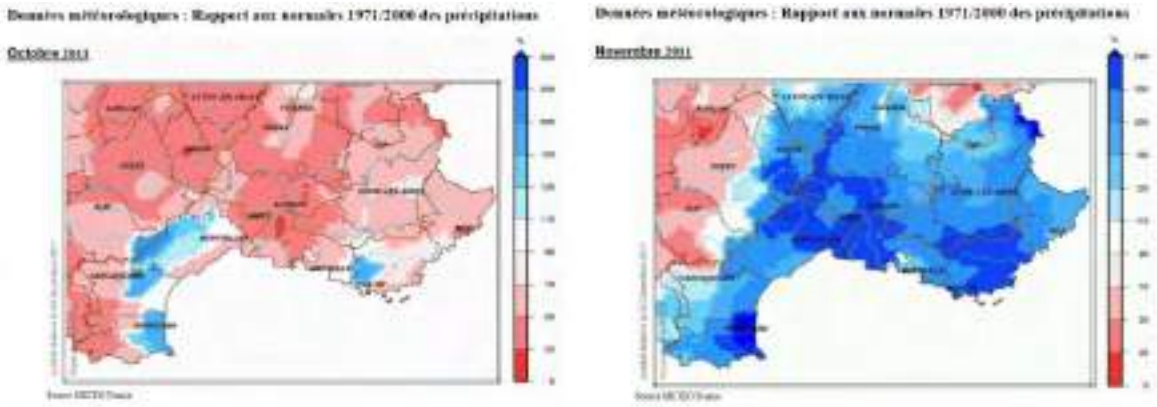


Figure 64. Rapport aux normales 1971/2000 (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)



Figure 65. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)

5.3.2 Evénement du 16 et 17 janvier 1978 (type 2)

Il s'agit de la crue historique de référence sur le bassin versant de l'Eygoutier. Autant en amont qu'en aval du pont de La Clue (TRI Toulon-Hyeres, 2013). Le PER (Plan d'Exposition aux Risques) a été calé par rapport à cet événement.

5.3.2.1 Type de crue

Les inondations sont très importantes sur la plaine de la Garde. La montée des eaux s'est effectuée dans la nuit du 16 au 17 janvier. Cette inondation a atteint les quartiers bas de la Garde. De nombreuses photographies aériennes existent sur la Plaine dans la journée du 17 janvier. Dans le Plan le niveau de l'eau atteignit jusqu'à 2.50 mètres. Coyne et Bélier (1979) estime le débit maximum entrant dans la plaine à 185 m^3/s en moyenne sur 4 heures (d'après la variation du niveau de la Plaine de la Garde), pour un débit sortant maximum de 43 m^3/s au pont de la Clue. La pluie de 1978 est considérée comme centennale du point de vue de ses effets sur la plaine de la Garde, mais pas pour sa partie Toulonnaise où elle correspond à une occurrence moindre (SCE, 2007). Le débit évacué vers Toulon a été de 15 m^3/s pour un débit de 30 m^3/s sous le tunnel de la Clue (SOGREAH, 2002, page 8).



Vue des Inondations près de La Garde (Var) en janvier 1978
(photos : DDE 83 (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Crues-en-Provence.html)

Les deux autres cours d'eau ont réagi moins fortement avec des débits de pointes entre 10 et 50 ans de période de retour du fait de précipitations plus intenses plus à l'Est et centrées sur Toulon (Le-Gapeau-à-Solliès-Pont plus à l'Est a réagi plus fortement que le Real Saint-Martin).

Débit de crue et temps de retour associé pour les 3 cours d'eau limitrophes.

	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date		17/01/1978	16/01/1978
Débit		93	195
temps de retour		Q20<Q<Q50	Q10<Q<Q20

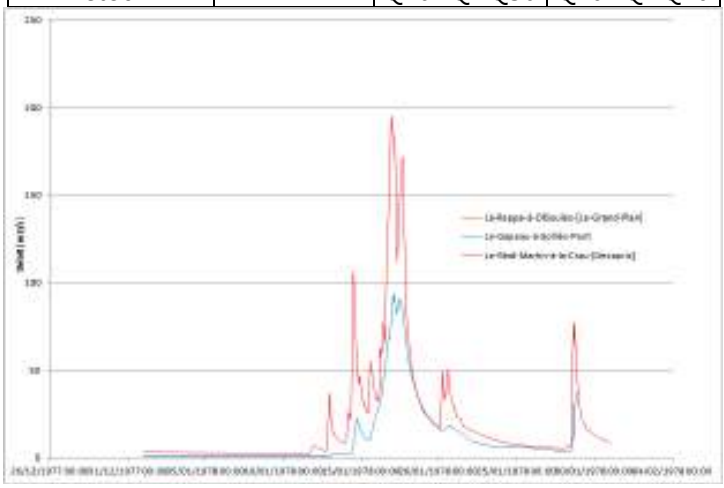


Figure 66. Hydrogrammes pour les 2 cours d'eau limitrophes

5.3.2.2 Type de pluie

L'épisode de précipitations du 11 au 17 janvier 1978 a touché toutes les rivières du Var et des Bouches-du-Rhône qui connaissent des crues dévastatrices. Il est répertorié par le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine" comme un événement mémorable : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Crues-en-Provence.html.

"Tout d'abord c'est un épisode de pluies très importantes en quantités puisque pour la seule journée du 16 les valeurs atteignent les 100 à 180 mm sur une grande aire géographique. D'autre part ces pluies se produisent en janvier, hors de la traditionnelle période automnale. Du 11 au 17 janvier, il pleut chaque jour, portant les totaux sur 7 jours à plus de 200 mm sur le Var (249 mm à Toulon, 289 mm à Hyères, 275 mm au beausset) et plus 300 mm sur tout l'est des Bouches-du-Rhône (317 mm à Trets). Ce sont les 16 et en matinée du 17 janvier, sur des sols gorgés d'eau, par les 5 jours de pluies depuis le 11, que les plus fortes précipitations se produisent Enfin, c'est un épisode assez long puisqu'il dure 7 jours consécutifs !"

Cet épisode est remarquable par son ampleur géographique, ces cumuls sur 10 jours et par les fortes cumuls de précipitations journaliers du 16 janvier se produisant sur des sols déjà saturés. Le record pluviométrique à Toulon La Mitre le 16/01/1976 est de 156 mm en 24h (6h-6h Météo-France).

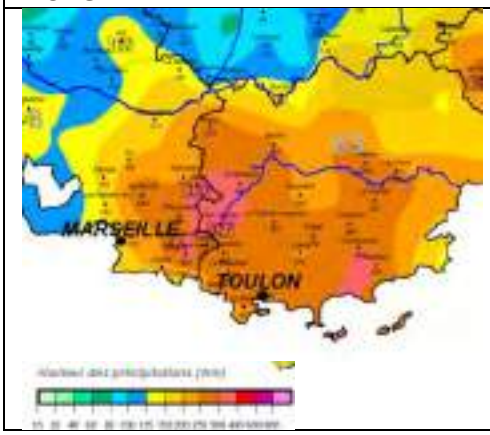
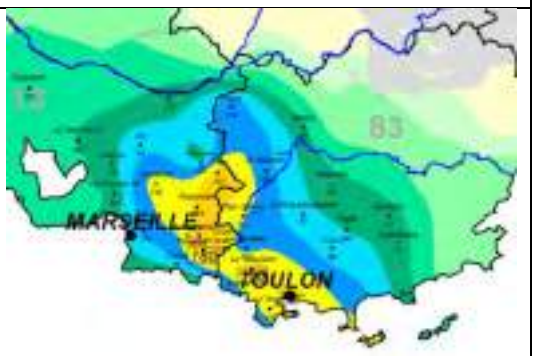
Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 10 jours du 11 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 21 JANVIER à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 16 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 17 JANVIER à 6 h UTC
	

Figure 67. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)

Sur le bassin versant de l'Eygoutier, l'épisode est exceptionnel par les cumuls enregistrés sur les stations du bassin.

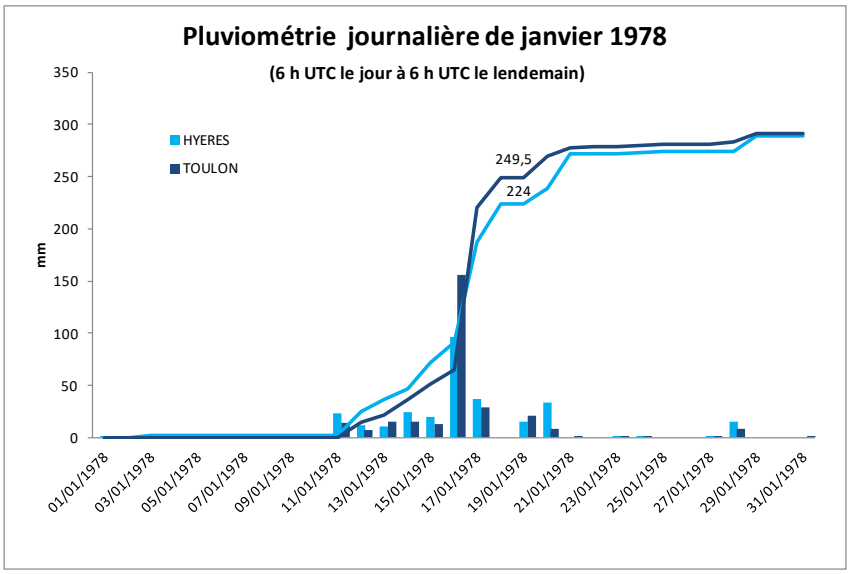


Figure 68. Evolution de la pluviométrique journalière

La pluviométrie infra-journalière de l'événement n'est pas bien connue faute de station automatiques à cette époque (il n'y a pas de données sur la publithèque de Météo France - les données infra-journalières ne commencent qu'en 2004). Des données de pluie de 1978 sont cependant disponibles au pas de temps 6h (des relevés des cumuls auraient été faits toutes les 6h compte tenu de l'importance de l'évènement) dans l'étude SCE (2007) et sur le site de météociel.fr[4]. Les cumuls sur des pas de temps de 2 heures ont aussi été récupérés à la station de la Foux lors de l'étude de Sogreah-Daragon en 2002 et permettent également de mieux définir l'événement. Les cumuls estimés sont variables d'une source de données à une autre mais restent cohérents. Les pluies sur 24h glissantes sont d'ordre centennal alors que les cumuls sur les pas de temps plus faibles diminuent.

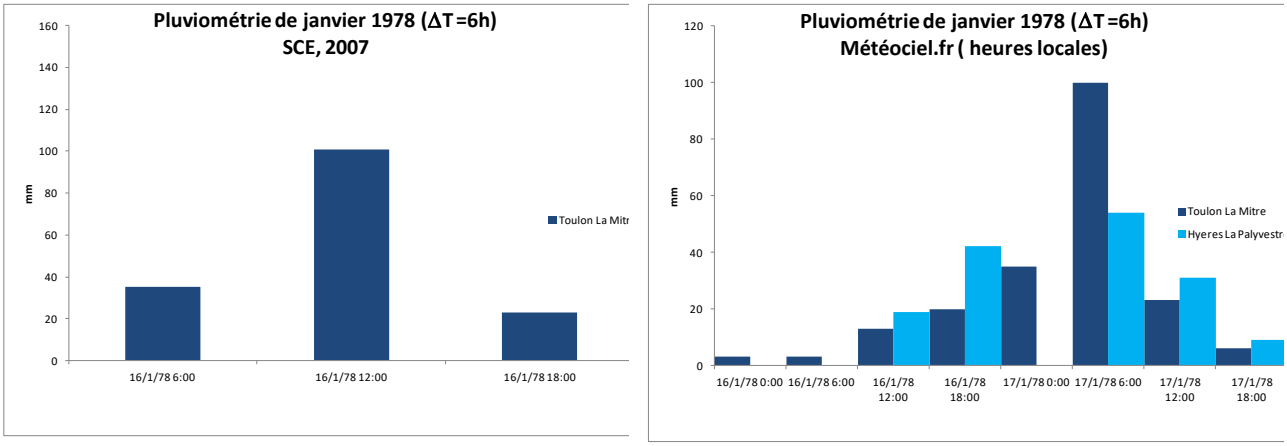


Figure 69. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 h sur l'événement à Toulon et Hyères

[4] Les données de météociel.fr. et de SCE (2007) correspondent sauf sur la pluie centrale. Le cumul 24 h n'étant pas correct pour les données de météociel.fr, il a été remplacé par les 100 mm en 6h.

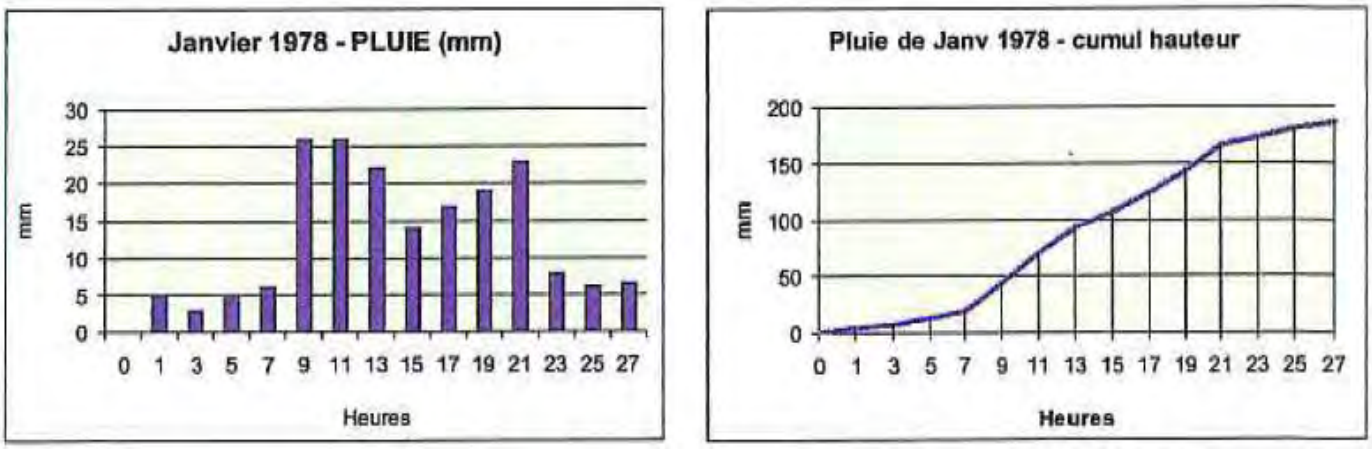
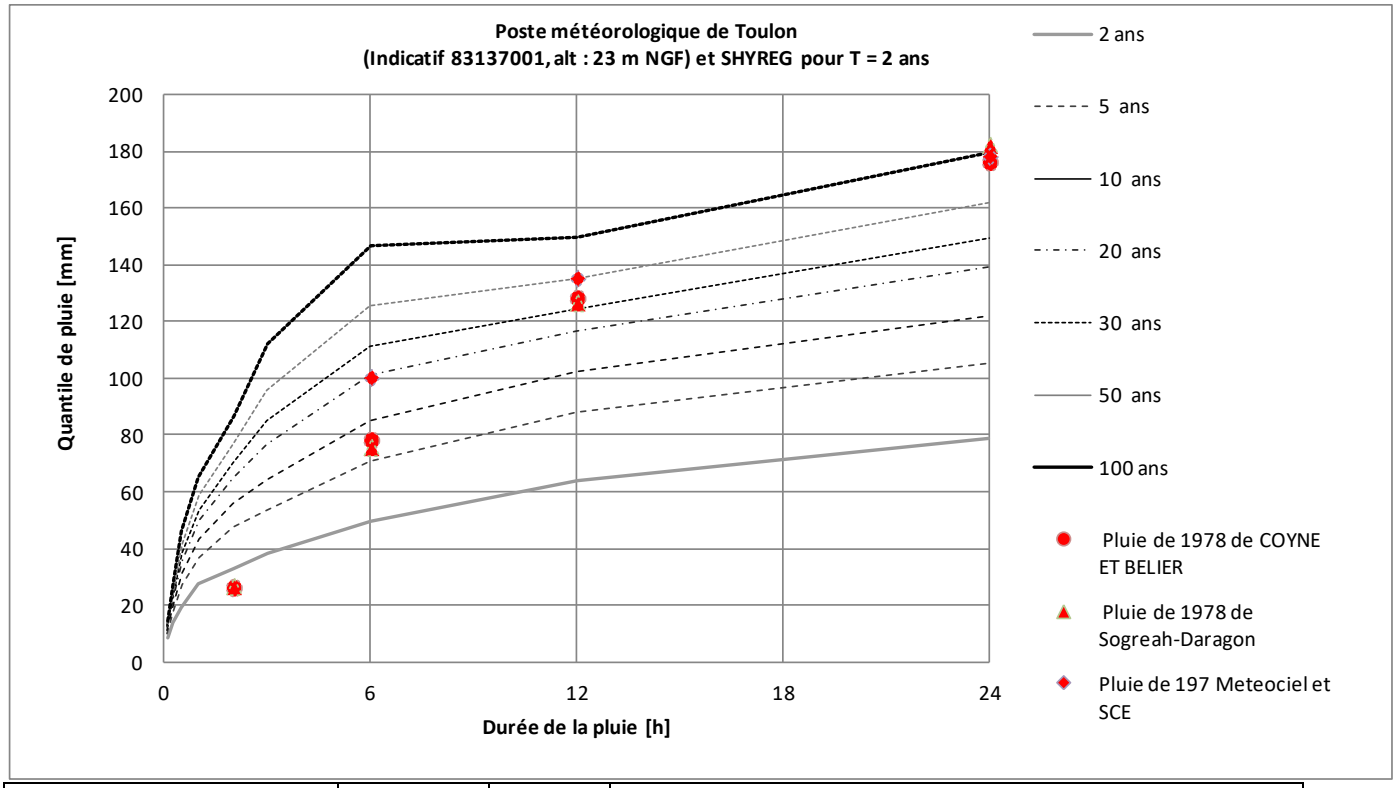


Figure 70. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 2 h sur l'événement à la Foux (d'après Sogreah-Daragon en 2002)



Source des données de pluie	Lame d'eau [mm]	Durée [h]	Lame d'eau [mm]					
			48 h*	24 h*	24 h	12h	6h	2h
Coyne et Belier, 1978	-	-	-	-	176	128	78	26
Sogreah- Daragon (2002) - à la Foux	190	27	-	-	182	126.5	75.5	26.5
Météo France	-	-	185	156	-	-	-	-
SCE, 2007	-	-		-	-	135	100	-
meteociel.fr	200	42		-	178	135	100	-
Temps de retour moyen (statistiques Toulon La Mitre			50 <T< 100 ans	30 <T< 50 ans	100 ans	50 <T< 100 ans	~30 ans	< 2 ans

* Données issue des calculs 6h-6h

Figure 71. Caractéristiques de l'événement du 16 au 17 janvier 1978 au poste de Toulon La Mitre et à la Foux.

5.3.2.3 Contexte pluviométrique et Condition antécédentes d'humidité

Le mois d'aout de décembre 1977 est normal (rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour station de Toulon de 1.2). Le mois de janvier est en revanche largement excédentaire avec un rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour station de Toulon de 4. Les cumuls sur les 5 jours précédents l'événement plus intense du 16 janvier s'élève à 64.3 mm. Les conditions antécédentes d'humidité sont très défavorables.

5.3.3 Evénement du 25 novembre 2014 (type 2)

5.3.3.1 Type de crue

Les cumuls pluviométriques qui se sont abattus sur le Var en novembre 2014 ont entrainé des inondations ou des coulées de boues et des dégâts importants sur le bassin versant de l'Eygoutier (4 communes du bassin en CATNAT). Des inondations remarquables sont signalées par des témoignages et des photos au niveau la plaine de la Garde, au niveau de l'Eygoutier et de la Planquette dans les zones urbanisées.



***Vue du Rocher de La Garde (*http://une-vie-un-instant.e-monsite.com/pages/nature/meteorologie/pluie-inondations/inondations-historiques-a-la-garde-83-26-novembre-2014.html)**

Tous les cours d'eau de la région sont en crue et réagissent aux sollicitations pluvieuses de la même manière (3 crues successives rapprochées et multi-pics). La Reppe réagit moins fortement sur les premières crues. Les crues restent moyennement exceptionnelles. Ces crues généralisées à tous les cours limitrophes laissent présager que la crue de l'Eygoutier était également importante. Les temps de retour restent rares mais pas exceptionnels.

Débit de crue et temps de retour associé pour les 3 cours d'eau limitrophes.

	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	26/11/2014	27/11/2014	27/11/2014
Débit	9,99	46,4	161
temps de retour	<<	Q2<Q<Q5	Q5<Q<Q10

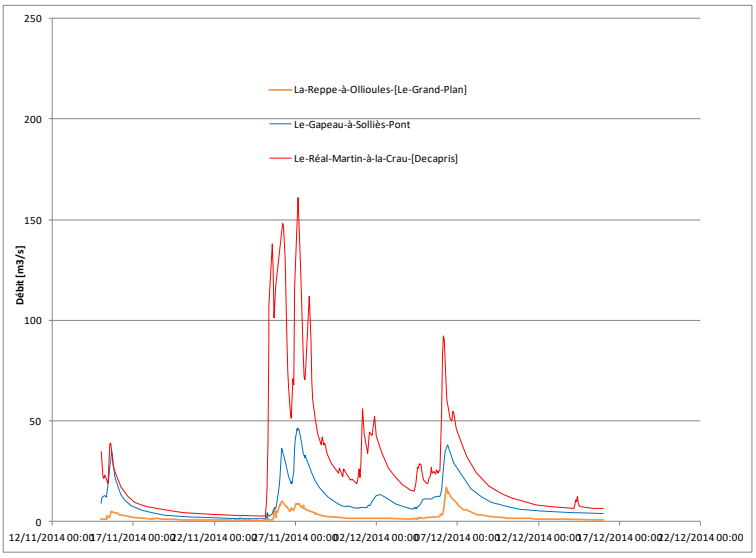


Figure 72. Hydrogrammes pour les 3 cours d'eau limitrophes

5.3.3.2 Type de pluie

L'épisode méditerranéen (séquence orageuse) qui a touché l'Aude le 24 novembre 2014 puis s'est décalé vers l'est pour concerner le Var dans la nuit du 24 au 25 jusqu'au 28 a provoqué d'importantes inondations dans le sud varois et la disparition de 3 personnes. Il est répertorié par le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine" comme un événement mémorable : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Pluies-orageuses-sur-le-Var.html . Cette période s'inscrit dans un mois de novembre et un automne qui furent exceptionnellement pluvieux sur le quart sud-est de la France.

Cet épisode est remarquable par son extension géographique, ces cumuls sur 4 jours et par les intensités de ces pluies orageuses successives sur les pas de temps courts (typique des épisodes méditerranéens).

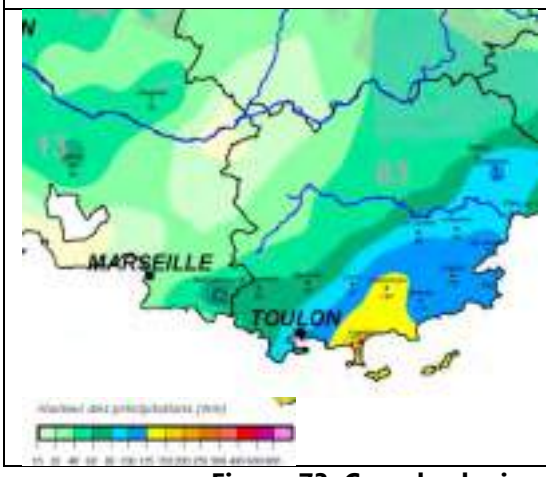
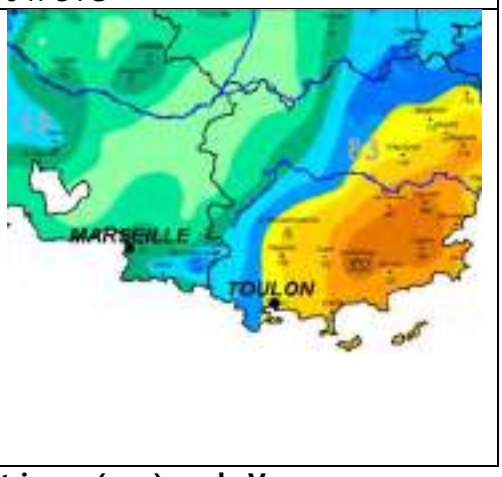
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 25 NOVEMBRE 2014 à 6 h UTC au 26 NOVEMBRE à 6 h UTC	Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 4 jours du 24 NOVEMBRE 2014 à 6 h UTC au 28 NOVEMBRE à 6 h UTC
	

Figure 73. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)

Bien que l'épisode soit centré plus au nord-est, il est aussi exceptionnel sur le bassin versant de l'Eygoutier par sa durée et ses cumuls (201.1 mm à Hyères et 135.7 mm à Toulon sur 4 jours) ainsi que les valeurs enregistrées à pas de temps fins. La différence de cumul sur 4 jours est importante entre Hyères et Toulon (65 mm).

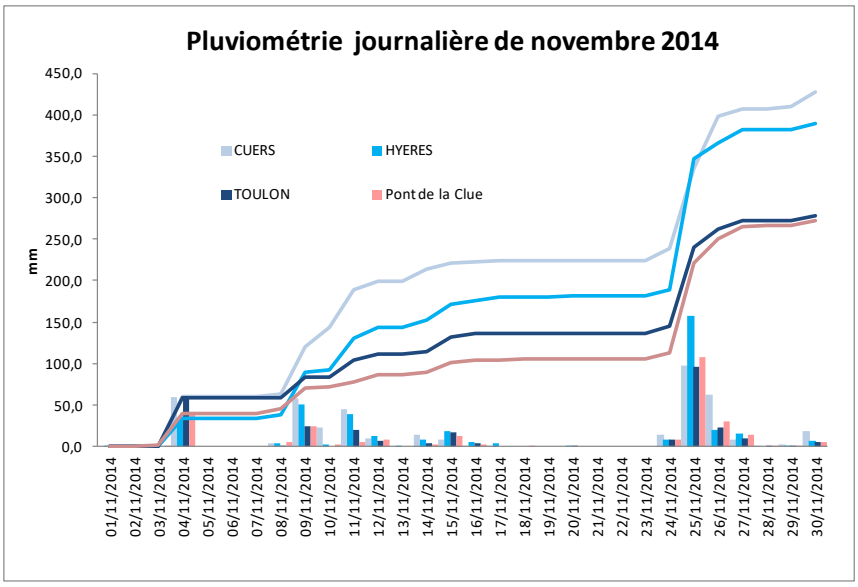


Figure 74. Evolution de la pluviométrique journalière sur le mois

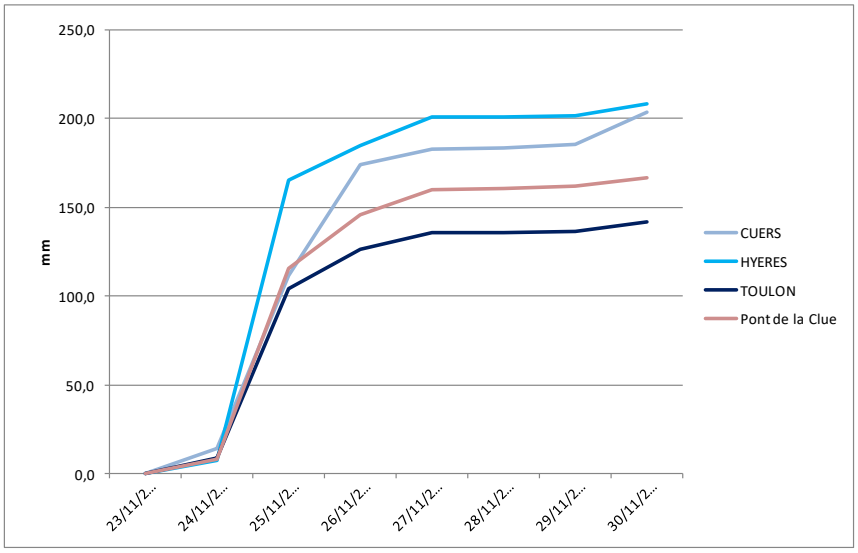
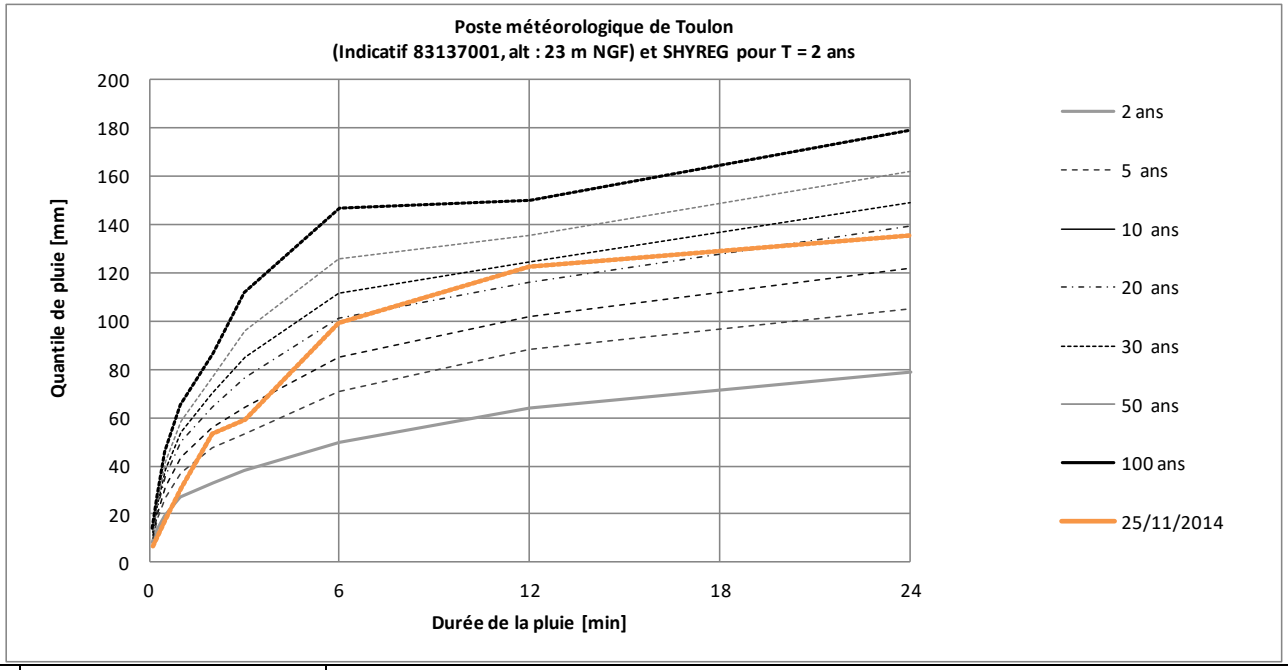


Figure 75. Evolution du cumul pluviométrique journalière sur l'événement

La pluviométrie de l'événement acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre montre des cumuls sur 24h remarquables (temps de retour entre 10 et 20 ans sur la fenêtre glissante) ET des intensités au pas de temps infra-journalier rares avec notamment sur 12 h un temps de retour entre 20 et 30 ans.



	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	24h	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30 min	6 min
Cumul [mm]	150,4	135,7	118	95,6	135,7	122,7	99,1	60,4	55,5	52,9	52,1	6,5
Temps de retour	<< 2 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans	10 <T< 20 ans	20 <T< 30 ans	10 <T< 20 ans	5 <T< 10 ans	5 <T< 10 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	<< 2 ans

* Données issue des calculs 6h-6h
** Calcul à partir des données de précipitations par pas de 6 minutes décomptées sur des fenêtres glissantes (Attention : pas toujours 24 heures de données récupérées).

Figure 76. Caractéristiques de l'événement du 25 novembre 2014 à la station de Toulon

Les précipitations sont quasi continues entre le 24 et le 27 novembre. L'événement pluvieux donnant naissance aux crues s'est produit essentiellement sur deux pluies : dans la nuit du 24/11/2014 au 25/11/2014 (15h) puis le 26/11/2014 (6 h).

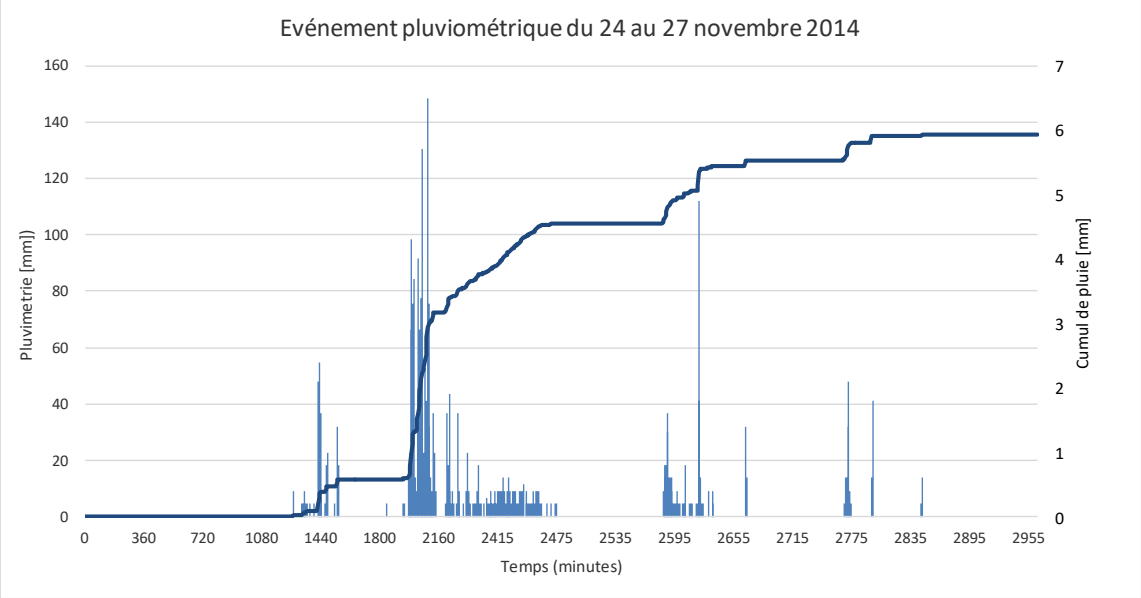


Figure 77. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement

Des records pluviométriques ont été enregistrés à Hyères le 25/11/2014 avec :

- 157.8 mm en 24h soit entre 10 et 20 ans
- 136.9 mm en 12 h, soit entre 10 et 20 ans
- 106.8 mm en 6 h, soit entre 10 et 20 ans
- 37.2 mm en 1 h, soit < 5 ans de période de retour
- 27.7 mm en 30 min soit < 5 ans de période de retour

La lame d'eau radar Antilope sur le Var en 24 heures, débutant le 24 novembre 2014 à 6 H UTC, confirme que c'est la partie plaine des Maures qui a été particulièrement touchés par cet événement.

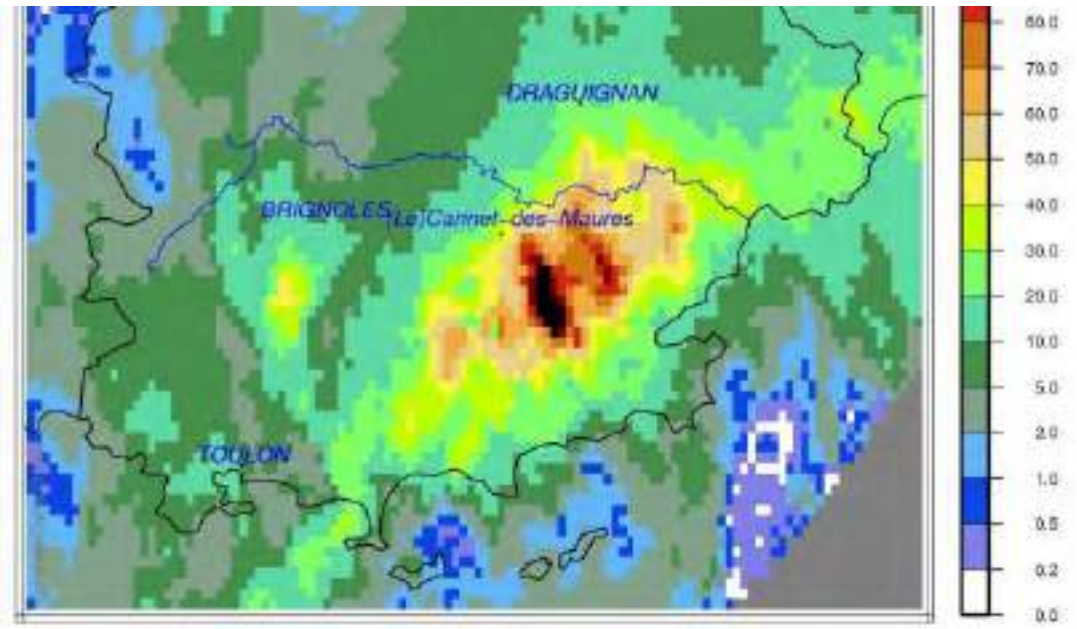


Figure 78. Lame d'eau radar Antilope sur le Var en 24 heures débutant le 24 novembre 2014 à 6 H UTC (source : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Pluies-orageuses-sur-le-Var.html)

5.3.3.3 Contexte pluviométrique et condition antécédentes d'humidité

Les précipitations se sont produites sur des sols très saturés par les pluies des semaines précédentes (mois de novembre), amplifiant le ruissellement. Les antécédents pluviométriques à Toulon (cumuls des pluies journalières 6h-6h) pour les 5 et 15 jours précédents le maximum journalier de l'événement de pluies (25/11) sont de 8.8 et 60.9 mm.

Le mois d'octobre précédant a été sec sur la région PACA hormis une très fine bande du littorale varois avec sur la région de Toulon un rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour le mois d'octobre 2014 à la station de Toulon de 1.2 Le rapport à la normale [1950 -2013] de novembre est de 3.4 à Toulon. Les cumuls mensuels de novembre ont permis le démarrage de la recharge hivernale des aquifères et le remplissage des grandes réserves en eau.

L'indice d'humidité des sols au début du mois de novembre est par ailleurs important sur la région (entre 0.9 et 1) pour se généralisé à 1 au 1 décembre 2014.

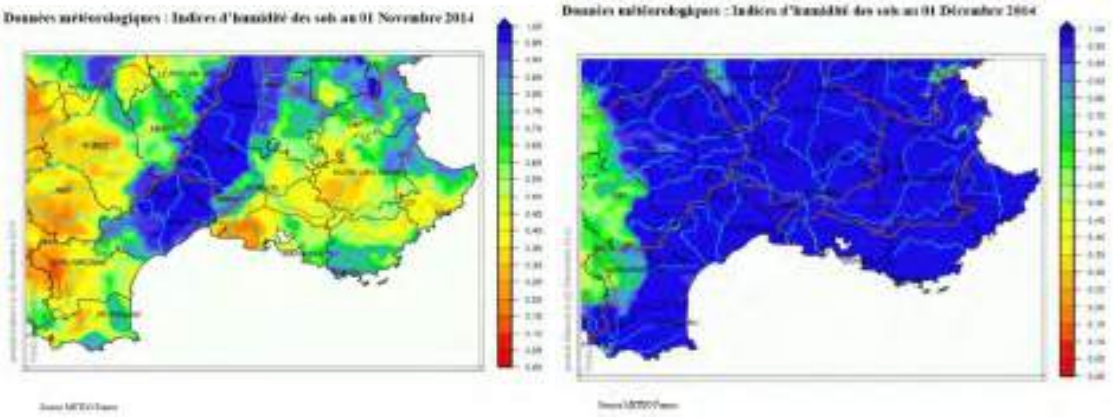


Figure 79. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)

5.3.4 Evénement du 24 septembre 2006 (type 3-a)

5.3.4.1 Type de crue

Dans la nuit du 24 au 25 des pluies très intenses se sont produites sur la région de Toulon causant de nombreuses inondations sur la ville et des dégâts importants (3 communes - Toulon, La Valette du Var et la Garde, en CATNAT). Il y a peu d'information sur les niveaux d'eau des cours d'eau mais a priori il s'agit d'une crue significative de l'Eygoutier dans sa partie Toulonnaise (estimation d'une période de retour de 30 ans en termes de débit par les services de la Ville de Toulon d'après SCE, 2007).

Il n'y a pas eu de crues significatives sur les cours limitrophes mais les données de hauteur d'eau enregistrée au chemin de la Foux montrent deux crues successives importantes.

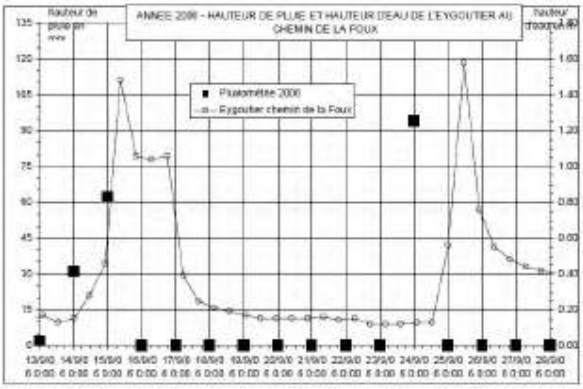


Figure 80. Evénements du 13 au 28 septembre 2006 SCE, 2007

Les coupures de presses témoignent d'inondation de caves (175 interventions sur Toulon et la Valette).

Orages dans le Var : brutal réveil sous les eaux

PLUIES Les très fortes précipitations tombées sur le département ont occasionné de nc dégâts matériels notamment en Dracénie, à Fréjus-Saint-Raphaël et sur l'aire toulonnai

L'alerte Orange déclenchée par Météo-France dans le Var était à prendre au pied de la lettre dimanche soir. En effet, les trombes d'eau n'ont épargné aucune zone du département à l'exception de Saint-Tropez où les secours n'ont procédé à aucune intervention d'urgence.
Partout ailleurs, les missions se sont succédé jusqu'à hier matin sans discontinuer. Au total, 417 interventions ont été menées de Toulon à Draguignan et de La Seyne à Fréjus.
Ces intempéries ont entraîné des glissements de terrains, des inondations nocturnes dans les habitations et nécessité des mises en sécurité de personnes et de biens. Enfin, des secours routiers ont été opérés en urgence, notamment sur l'A 8 où un éboulement s'est produit, hier à l'aube, sans provoquer d'accident heureusement. Les dégâts les plus importants ont été localisés sur les communes de Montauroux, Fayence et Saint-Raphaël principalement.

Automobilistes sur le toit !

La zone qui a été la plus touchée est, sans conteste, Fréjus-Saint-Raphaël où le SDIS du Var a comptabilisé 210 interventions.
Soixante-quinze missions ont concerné exclusivement des inondations dans les caves des maisons et, à cinquante-sept reprises dans la nuit, des personnes ont dû être placées en sécurité hors de chez elles.
Le service d'incendie et de secours du Var signale également que vingt-six maisons isolées dans ce même secteur ont nécessité une intervention rapide dans la nuit.
Quinze routes ont été barrées par les gendarmes pour cause de fortes crues rendant la circulation très dangereuse. Il faut dire que, dans la soirée, neuf véhicules coincés avaient dû être dégagés. Parfois, les automobilistes n'ont eu d'autre choix que de s'isoler sur le toit et attendre de l'aide.

170 interventions nocturnes à Toulon

Le grand Toulon, a été le second secteur le plus touché avec, au total, 170 interventions (associant La Garde et La Valette). Chaque fois, le scénario était le même : appel d'urgence pour une cave inondée, pompage dans les caves et nettoyage obligatoire.
Si plusieurs personnes seules ont été secourues par les pompiers, aucune d'elle n'était blessée. Seules quelques personnes âgées, choquées, ont été hospitalisées brièvement. Face aux trombes d'eau qui ne faiblissaient pas, l'A 57 a dû être fermée dans la nuit



A Toulon, une villa du lotissement Le Pélican, à La Serinette, a été complètement inond violentes précipitations qui se sont abattues sur la ville.

puis rouverte vers 5 heures du matin tandis que, sur l'A 8, un éboulement a paralysé le trafic.
Sur la zone de Brignoles, trois secours routiers ont été organisés à la hâte pour venir en aide à des usagers bloqués sur les axes. Le sauvetage d'une personne seule a également été nécessaire.
A La Seyne, sept interventions ont été effectuées dont deux pour des arbres tombés sur les voies. Cinq inondations sérieuses dans des habitations ont été répertoriées. A Hyères e ont dû faire fac tions de caves mais tout est re en fin de matiné l'alerte météo a

La Garde : archives inondées au centre hospitalier

Les locaux techniques, abritant les archives administratives et médicales du centre hospitalier intercommunal de Toulon-La Seyne (implantées au sein de l'Institut de formation en soins dossiers. Des ventilateurs puissants pour réchauffer les pièces et les documents imbibés vont fonctionner dès ce matin.
Le service des archives, à l'étage a été également for-



Le com de Tou

Mauvaise su matin, pour Toulon. Cert avaient reçu dans la nuit

5.3.4.2 Type de Pluie

L'épisode pluviométrique remarquable de la nuit du 24 au 25 est un épisode orageux nettement localisé et sur un périmètre limité à la côte varoise. Il est répertorié par le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine" comme un événement mémorable (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Inondations-sur-Toulon.html).

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 24 SEPTEMBRE 2006 à 6 h UTC au 25 SEPTEMBRE à 6 h UTC

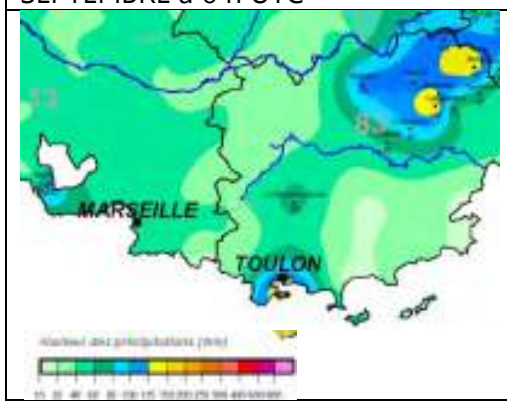


Figure 81. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)

Sur le bassin versant de l'Eygoutier, l'épisode est exceptionnel par les valeurs enregistrées sur les stations de Toulon et du Cap-Cepet.

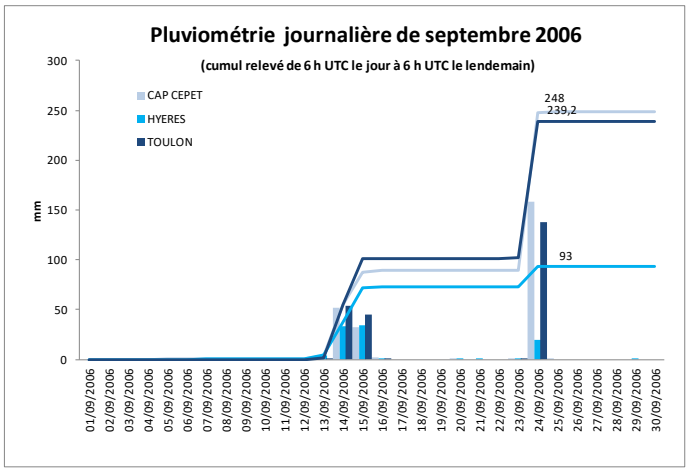
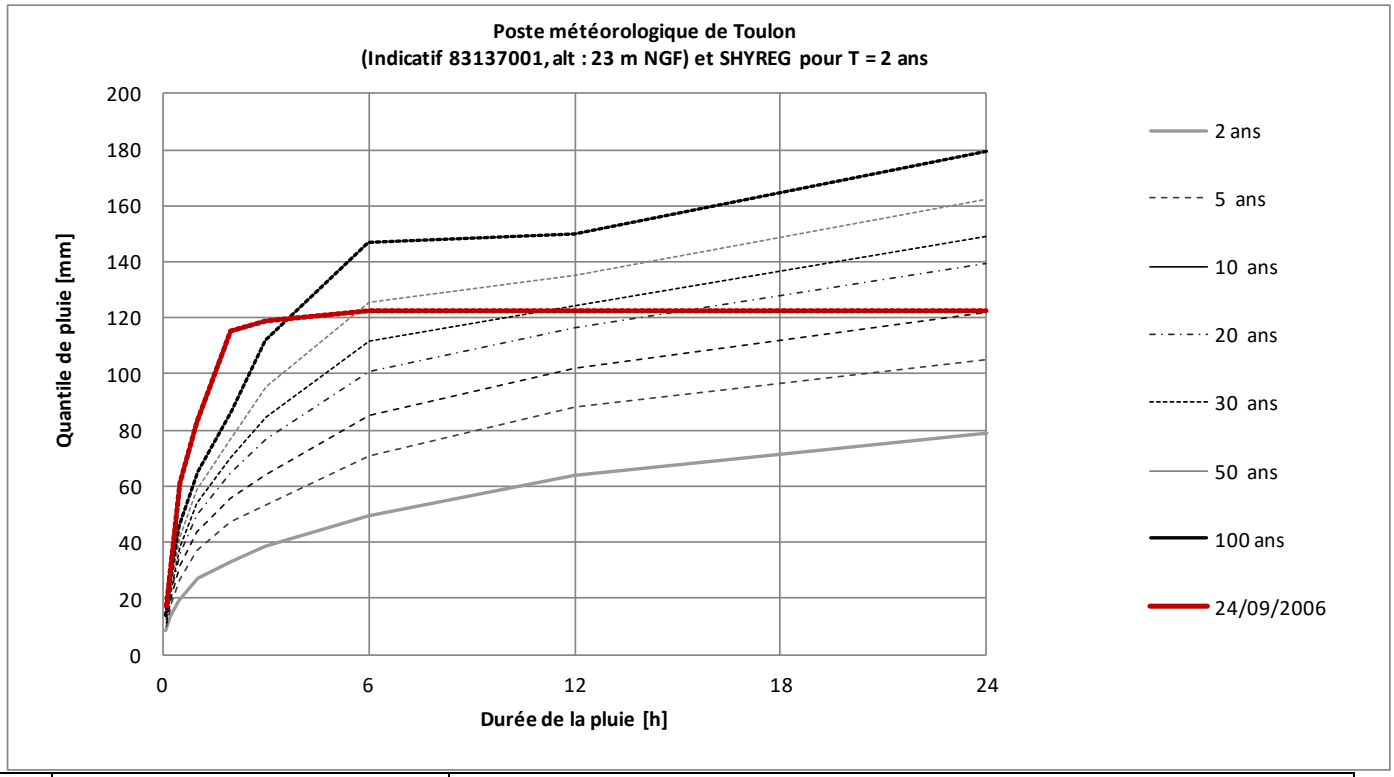


Figure 82. Evolution de la pluviométrique journalière

La pluviométrie de l'événement acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, montre bien que la pluie de septembre 2006 est une pluie courte et très intense. L'événement très intense dure environ 2 heures. La station météorologique de Toulon a relevé 137,5 mm en 24 heures dont : 83,2 mm en 1 h, 61,4 mm en 30 min, 40,8 mm en 15 min, et 3 pointes de 14,4 mm, 16,6 et 17 en 6 min. Les cumuls de 3 h à 6 min sont plus que centennale.



	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	**24h**	**24h**	**12h**	**6h**	**3h**	**2h**	**1h**	**30 min**	**6 min**
Cumul [mm]	137,6	137,6	137,6	137,4	-	122,8	122,6	118,8	115,2	83,2	61,4	17

Temps de retour	<< 2 ans	<< 2 ans	5 <T< 10 ans	10 <T< 20 ans	-	20 <T< 30 ans	30 <T< 50 ans	>100 ans	>100 ans	>100 ans	>100 ans	>100 ans

* Données issue des calculs 6h-6h
** Calcul à partir des données de précipitations par pas de 6 minutes décomptées sur des fenêtres glissantes (Attention : pas toujours 24 heures de données récupérées).

Figure 83. Caractéristiques de l'événement du 4 au 11 novembre 2011 au poste de Toulon La Mitre

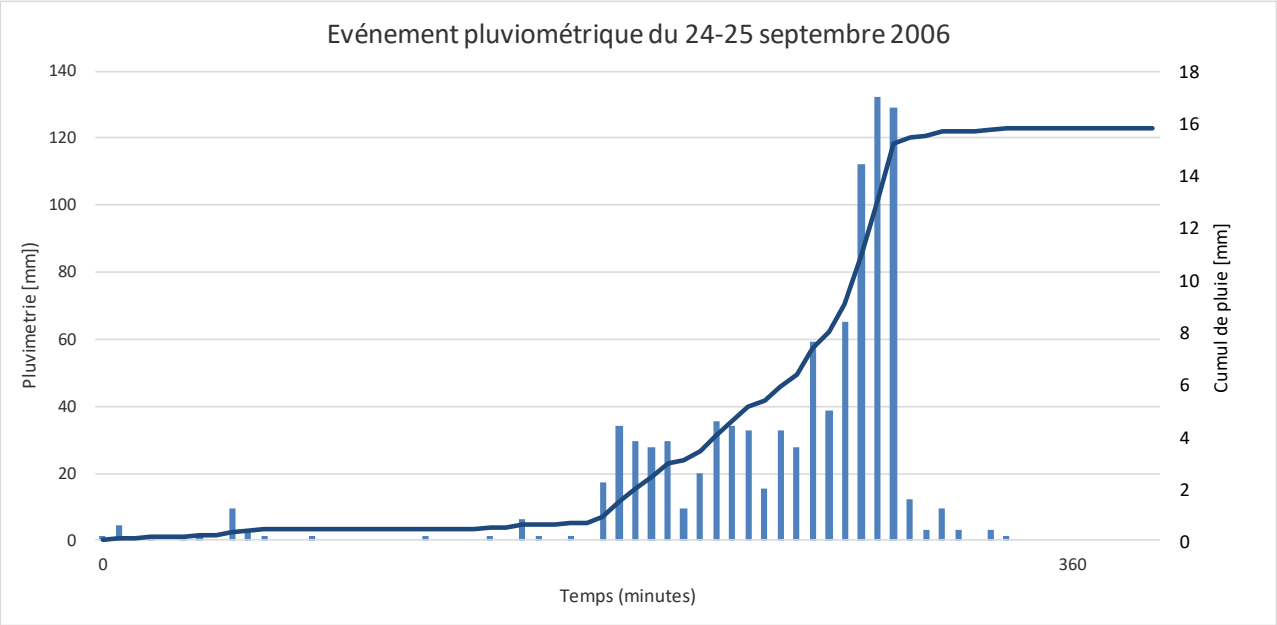


Figure 84. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 6 min à la station de Toulon la Mitre

5.3.4.3 Contexte pluviométrique et Condition antécédentes d'humidité

Le mois d'aout a été chaud (cumul mensuel de pluie quasi nul). Le mois de septembre 2006 est largement excédentaire avec un rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour station de Toulon de 3.9.

Les antécédents pluviométriques à Toulon (cumuls des pluies journalières 6h-6h) pour les 5 et 15 jours précédents le maximum journalier de l'événement de pluies (24/09) sont de 0.2 et 82 mm (3 jours de pluie le 13 au 15 septembre). Les conditions antécédentes d'humidité ne sont pas défavorables du fait de la période de 8 jours sans pluies significatives avant l'épisode extrême du 24/06/2006.

5.3.5 Evénements du 7 puis 11 octobre 2014 (type 3-a)

Même type que précédemment mais avec des conditions antécédentes défavorables

5.3.5.1 Type de crue

Les pluies deux événements pluvieux du 7 puis 11 octobre 2014 ont produit des inondations de la Plaine de la Garde dès le 7 octobre d'après les témoignages. Les cours d'eau ont par endroit débordé dans les champs comme La Planquette et l'Argoutier. L'Eygoutier était en limite de débordement. L'arrêté portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle est restreint à 2 communes (La Garde et Carqueiranne, en CATNAT).

Il n'y a pas eu de crues significatives sur les cours d'eau limitrophes.



Champ entre le chemin de la Foux et le chemin des Astourets le 7 octobre 2014 (https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3348-inondations-du-07-et-11-octobre-2014-%C3%A0-la-garde/?tab=comments#comment-2435187)



Pont chemin de la foux le 11 octobre 2014 (https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3348-inondations-du-07-et-11-octobre-2014-%C3%A0-la-garde/?tab=comments#comment-2435187)

5.3.5.2 Type de Pluie

L'épisode pluvio-orageux d'octobre 2014 n'est répertorié comme mémorable sur le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine" que pour les départements de l'Herault (6 octobre) et du Gard (9 et 10 octobre 2014). Sur le Var, seule la pluie du 6 octobre est répertoriée dans les pluies les plus importantes de l'année avec un maximum journalier de 86 mm à la station de St-Mandrier-sur-Mer-Cap Cépet.

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 6 OCTOBRE 2014 à 6 h UTC au 7 OCTOBRE à 6 h UTC

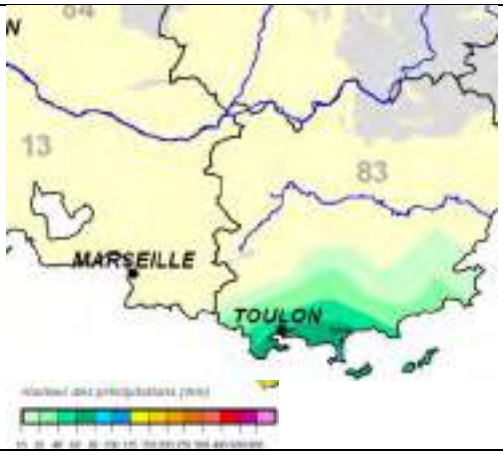
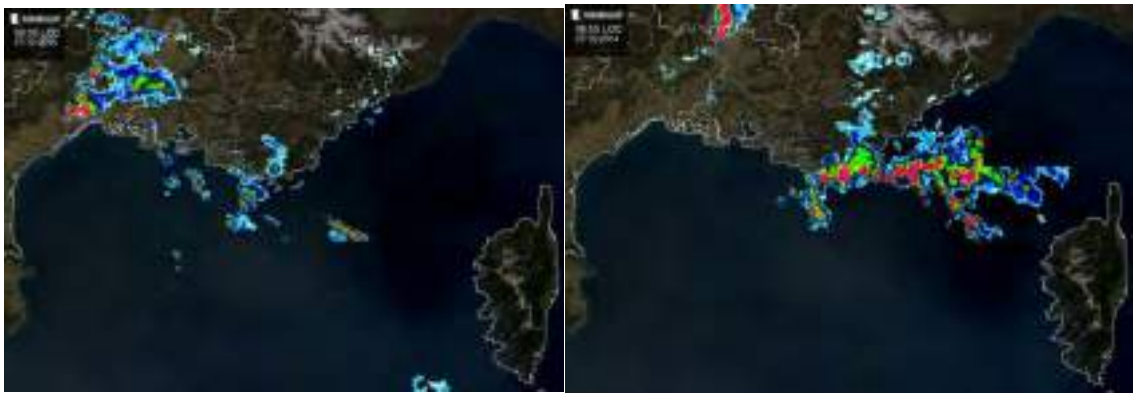


Figure 85. Cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)

La côte varoise a cependant et touchée dans un moindre mesure par ces deux épisodes d'averses orageuses localement intenses.

- 1er Episode pluvio-orageux dans la nuit du 6 au 7 octobre 2014. Comme en témoigne le radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat, l'épisode de la nuit du 6 au 7 octobre est nettement localisé et sur un périmètre limité au large de la rade de Toulon dans un premier temps puis se développe vers l'Est. Le littoral s'étendant de Toulon à St Tropez est soumis à de fortes précipitations, localement orageuses. En l'espace d'une heure, il est tombé 28.7mm au Cap Cépet (83) et 10.8mm à Cuers (83).



22:00 le 06/10/2014 06:55 le 07/10/2014

Figure 86. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-295-episode-pluvio-orageux.html)

- Nouvel épisode pluvio-orageux intense du 11 octobre après une accalmie de 3 jours sur le Var . Comme en témoigne le radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat, une ligne orageuse a progressé vers l'Est, ligne qui a traversé dans la nuit le département des Bouches-du-Rhône.



00:45 le 11/10/2014 09 :15 le 11/10/2014

Figure 87. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-295-episode-pluvio-orageux.html)

Sur le bassin versant de l'Eygoutier, les cumuls ne sont pas exceptionnels.

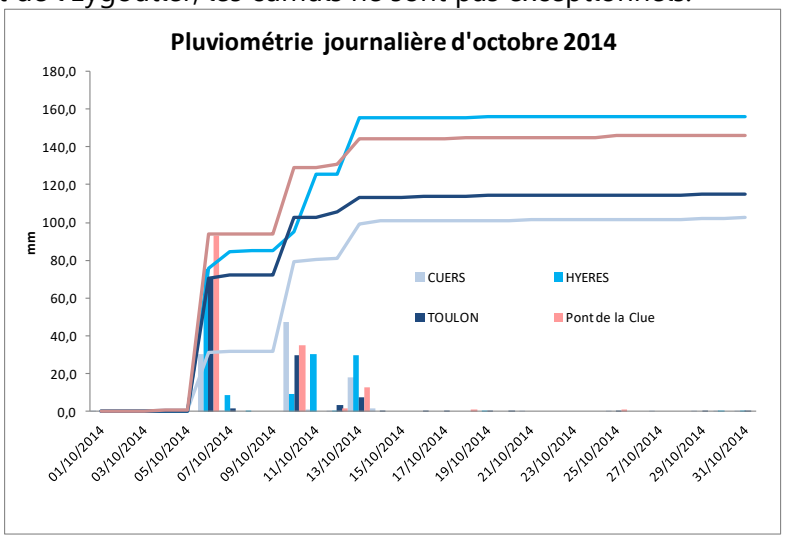


Figure 88. Evolution de la pluviométrique journalière

La pluviométrie des deux événements (nuit du 6 au 7 octobre et 11 octobre) a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018).

- L'événement de la nuit du 6 au 7 octobre est relativement long et peu intense. Il s'est produit sur environ 10h (cumul de 70.8 mm). L'épisode intense est sur 6 heures avec 58.2 mm, soit une période de retour entre 2 et 5 ans.

Caractéristiques de l'événement du 7 octobre 2014 au poste de Toulon La Mitre

	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	24h	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30 min	6 min
Cumul [mm]	112,8	72,2	72,2	70,2	70,8	70,8	58,2	43	34,1	27	22	6,2
Temps de retour	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans

- L'événement de la nuit du 11 octobre est plus intense et court (moins de deux heures) avec des intensités remarquables sur les pas de temps 30 et 6 min.

Caractéristiques de l'événement du 11 octobre 2014 au poste de Toulon La Mitre

	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	24h	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30 min	6 min
Cumul [mm]	112,8	72,2	72,2	30,1	39,4	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	29,1	12,5
Temps de retour	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	2 <T< 5 ans	5 <T< 10 ans	20 <T< 30 ans

* Données issue des calculs 6h-6h

** Calcul à partir des données de précipitations par pas de 6 minutes décomptées sur des fenêtres glissantes (Attention : pas toujours 24 heures de données récupérées).

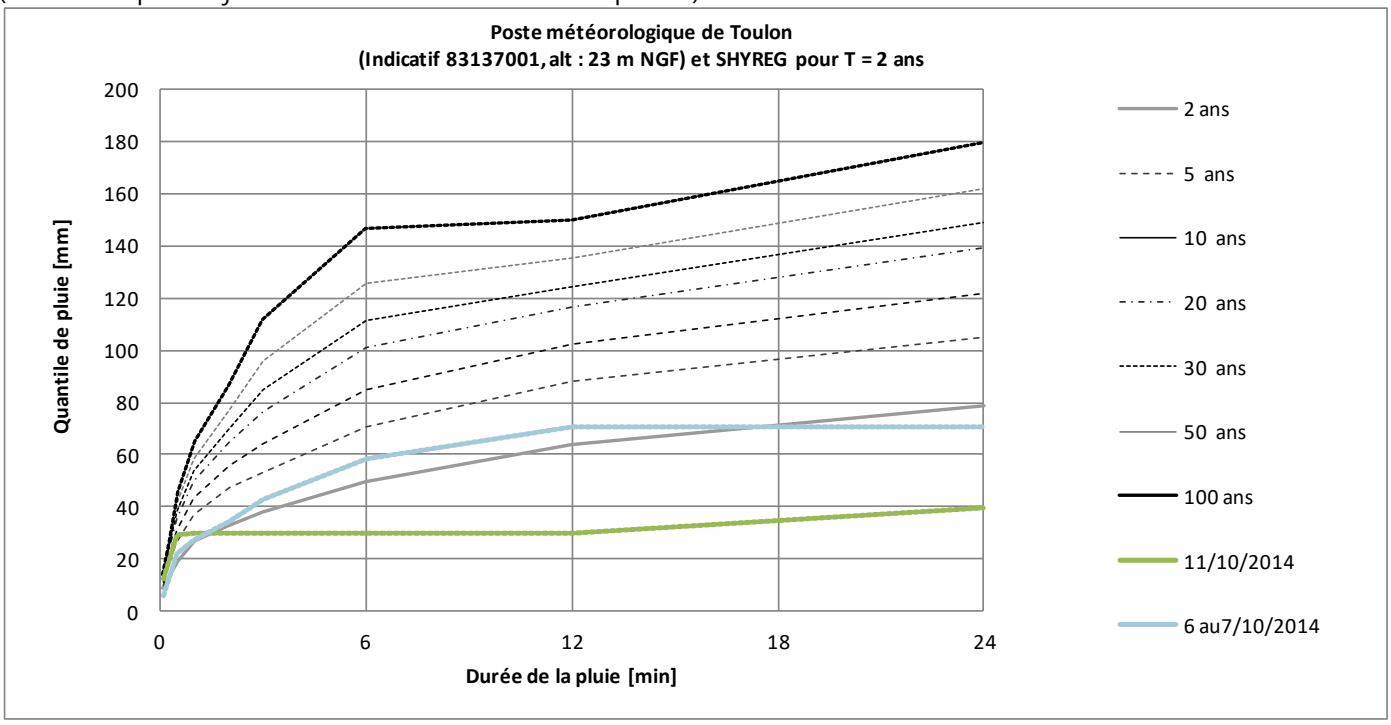


Figure 89. Caractéristiques de l'événement du 7 et 11 octobre 2014 au poste de Toulon La Mitre

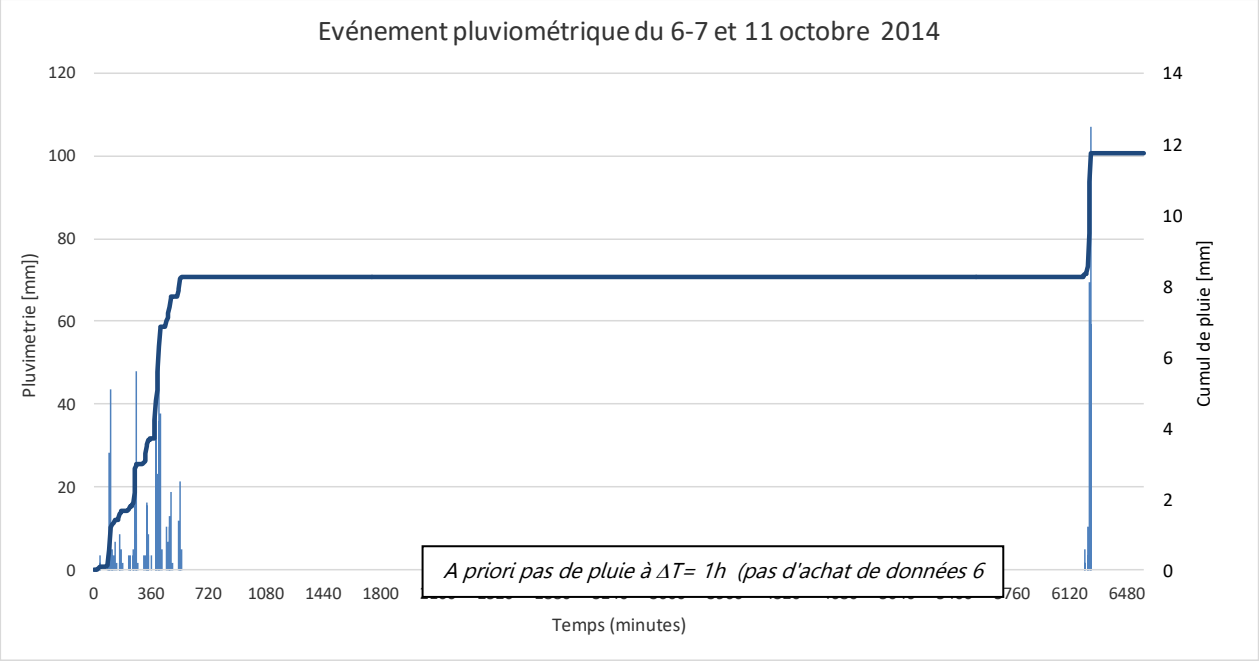


Figure 90. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 6 min à la station de Toulon la Mitre

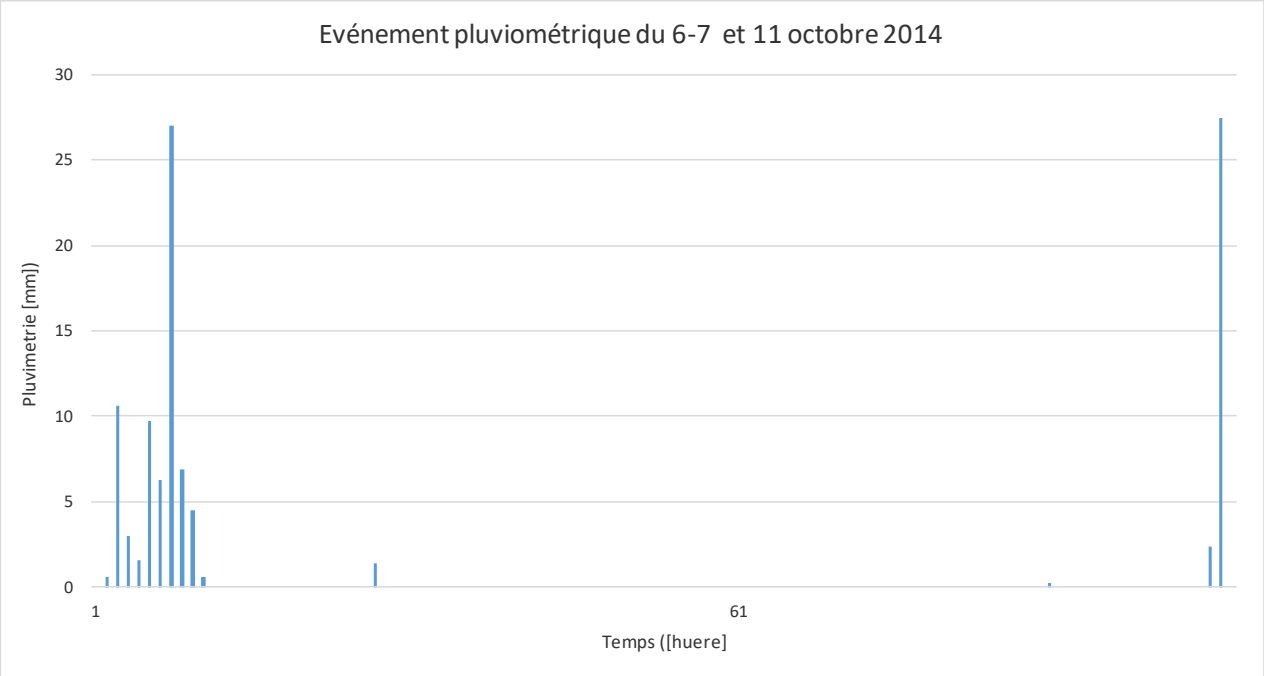


Figure 91. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 1h à la station de Toulon la Mitre

5.3.5.3 Contexte pluviométrique et Condition antécédentes d'humidité

Les cumuls du mois de septembre ont été relativement importants sur la côte varoise (rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour station de Toulon de 1.6). Les cumuls sur le mois d'Octobre sont proches de la normale (rapport de 1.2). L'indice d'humidité des sols au début du mois d'octobre est par ailleurs important (entre 0.9 et 1) au niveau de Toulon. Le niveau des nappes en septembre est stable et au-dessus de la normale.

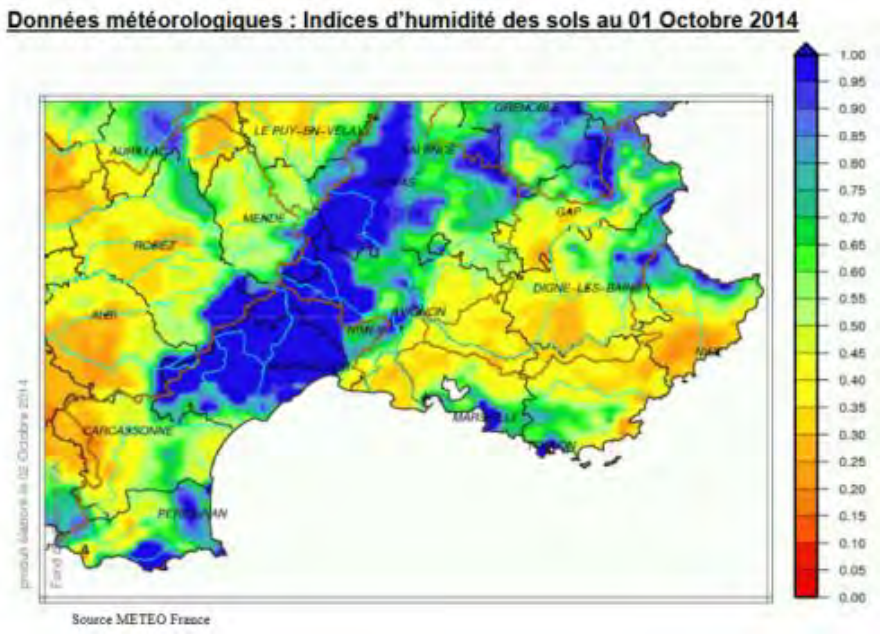


Figure 92. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)

Les conditions pluviométriques antécédentes sont défavorables à très défavorables avec des antécédents pluviométriques à Toulon (cumuls des pluies journalières 6h-6h) pour les 5 et 15 jours précédents le maximum journalier :

- de 0.2 et 51.8 mm pour l'événement de pluies de la nuit du 6 au 7 octobre ;
- 72.2 et 116.8 mm pour l'événement de la nuit du 10 au 11 octobre.

5.3.6 Evénement du 19 septembre 2014 (type 3-b)

5.3.6.1 Type de crue

La pluie courte et intense du 19 septembre 2014 a produit des inondations de la Plaine de la Garde et le débordement des cours d'eau d'après les témoignages ainsi que des dégâts (arrêté portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur 5 communes : La Garde, Toulon, La Valette du Var, Le Pradet et la Crau en CATNAT).

Il n'y a pas eu de crues significatives sur les 2 cours d'eau au Nord et Nord-Est mais uniquement sur la Reppe à l'Est avec une crue entre 2 et 5 ans de période de retour (le 19/09/2014).



La Planquette **le 19 septembre 2014 (https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3622-orage-supercellulaire-sur-la-garde83/?tab=comments#comment-2422523)**



Avenue de France à côté du chemin de Rabasson le 19 septembre 2014 (https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3622-orage-supercellulaire-sur-la-garde83/?tab=comments#comment-2422523)



L'Eygoutier le 19 septembre 2014 (https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3622-orage-supercellulaire-sur-la-garde83/?tab=comments#comment-2422523)

5.3.6.2 Type de Pluie

L'épisode pluvio-orageux de septembre 2014 est répertorié comme mémorable pour les Cévennes et le Var sur le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine"(http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Fortes-pluies-sur-les-Cevennes.html). Un flux de sud-est se met en place le 16 septembre 2014 dans les basses couches de l'atmosphère. Particulièrement chaud, il se charge d'humidité lors de son passage sur la Méditerranée. Dans un contexte instable avec de l'air froid en altitude, ce flux engendre la formation de cellules orageuses intenses. Le caractère exceptionnel de cet épisode réside à la fois dans sa durée et les valeurs enregistrées.

Sur le Var, le 19 septembre, un épisode orageux très violent a traversé une partie du département du Var entre Toulon et Cavalaire-sur-Mer accompagné de pluie intense, de grêle et de fortes rafales de vent provoquant inondation et la mort d'une personne. On mesure 41 mm en 1 h à Toulon avec des rafales de 113 km/h, 35 mm en 1h à Cuers. Cette période s'inscrit dans un automne qui fut exceptionnellement pluvieux sur le quart sud-est de la France.

La côte varoise a donc été touchée par cet épisode d'averses orageuses localement intenses. Les images radar de précipitations du Bulletin spécial N°293 du site infoclimat, montre la ligne d'orage qui déplace vers Toulon d'Ouest en Est. Une rafale de 128 km/h au Cap Cepet a été enregistrée.



11:30 le 19/09/2014 12:45 le 19/09/2014

Figure 93. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-293-archive.html#24)

Sur le bassin versant de l'Eygoutier, les cumuls journaliers ne sont pas exceptionnels.

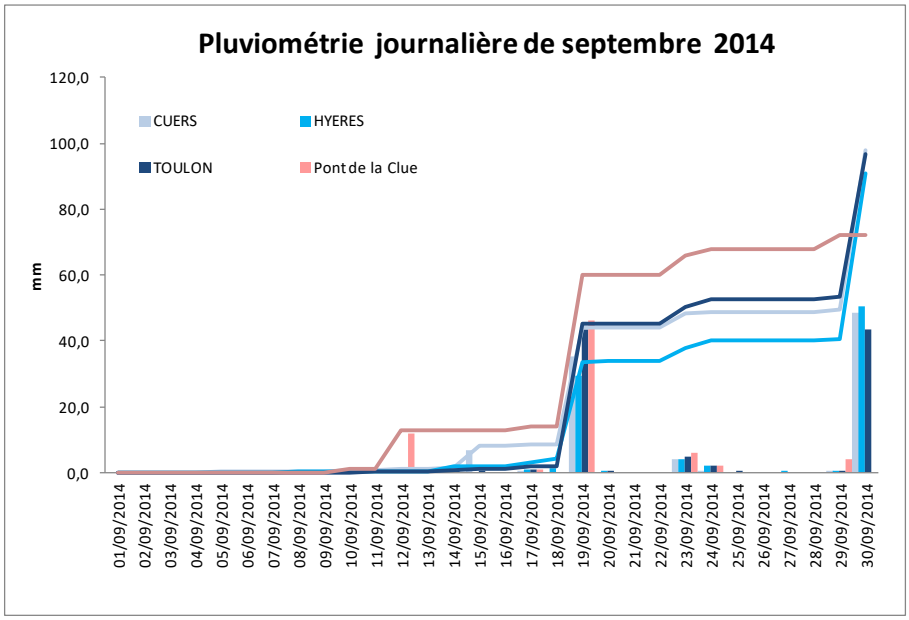
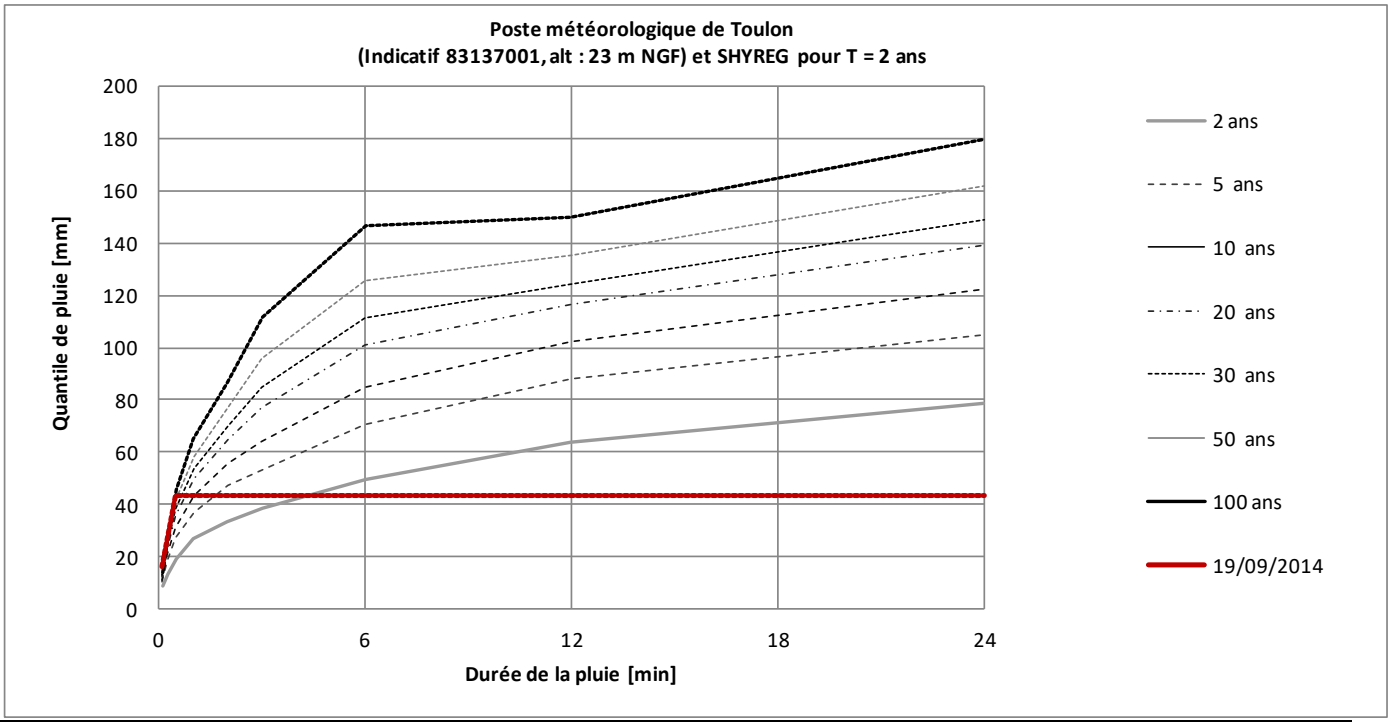


Figure 94. Evolution de la pluviométrique journalière

La pluviométrie acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018) montre que l'événement s'est produit sur une très courte durée (1 heure) avec des intensités extrêmes (>50 ans) sur les pas de temps 30 et 6 min.



	Cumul sur les pas de temps 24h-192 h (station de Toulon)*				Cumul sur les pas de temps 6 min à 24h (station de Toulon)**							
Pas de temps	192 h	96 h	48h	24h	24h	12h	6h	3h	2h	1h	30 min	6 min
Cumul [mm]	45,1	44,3	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3	43,3	42,3	16
Temps de retour	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	<< 2 ans	~ 2 ans	2 <T< 5 ans	2 <T< 5 ans	5 <T< 10 ans	50 <T< 100 ans	>100 ans

* Données issue des calculs 6h-6h
** Calcul à partir des données de précipitations par pas de 6 minutes décomptées sur des fenêtres glissantes (Attention : pas toujours 24 heures de données récupérées).

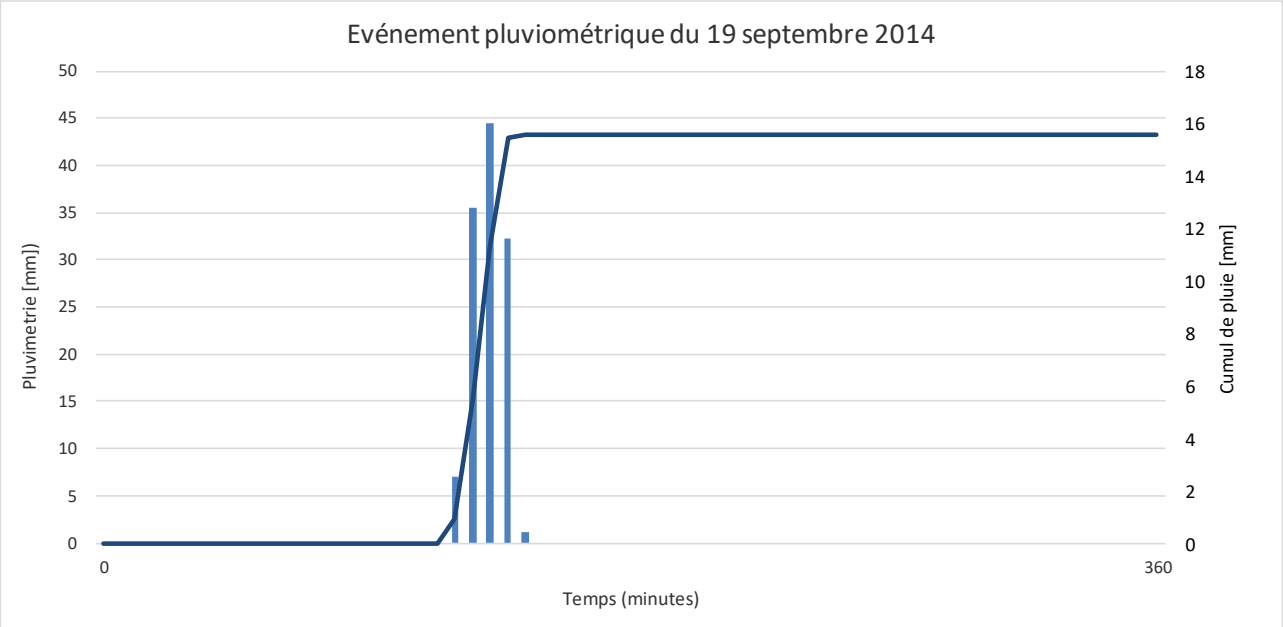


Figure 95. Caractéristiques de l'événement du 19 septembre 2014 au poste de Toulon La Mitre

5.3.6.3 Contexte pluviométrique et Condition antécédentes d'humidité

Le mois d'août a été relativement sec (rapport à la normale [1950 -2013] des cumuls mensuels pour station de Toulon de 0.5). Les cumuls sur le mois de septembre sont plus importants que la normale (rapport de 1.6). L'indice d'humidité des sols au début du moi de septembre qui tend vers 0 dans le sud du Var, montre que le sol est en état de stress hydrique. Le niveau des nappes est en baisse mais reste au-dessus de la normale.

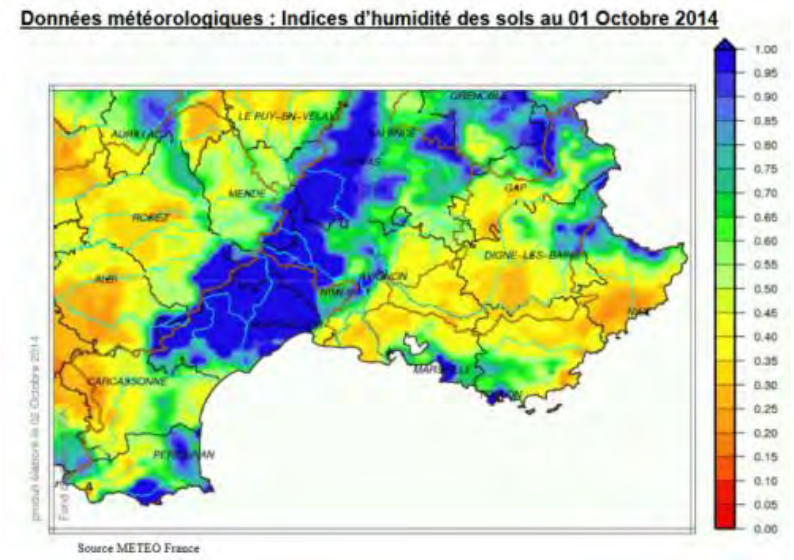


Figure 96. Indices d'humidité des sols (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydrologique-r392.html)

Les conditions pluviométriques antécédentes ne sont pas défavorables avec des antécédents pluviométriques à Toulon (cumuls des pluies journalières 6h-6h) pour les 5 et 15 jours précédents le maximum journalier (19/09) de 1.6 et 1.8 mm.

PARTIE 3 : CONSTRUCTION DES SCENARIO(S) DE REFERENCE(S)

6 CONSTRUCTION DES PLUIE(S) DE REFERENCE(S)

Une pluie se définit par sa période de retour et sa durée, mais aussi sa forme et son intensité maximale : Il existe une infinité de pluies de projet.

6.1 QUELLES STATISTIQUES DES PLUIES ?

Les quantiles de précipitation pour différentes durées et période de retour ont été récupérés aux deux stations de Toulon et d'Hyères, et au point de grille SHYREG (voir partie 1) :

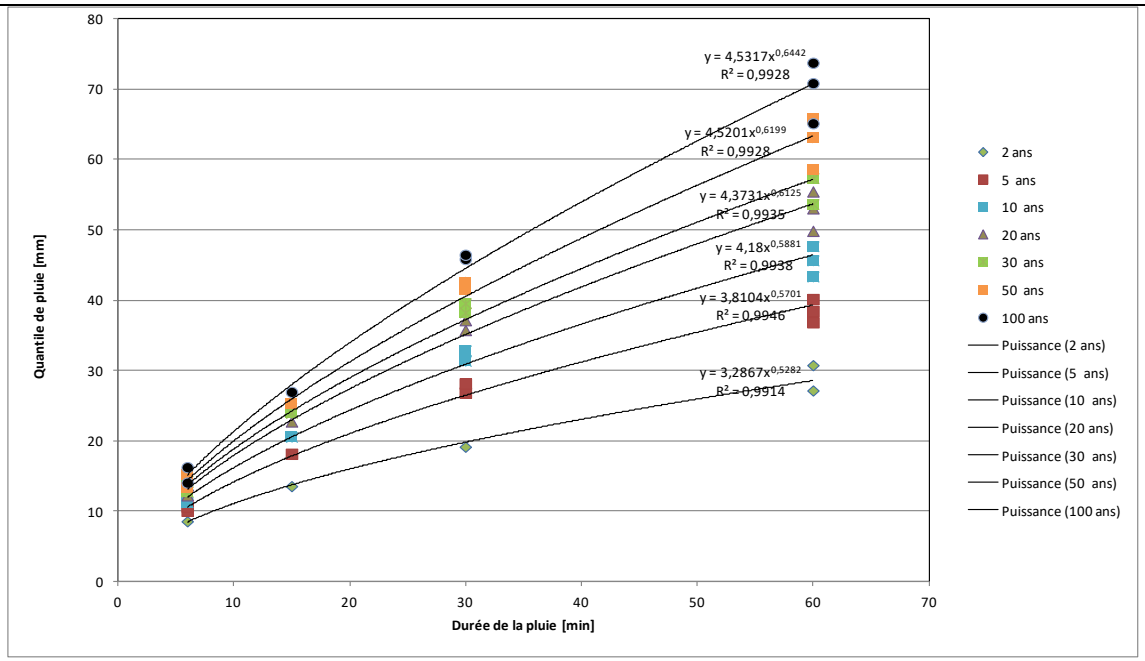
- **Station de Toulon-La Mitre** (Indicatif : 83137001) : Les quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon (Indicatif : 83137001) ont été mis à jour auprès de Météo-France dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, réalisée au premier semestre 2016 par INGEROP (statistiques sur la période 1971-2012). La méthode utilisée est la méthode du renouvellement utilisée par Météo France jusqu'en 2012.
- **Station de Hyères** - Ban le Palyvestre (Indicatif : 83069001). Les données pluviométriques ont été mise à jour auprès de Météo France en 2018 au poste d'Hyères pour la présente étude par HYDRETUDES. La méthode d'ajustement utilisée est la loi Locale-Régionale GEV qui prévale depuis 2012 à Météo France. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV pour les pas de temps 6mn, 30mn, 1 h, 6h et contient 56 valeurs maximales annuelles pour la période 1982–2016 et provient également de la station 83031001 (LE_LUC) située sur un rayon de 37.6 km. L'échantillon pour l'épisode 24H contient 202 valeurs maximales annuelles sur la période 1977–2014 et provient également des 8 stations alentours : CAP_CEPET), CUERS–POUVEREL, TOULON, COLLOBRIERES, COGOLIN, LE_LUC, MONTFORT–SUR–ARGENS, ST_MAXIMIN–OLLI, situées sur un rayon de 49.2 km.
- **Point de grille SHYREG** - Le point de grille kilométrique (1 km²) est centré sur le Mont Coudon au nord de Toulon (alt. entre 600-700 m). Les quantiles de précipitations SHYREG pour les périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, et 100 ans) et les durées (1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h) ont été acquises auprès de Météo France en 2018 par HYDRETUDES. La période couverte est 1980-1999.

Proposition :

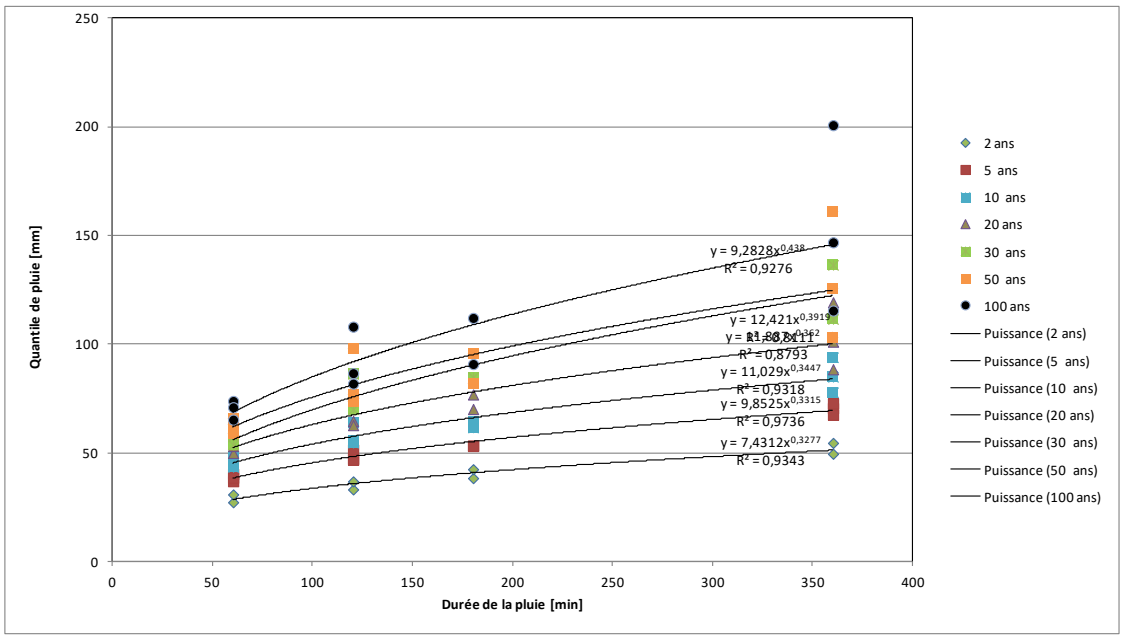
HYDRETUDES propose de construire des courbes IDF représentative des pluies du bassin versant à partir :

- des jeux de données (quantiles de précipitation, durées, période de retour) des 3 stations (Toulon, Hyères, SHYREG).
- De deux points pivot à : 1h et 6h
- Des estimations des coefficients de Montana (a,b) – Formule des hauteurs - 2 intervalles de durées de pluies D

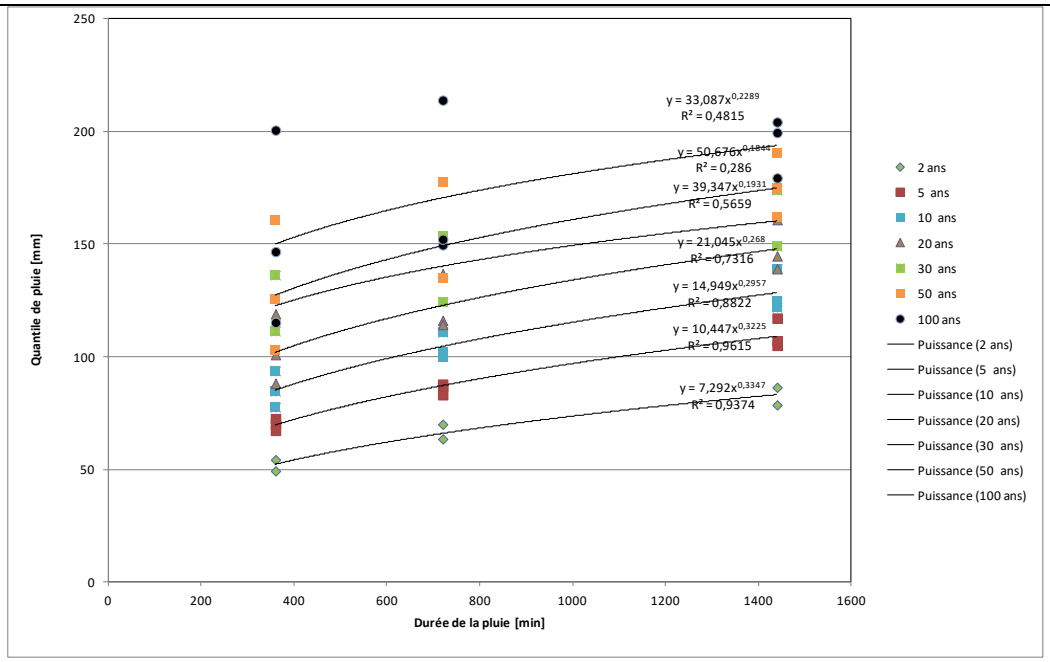
Les ajustements sont reportés ci-dessous. Ils sont moins bons pour T>30 ans.


Quantile de pluie [mm]
Durée de la pluie [min]
y = 4,5317x^0,6442
R² = 0,9928
y = 4,5201x^0,6199
R² = 0,9928
y = 4,3731x^0,6125
R² = 0,9935
y = 4,18x^0,5881
R² = 0,9938
y = 3,8104x^0,5701
R² = 0,9946
y = 3,2867x^0,5282
R² = 0,9914
2 ans
5 ans
10 ans
20 ans
30 ans
50 ans
100 ans
Puissance (2 ans)
Puissance (5 ans)
Puissance (10 ans)
Puissance (20 ans)
Puissance (30 ans)
Puissance (50 ans)
Puissance (100 ans)

D<=1h


Quantile de pluie [mm]
Durée de la pluie [min]
y = 9,2828x^0,438
R² = 0,9276
y = 12,421x^0,3919
y = 11,029x^0,3447
R² = 0,9318
y = 9,8525x^0,3315
R² = 0,9736
y = 7,4312x^0,3277
R² = 0,9343
2 ans
5 ans
10 ans
20 ans
30 ans
50 ans
100 ans
Puissance (2 ans)
Puissance (5 ans)
Puissance (10 ans)
Puissance (20 ans)
Puissance (30 ans)
Puissance (50 ans)
Puissance (100 ans)

1h<D<= 6h



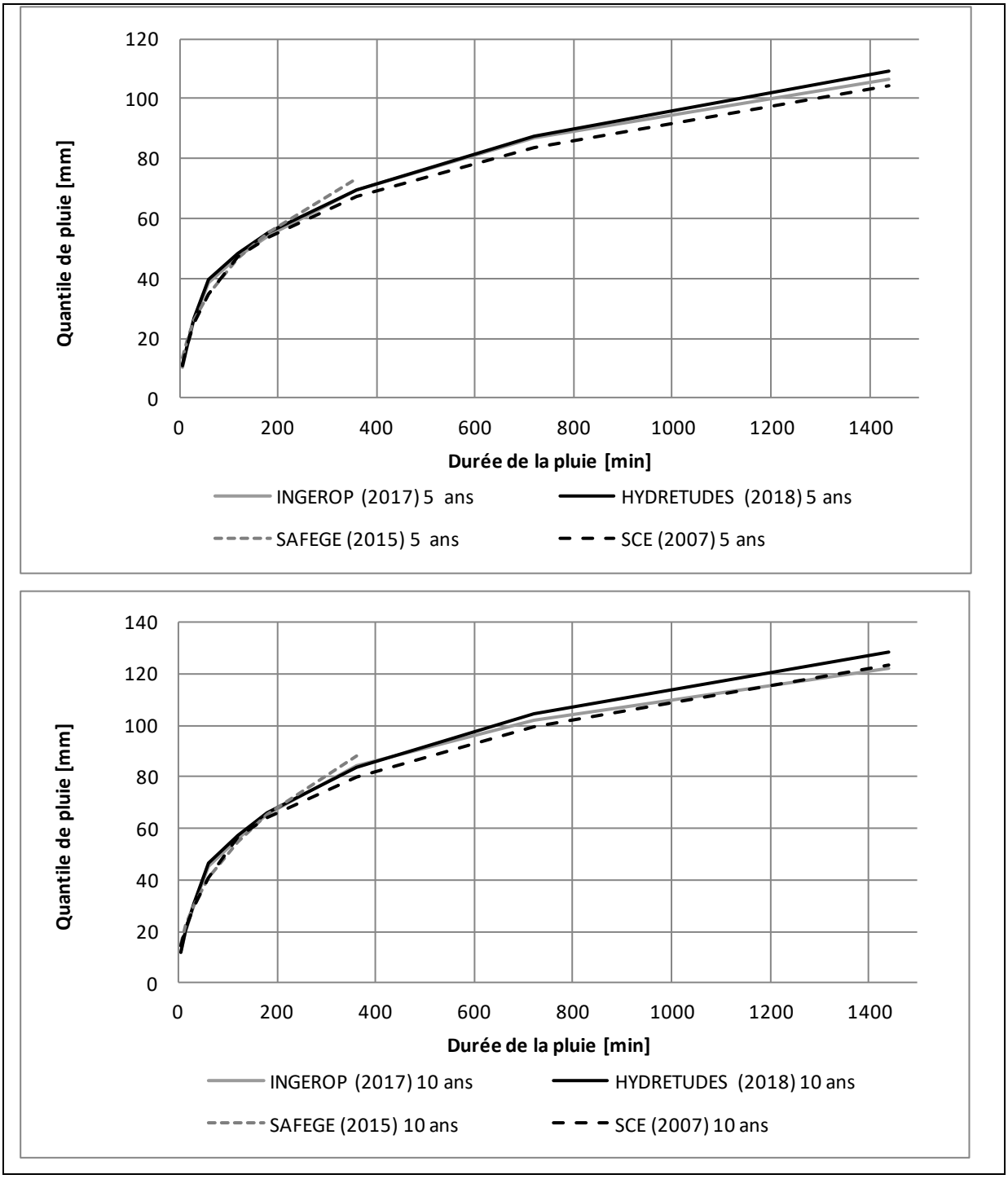
D> 6h

Figure 97. Ajustement des quantiles de précipitation à partir des données des 3 stations (Toulon, Hyères, SHYREG).

Les courbes IDF obtenues permettent de générer des quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour.

La comparaison des quantiles proposés avec ceux des études antérieures montre une bonne concordance des estimations pour les faibles temps de retour. Pour le temps de retour 100 ans, les différences sont plus importantes. Les estimations sont très proches de celles d'Ingerop (2017) en étant supérieures (exceptés pour le pas de temps 6h). Les quantiles proposés sont plus importants que ceux utilisés dans l'étude SCE de 2007 sauf pour les faibles pas de temps (<1 h).

	HYDRETUDES (2018)	INGEROP (2017)	SAFEGE (2015)	SCE (2007)
Durée (min)	100 ans	100 ans	100 ans	100 ans
6	15	14	18	26
15	28	27	30	37
30	44	43	43	49
60	71	68	61	64
120	92	89	88	85
180	109	108	108	97
360	146	149	155	120
720	170	158	-	149
1440	193	175	-	184


120
100
80
60
40
20
0
Quantile de pluie [mm]
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Durée de la pluie [min]
INGEROP (2017) 5 ans
HYDRETUDES (2018) 5 ans
SAFEGE (2015) 5 ans
SCE (2007) 5 ans
140
120
100
80
60
40
20
0
Quantile de pluie [mm]
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Durée de la pluie [min]
INGEROP (2017) 10 ans
HYDRETUDES (2018) 10 ans
SAFEGE (2015) 10 ans
SCE (2007) 10 ans

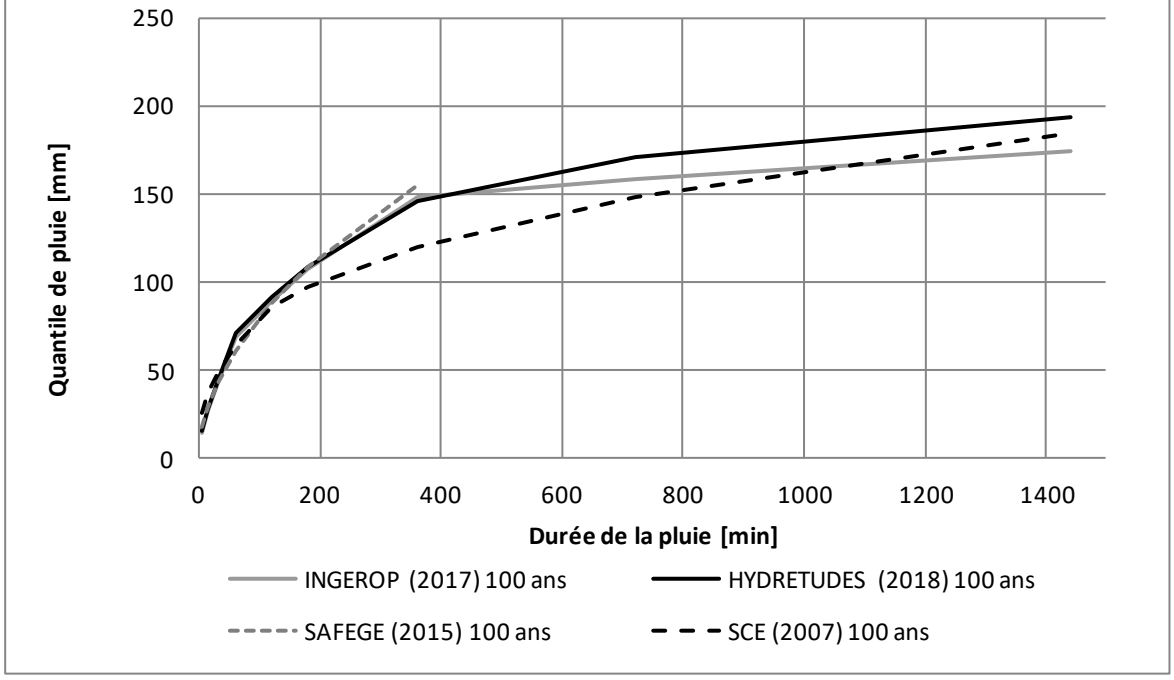


Figure 98. Comparaison avec les courbes IDF des études antérieures pour différents temps de retour

6.2 QUELLES FORMES/DUREES DE PLUIE ?

La génération des hyétogrammes de projet consiste à décomposer temporellement les données de lame d'eau estimées à partir des IDF identifiées précédemment pour une durée critique et un temps de retour. Ceci implique le choix de la durée et de la forme des pluies de projet.

L'étude des événements marquants "inondation" sur le bassin versant de l'Eygoutier a fait ressortir 3 grands types d'épisodes pluvieux ayant provoquées des dégâts ou des crues remarquables

- Type 1 : Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée MAIS pas d'intensité remarquable.
- Type 2 : Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours) ET des intensités remarquables.
- Type 3 : Episode orageux nettement localisés (type méditerranéen) caractérisé par des intensités records sur des pas de temps très courts.

HYDRETUDES propose de construire des pluies de projet à partir des événements pluviométriques historiques. Des pluies de projet représentatives des 3 types de pluies remarquables du bassin versant sont ainsi construites.

Proposition : Pluie de Type 1

Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée MAIS pas d'intensité remarquable. L'événement du 3 au 9 octobre 2011 est de ce type. Cette pluie est a priori moins défavorable que les deux autres types.

Une pluie de projet de temps de retour 100 ans et de durée 48 heures (P_{tot}=230 mm) au pas de temps de 6 min a été établi dans la présente étude à partir des quantiles de précipitation

statistiques selon une pluie de forme triangle. A titre de comparaison, la pluie de projet 48h selon une pluie de forme bloc est également construites.

La figure suivante replace la pluie de projet sur les IDF proposées pour le bassin de l'Eygoutier. La pluie de projet triangle 48h est la mieux à même de reproduire un épisode de type 1 (long et peu intense). Les quantiles 24 h sont entre 50 et 100 ans de période de retour.

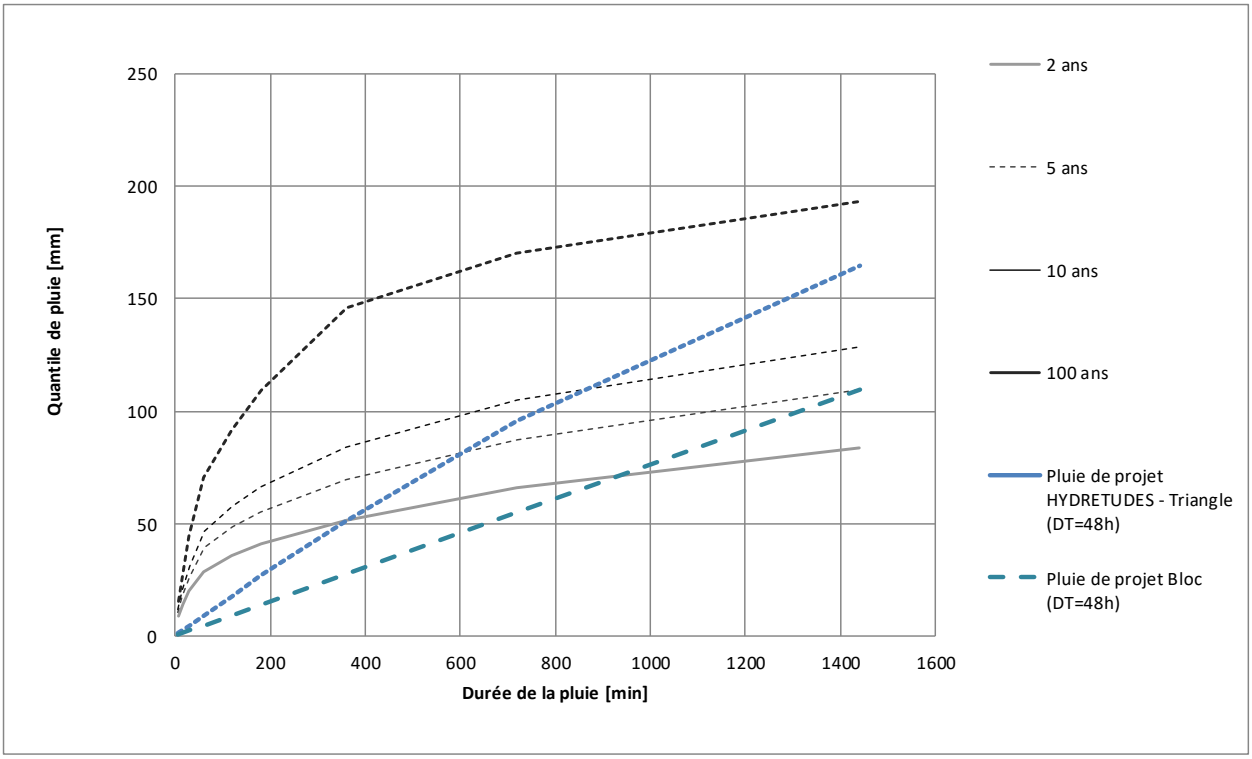


Figure 99. Caractéristiques statistiques des pluies de projets

Proposition : Pluie de Type 2

Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours) ET des intensités remarquables pour tous les pas de temps. **L'Evénement pluviométrique typique de ce type d'événement est l'événement de 1978.** Les cumuls adoptés sont une moyenne de ceux donnés par COYNE ET BELIER, 1979 et SCE 2007. La répartition des cumuls pour des faibles pas de temps n'est pas connue.

Une pluie de projet de temps de retour 100 ans et de durée 24 heures (P_{tot}=191.1 mm) au pas de temps de 6 min a été établi dans la présente étude à partir des quantiles de précipitation statistiques selon une pluie de forme triangle. A titre de comparaison, les pluies de projet 24h selon une pluie de forme bloc, double triangle (période intense de 6h ou 12h) ou selon la méthode de Kiefer dite aussi "composite" (dans ce cas la forme de la pluie de projet suit strictement l'évolution des quantiles issus de l'analyse statistique) ont également été construites.

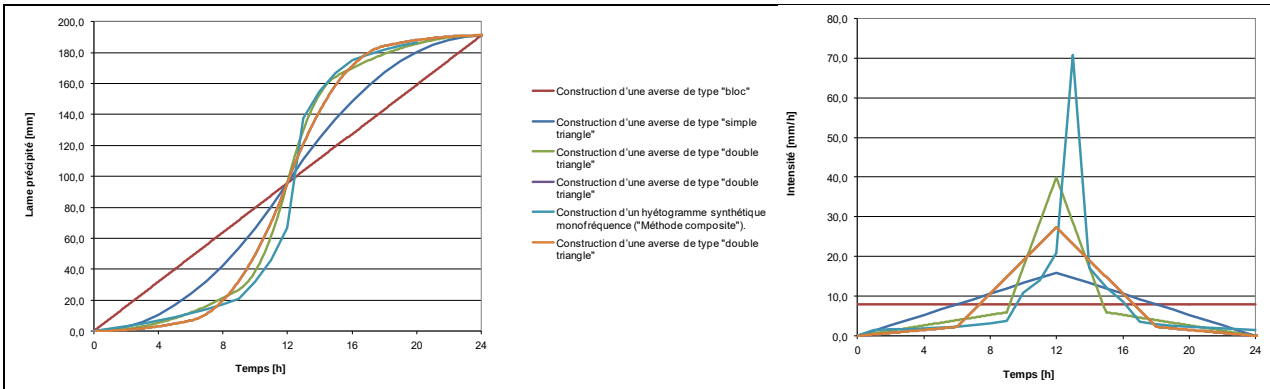
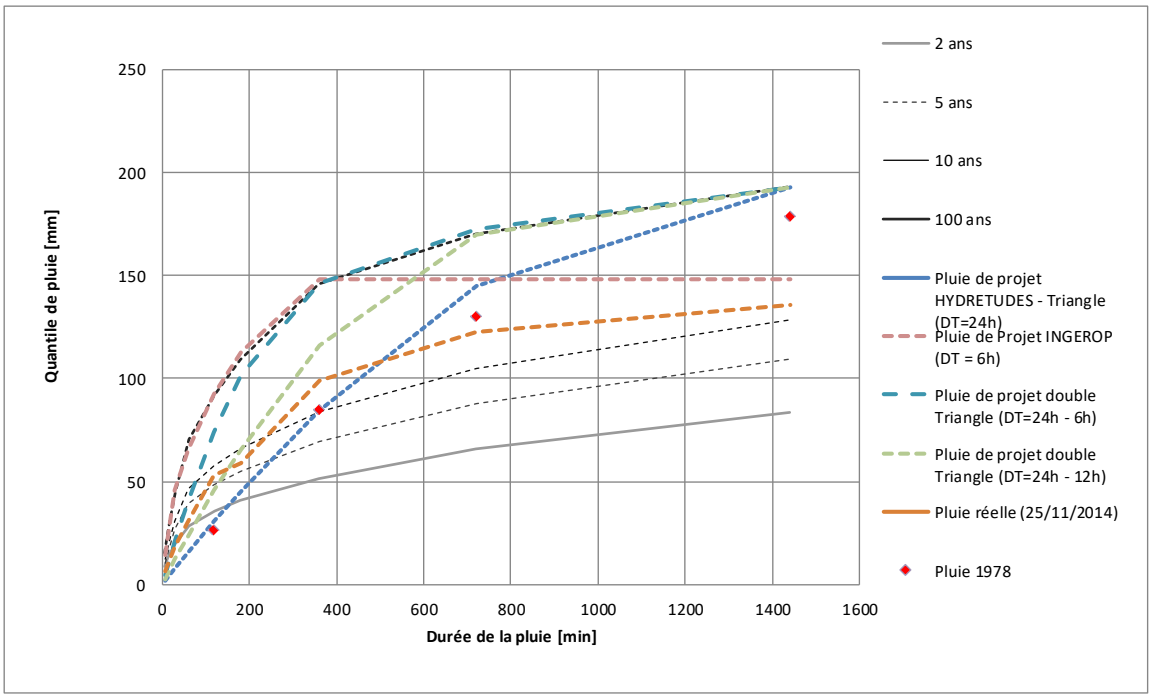


Figure 100. Caractéristiques des formes de pluies de projets 24h

La figure suivante replace l'ensemble de ces pluies de projet sur les IDF proposés pour le bassin de l'Eygoutier. La pluie de projet Ingerop (2017) sur la Planquette avec une durée de base prise de 6h est aussi représentée à titre de comparaison.



Durée (min)	Durée (en h)	Quantile 100 ans (mm)	Pluie de 1978 (moyenne)	Pluie de projet HYDRETUDES - Triangle (DT=24h)	Pluie de projet double Triangle (DT=24h - 6h)	Pluie de projet double Triangle (DT=24h - 12h)	Pluie de Projet INGEROP (2017) (DT=6h)
6	0,1	15		2	4	3	14
30	0,5	44		8	19	13	46
60	1	71		16	37	26	66
120	2	92	26	31	69	51	92
180	3	109		45	94	73	113
360	6	146	85	84	138	126	148
720	12	170	130	143	167	178	148

1440	24	193	179	191	191	191	148

Figure 101. Caractéristiques statistiques des pluies de projets et comparaison avec de l'événement de janvier 1978

Le gabarit proposé (pluie triangle de 24h) permet de s'approcher au mieux des statistiques de la pluie de 1978. Les autres formes de pluies présentent des cumuls trop importants pour les faibles pas de temps. Elles correspondent d'avantage à des pluies de type 3.

Dans les événements récents (avec des données à 6 min), même si les cumuls ne sont pas si exceptionnels, les pluies longues et relativement intenses des événements d'octobre 2008 et du 25 novembre 2014 sont typiques de ce type d'événement.

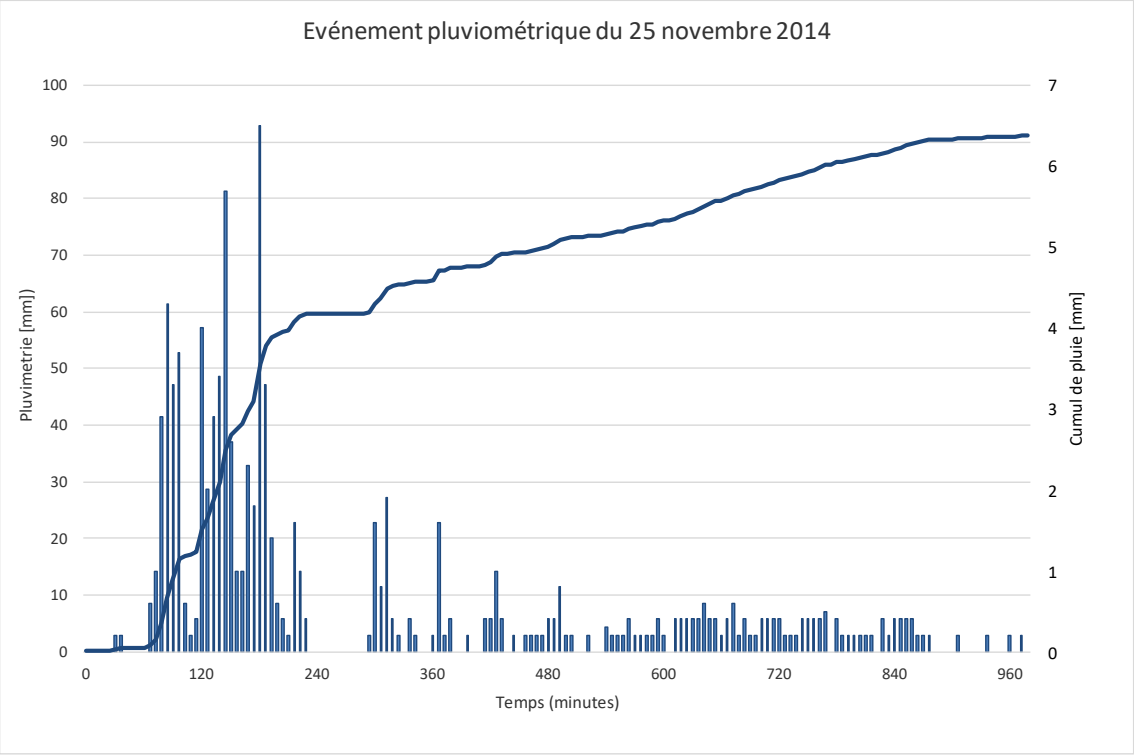


Figure 102. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement à Toulon la Mitre

Proposition : Pluie de Type 3

Episode orageux nettement localisés (type méditerranéen) caractérisé par des intensités record sur des pas de temps très courts. L'Evénement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006 (les pluies 6 min ont été récupérées) est l'événement de référence.

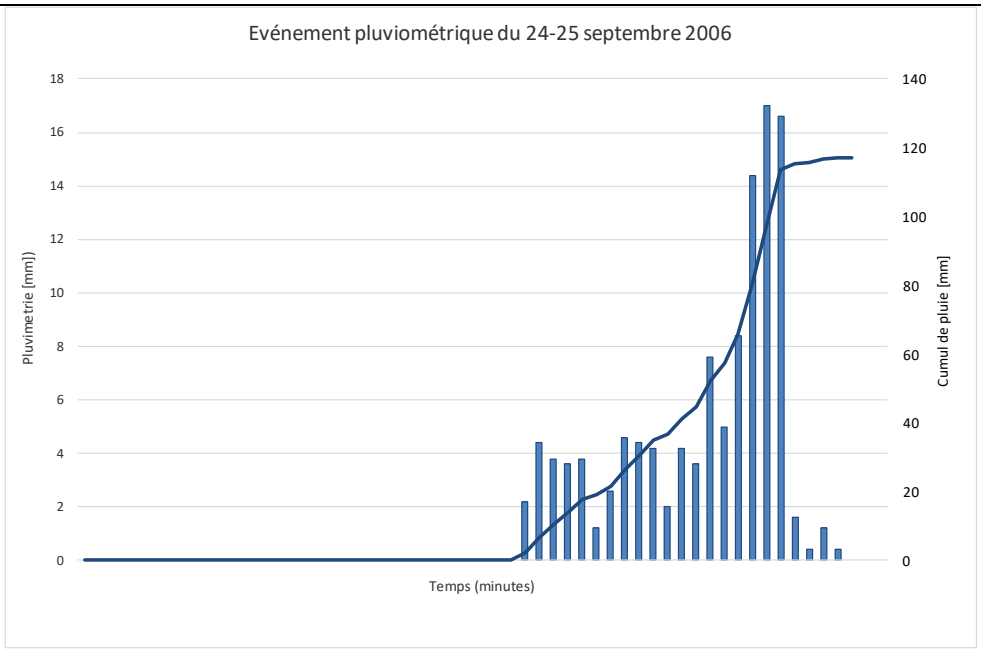


Figure 103. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement à Toulon la Mitre

Cet événement a été validé par la DDTM pour le Gapeau comme représentatif des pluies intenses méditerranéennes. Un gabarit a été établi à partir :

- des données de pluie de l'événement du 24-25 septembre enregistrées au Cap Cepet sur Saint-Mandrier par Météo-France au pas de temps de 6 min avec :

  - 102,2 mm en 1 h,

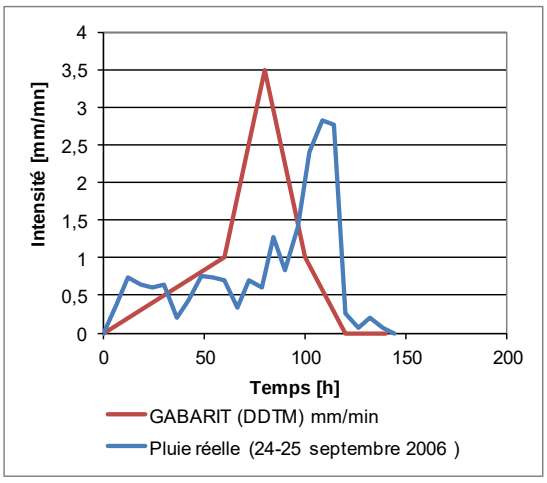
  - 66,2 mm en 30 min,

  - 38,4 mm en 15 min,

  - et 2 pointes de 14,4 et 17,6 mm en 6 min.

- d'une forme de pluie double-triangle (pointe au 2/3) jugé correspondre à la pluie réelle du 25 septembre 2006.

Les deux figures suivantes montrent une comparaison des intensités et des cumuls pour l'événement réel (enregistré à Toulon) et le gabarit acté par la DDTM pour le Gapeau (Cap Cepet comme station de référence).



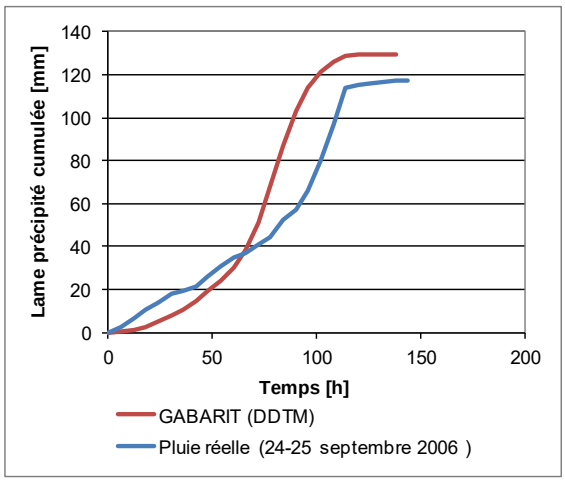
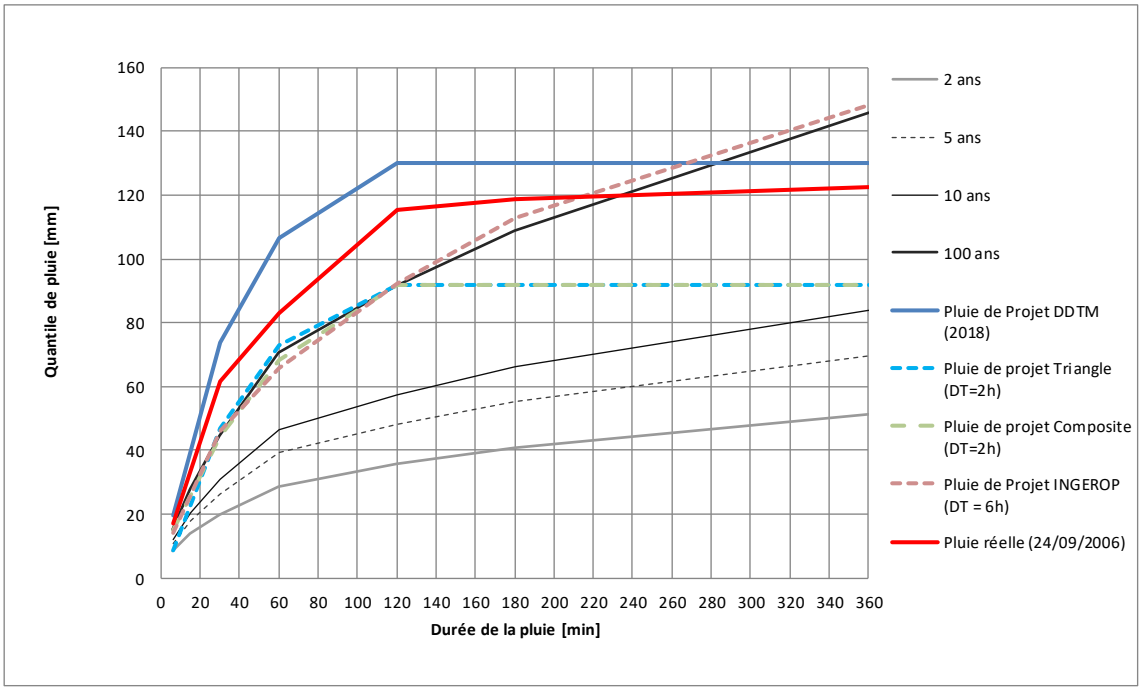


Figure 104. Comparaison des intensités et des cumuls pour l'événement réel (enregistré à Toulon) et le gabarit acté par la DDTM pour le Gapeau (Cap Cepet comme station de référence).

A titre de comparaison, les pluies de projet de temps de retour 100 ans et de durée 2 heures (P_{tot}=91. 9 mm) ont été construites sur la base des quantiles de précipitation statistiques sur une durée de 2 h selon une pluie de forme bloc, triangle ou double triangle ou selon la méthode de Kiefer dite aussi "composite" (dans ce cas la forme de la pluie de projet suit strictement l'évolution des quantiles issus de l'analyse statistique).

La figure suivante replace l'ensemble de ces pluies de projet sur les IDF proposés pour le bassin de l'Eygoutier. Tous les calculs ont été réalisés au pas de temps de 6 min. La pluie de projet Ingerop (2017) sur la Planquette est de ce type avec une durée de base prise de 6h est aussi représentée.

La pluie de projet actée par la DDTM pour le Gapeau est une pluie bien plus que centennale pour les pas de temps inférieure à environ 5 h. Elle est par ailleurs au dessus de la pluie réelle à Toulon la Mitre. La pluie de projet Ingerop (2017) sur la Planquette de 6h devient plus rare après 5 h.



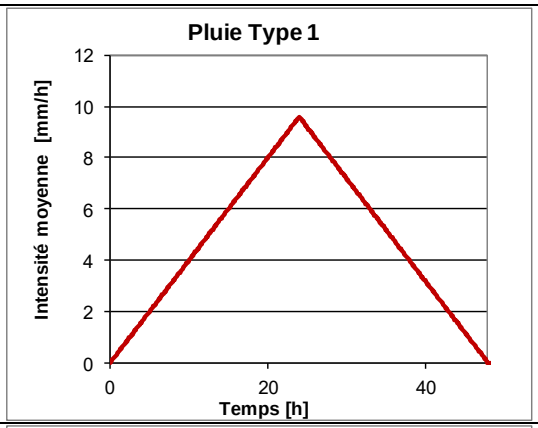
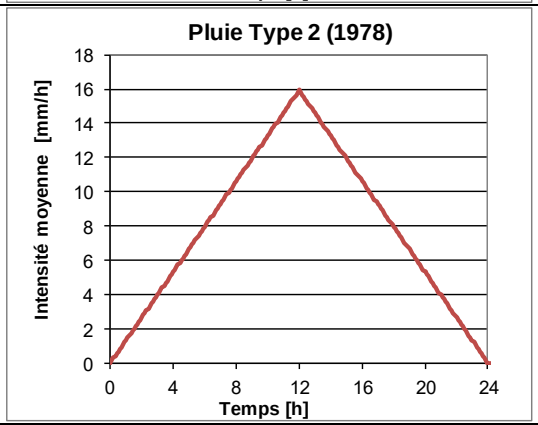
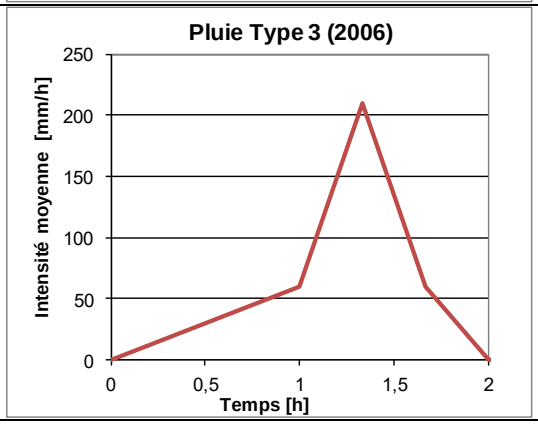
Durée (min)	Durée (en h)	Quantile 100 ans (mm)	Pluie réelle (24/09/2006)	Pluie de Projet DDTM (2018)	Pluie de projet Triangle (ΔT=2h)	Pluie de projet Composite (ΔT =2h)	Pluie de Projet INGEROP (2017) (ΔT=6h)
6	0,1	15	17	19	9	15	14
30	0,5	44	61	84	47	45	46
60	1	71	83	111	73	68	66
120	2	92	115	130	92	92	92
180	3	109	119	130	92	92	113
360	6	146	123	130	92	92	148

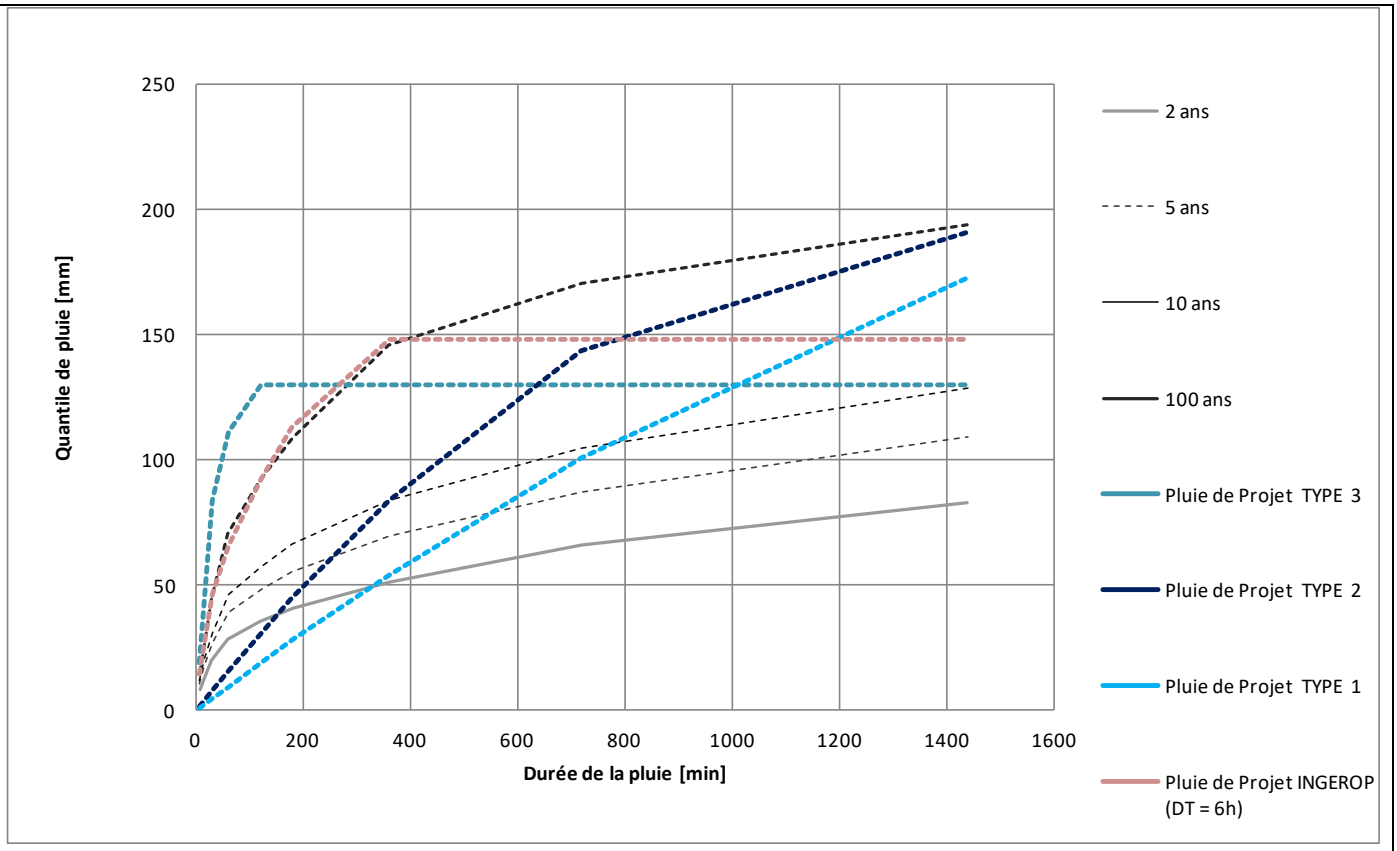
Figure 105. Caractéristiques statistiques des pluies de projets et comparaison avec de l'événement du 24-25 septembre 2006

Remarque : Le calage du modèle hydrologique pourra se faire sur l'événement pluviométrique du 8 septembre 2013 de ce type pour lequel les débits au pont de Bazeille ont été observés (crue n°23 présentant un Qmax = 84.6 m3/s au pont de Bazeille).

A retenir :

Nous proposons 3 scenarios de pluies de références :

Type 1 : Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée MAIS pas d'intensité remarquable	Pluie de 48 h de forme triangle (pas de pluies historiques pour ajuster la forme)	
Type 2 : Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours) ET des intensités remarquables	Pluie de 24 h de forme triangle semblable d'un pointe de vue statistique à la pluie de 1978	
Type 3 : Episode orageux nettement localisés caractérisés par des intensités record sur des pas de temps très courts	Pluie de 2 h de forme double triangle calé sur l'événement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006 (les pluies 6 min ont été récupérées). Gabarit DDTM	



		Pluie de Projet			
Durée (min)	Durée (en h)	TYPE 3	TYPE 2	TYPE 1	*Pluie de Projet INGEROP (ΔT = 6h)*
6	0,1	18,75	1,59	0,96	*14,1*
30	0,5	84	7,88	4,77	*45,9*
60	1	111	15,60	9,49	*65,8*
120	2	130	30,53	18,78	*92,3*
180	3	130	44,80	27,87	*113*
360	6	130	83,62	53,93	*148,2*
720	12	130	143,35	100,68	*148,2*
1440	24	130	191,13	172,59	*148,2*

Figure 106. Caractéristiques statistiques des pluies de projets

ANNEXES

7 ANNEXE I : ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

L'Eygoutier et ses affluents ont fait l'objet d'un grand nombre d'études hydrologiques et/ou hydrauliques, sur tout ou partie du bassin, destinées à préciser les débits de crue dans l'optique de réaliser des aménagements de protection contre les inondations ou d'améliorer la connaissance du risque.

En 2003, le CETE méditerranée réalise une mission d'expertise sur les études réalisées (notamment des études hydrologiques) et les projets d'aménagements hydrauliques envisagés par le SIAHE sur le bassin de l'Eygoutier avant 2003. Les documents expertisés dans cette étude sont :

- Bassin de l'Eygoutier – Etude hydrologique – Coyne et Bellier (mai 1979)
- Projet de galerie pour l'évacuation en mer des eaux de la Plaine de l'Eygoutier – BRGM (mai 1981)
- Etude hydraulique du bassin de l'Eygoutier – Betuc et Daragon Conseil (novembre 1992)
- Etude générale du bassin de l'Eygoutier – Daragon Conseil (juin 1995)
- Aménagements hydrauliques du bassin versant de l'Eygoutier – Etude d'impact – Société d'Ingénierie Borel (mars 1994)
- Doublement du tunnel de la Clue au Pradet – Avant-projet sommaire – BRGM (juin 1994)
- Impact du nouveau tunnel de Pont de Clue – Etude hydraulique et bilan socio-économique – Sogreah-Daragon (juin 2002)
- Plan d'Exposition aux Risques Glissements de Terrain et Inondations de Toulon (1989)

L'étude SCE de 2007 dans le cadre de la phase 1 de l"Elaboration d'un schéma stratégique de lutte contre les inondations sur le bassin versant Toulonnais de l'Eygoutier" synthétise également les anciennes études suivantes réalisées entre 1965 à 2005 :

Année	Titre/Objet	MOE	MO
1965-67	Etude générale complémentaire- Redimensionnement des collecteurs de l'Eygoutier	SCP	Direction générale de l'espace rural
1979	Etude hydrologique du bassin versant de l'Eygoutier en vue de diminuer les risques d'inondation	Coyne et Bellier	Syndicat intercommunal d'aménagement hydraulique du bassin de l'Eygoutier
1987	Détermination des zones de risque à la construction dans la zone inondable de l'Eygoutier	DDE du Var	DDE du Var
1988	Arrondissement de TOULON EST R.N 97 – A. 57 Mise à 2 X 3 voies entre le carrefour L. Bourgeois et La Bigue Couverture de l'Eygoutier	CETE Méditerranée	CETE Méditerranée
1988	Etablissement du fonctionnement hydraulique du ruisseau de Sainte-Musse dans l'optique d'en recalibrer une section	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon
1989	Synthèse des documents existants. Augmentation du débit capable de la partie avale de l'entonnement au pont de Bazeilles.	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon, service général des eaux
1989	Schéma directeur d'eau pluvial sur la commune de La Valette du Var Diagnostic des équipements pluviaux et des ouvrages. Proposition d'un schéma d'aménagement	Daragon Conseil	Commune de La Valette du Var
1990	Rapport de synthèse sur la rivière de l'Eygoutier sur Toulon - Estimation des débits d'orage décennaux.	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon, service général des eaux
1992	Rapport général secteur du Mourillon Définition des aménagements pluviaux à prévoir	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon
1993	Schéma d'aménagement (hydrologie– hydraulique). Etude hydrologique et hydraulique du bassin versant de l'Eygoutier. Le tome 1 concerne l'hydrologie, les tomes 2.1, 2.9 et 2.10 concernent les ouvrages de l'Eygoutier, du Sainte Musse, du Saint Joseph et, le tome 3 concerne la stratégie d'aménagement.	Daragon Conseil S.A.	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)
1994	Synthèse sur les sites de rétention prévus sur le Sainte-Musse.	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon

1994	AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'EYGOUTIER – ETUDE D'IMPACT VOL 1A – 1B : Etude d'impact, bassin de rétention amont du Ste Musse- Création d'un bassin de rétention sur le cours aval du Ste Musse. VOL 0 : Etude d'impact, analyse du bassin versant de l'Eygoutier. Synthèse des données hydraulique et hydrogéologique. Rappel des aménagements retenus VOL 5 : Etude d'impact, doublement du tunnel de la Clue VOL 6 : Etude d'impact, rénovation du tunnel de Lamalgue. Travaux de rénovation du tunnel de Lamalgue avec augmentation de sa capacité de 45 m3/s à 55 m3/s.	SIB	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)
2002	Etude hydrologique et hydraulique. Dimensionnement du nouveau tunnel du pont de la Clue	Sogreah Daragon	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)
2002	Evaluation socio-économique et calcul d'efficacité	Sogreah Daragon	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)
2003	Mission d'expertise sur les études réalisées. Avis thématiques et note de synthèse. Confirmation de la faisabilité des ouvrages programmés (inversion, tunnel) et de la rentabilité globale du projet	CETE Méditerranée	DIREN PACA
2003	Notice de présentation. Etude architecturale de l'hôpital	Partie hydraulique : SOGREAH	CHI Toulon-La Seyne sur Mer
2004	Note de synthèse. Nouveau tunnel du pont de Clue	Sogreah	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)
2005	Dossier d'autorisation (2005) et DUP (2009) : doublement du tunnel du pont de la Clue.	SOGREAH	SIAHE

Nous avons également récupéré entre autres les documents suivants datant d'après 2005:

Année	Titre/Objet	MOE	MO
2007	Élaboration d'un schéma stratégique de lutte contre les inondations sur le bassin versant Toulonnais de l'Eygoutier	SCE	SIAHE
2008	Calage des éléments hydrauliques du projet et études des impacts des aménagements – Plaine de la Garde	HYDRATEC	Conseil général du Var
2013	Etude de réalisation d'un seuil en amont du tunnel de l'Eygoutier au pont de la Clue à l'aide d'un modèle numérique	ARTELIA	SIAHE
2014	Quantification et qualification des apports solides et liquides de deux fleuves côtiers Méditerranéens	Thèse Dufresne, 2014 et Mémoire de stage de Master 2ème année de Ducros, 2014	Laboratoire d'Etude Radioécologiques en Milieu Continental et Marin (LERCM)
2015	Expertise hydraulique sur le secteur de l'Artaude	EGIS	Ville du Pradet
2015	Étude hydraulique pour l'aménagement du ruisseau de Saint-Joseph	SAFEGE	SIAHE
2016	Mise à 2x3 voies de l'A57 Section Benoit Malon/Pierre Ronde - Dossier de déclaration Loi sur l'Eau - Pièce n°6.1 : Etude hydraulique des écoulements pluviaux	INGEROP	ESCOTA
2017	Étude hydraulique et AMC pour la définition du schéma d'aménagement du ruisseau de la Planquette	INGEROP	SIAHE

7.1.1 Etude générale complémentaire- Redimensionnement des collecteurs de l'Eygoutier (SCP, 1967 - et citée par CETE, 2003 et SCE, 2007)

La zone étudiée est la Plaine de la Garde (au niveau de l'entonnement de l'Eygoutier - amont du pont de la Clue). La pluviométrie utilisée pour l'étude est ainsi définie :

- cas 1 : 45 mm de pluie en 1 h
- cas 2 : 111 mm en 6 h, transformée en une pluie de 65 mm en 6 h (hypothèse b) et de 85 mm en 6 h (hypothèse c)
- cas 3 : 138.8 mm en 24 h, transformée en une pluie de 120 mm en 24 h (hypothèse a)

	Intensité de la pluie	Intensité de la crue [m³/s]
Syndicat de l'Association de l'Eygoutier 1949 et 1957	134.6 mm en 24 h	77
	84.7 mm en 6 h	137
Société du Canal de Provence 1965 et 1967	45 mm en 1 h	120
	111 mm en 6 h	170
	138.8 mm en 24 h	70

Le calcul du débit ruisselé est fait avec un temps de concentration de 6h et des coefficients de ruissellement constants de 0.8 et 0.9. Les débits de crue qui en résultent concernant la partie aval sont donnés par l'extrait de tableau suivant :

Canaux	Hyp. a [m³/s] T=5ans	Hyp. b [m³/s] T=5ans	Hyp. c [m³/s]T=10 0ans	Ouvrages	Capacité [m³/s]
Endiguement de l'Eygoutier	60j	100	130	5 à 6 m de largeur, 2 à 2,5 m de profondeur pont à tablier métallique pont en voûte maçonnée de 4,5 m	Pont en voûte maçonnée à élargir

Le débit centennal est estimé à 130 m³/s au pont de la Clue.

7.1.2 Atlas des zones inondables (ou schéma d'assainissement pluviale) (Sogreah, 1975 - citée par CETE, 2003 et SCE, 2007)

L'étude de Sogreah en 1975 conclut que la crue décennale au pont de la Clue est de 75 m3/s, à partir d'une formule de Caquot et la méthode rationnelle sur les zones rurales (le temps de concentration utilisé est de 15 à 30 minutes et des coefficients de ruissellement de 0.15 à 0.20). L'étude précise que la similitude des résultats avec ceux de la SCP (?) est une coïncidence, compte tenu des hypothèses radicalement différentes mais qui se compensent.

7.1.3 Etude hydrologique du bassin versant de l'Eygoutier en vue de diminuer les risques d'inondation (Coyne et Bellier, 1979 - citée par CETE, 2003 et SCE, 2007)

Cette étude se fonde sur les rapports de juillet 1965 de la Société du Canal de Provence, de l'étude SCP de 1965 et de l'Atlas des zones inondables de Sogreah de 1975. Elle porte sur le bassin versant de l'Eygoutier, à l'Est immédiat de Toulon, d'une superficie de 51 km² (bassin versant au pont de la Clue).
Le rapport présente différents résultats et analyses sur les points suivants :

- **La crue de janvier 1978.**
  - Pluie antérieure de 64 mm sur 5 jours.
  - Précipitations de 178 mm en 24h dont 78 mm en 6 h.
  - **Volume sur 24 h de 9.5 Mm³ : estimation, d'après la variation du niveau de la Plaine de la Garde, d'un débit maximum entrant dans la plaine de 185 m³/s en moyenne sur 4 heures pour un débit sortant maximum de 43 m³/s au pont de la Clue.**
- **La pluviométrie.** Pour fournir de nouveaux résultats, l'étude se base sur une analyse des corrélations des pluies P24h et P12h à origine fixe entre les 4 postes pluviométriques à proximité de la zone d'étude (Toulon La Mitre, Cuers, Hyères, La Crau) dont les données sont disponibles sur 41 années (1937-1978). Les pluies à pas de temps fins (entre 6min et 12h) à origine variable sont disponibles que sur 7 années. Un des résultats est une supposée supériorité des pluies sur la plaine de la Crau / Toulon La Mitre. Au final, l'étude fournit des lois de Montana applicable au bassin versant de l'Eygoutier dans la plaine pour toutes les durées de pluie (entre 6 min et 24h) à partir des données de la station de Toulon La Mitre.

Période de retour	Fréquence de non dépassement F	Loi monôme [mm]
5 ans	0.8	$25.8\,t^{0.41}$
10 ans	0.9	$32.9\,t^{0.39}$
20 ans	0.95	$37.6\,t^{0.39}$
30 ans	0.97	$40.1\,t^{0.39}$
50 ans	0.98	$43.6\,t^{0.39}$
100 ans	0.99	$48.2\,t^{0.40}$

COYNE&BELIER 1979 P10(mm)=32,9*0,39
intégre une maj géographique ??? sans abattement spatial

t en h	i en mm/h	Pluie en mm
1	32.9	32.9
2	16.6	50.5
6	11.0	66.2
12	7.2	86.7
24	4.7	113.8
48	3.1	148.9

- **La pluie de projet.** L'orage de projet présente une durée de 3 heures. Il est reconstitué à partir des données précédentes : précipitations élémentaires de durée 10 minutes [mm/10']. L'orage de projet est inséré dans la pluie de projet complète qui présente une durée totale de 24 heures, l'orage commençant à la 9ème heure.

Période de retour	Précipitations [mm]			
	Avant l'orage	Orage	Après l'orage	Total
Durée	9 heures	3 heures	12 heures	24 heures
10 ans	37	50.1	27	114.1
30 ans	44	61	34	139
50 ans	48	67.3	36	151.3
100 ans	55	76	42	173

- **Débits calculés.** L'étude applique le modèle américain du S.C.S. (Soil Conservation Service). Les débits résultants au pont de Clue, sont calculés grâce aux programmes GENHYDRO et CUMULYD. Il s'agit de simple sommation d'hydrogramme, sans prise en compte du laminage actif dans la plaine inondable de La Garde, d'où des débits de pointe calculés très importants.

	Période de retour [ans]	Débit de pointe [m³/s]
Situation actuelle	10	141
	30	211
	50	241
	100	279
Situation POS	10	142
	30	212
	50	241
	100	279

Avis général sur le volet hydrologie :

- La supériorité des pluies sur la plaine de la Crau (Pluie (Crau) = Pluie (Toulon) majorée de 20%) est grandement critiquable aujourd'hui.
- Les estimations de débit de crue à l'aide du modèle pluie/débit sont des débits de pointe "hydrologique" ne prenant pas en compte le laminage de la crue dan la plaine de la Garde (celle-ci étant inondée couramment).
- Le modèle n'est pas calé (ou pas information sur ce point).

7.1.4 Détermination des zones de risque à la construction dans la zone inondable de l'Eygoutier (DDE, 1987 - citée par SCE, 2007)

Cette étude utilise les données des études antérieures de la DDE. La zone d'étude concerne la commune de Toulon. (bassin versant aval du pont de la Clue).
La crue de référence utilisée est celle de 1978 assimilée à une crue de période de retour 100 ans. Les débits de crue centennaux utilisés dans ce projet sont :

- 10 m3/s du pont de la Clue au ruisseau Ste Musse
- 18.8 m3/s du ruisseau Ste Musse au ruisseau Coupiane
- 32.5 m3/s du ruisseau Coupiane au ruisseau St Joseph ;
- 48.9 m3/s du ruisseau St Joseph à l'ouvrage autoroutier.

7.1.5 Couverture de l'Eygoutier (Mise à 2 X 3 voies entre le carrefour L. Bourgeois et La Bigue) (CETE, 1988 - citée par SCE, 2007)

Le bassin versant étudié est celui de l'Eygoutier dans son ensemble (72 km² dont 50 km² se trouvant dans la Plaine de la Garde). Bassin versant comporte trois cours d'eau : les ruisseaux de Coupiane (⇔ Sainte-Musse ?), Ste Musse et St Joseph.Cette étude utilise les données de l'étude SCP de juillet 1965 et avril 1967 et de celle de Coyne et Bélier de 1979.
Les débits de crue générés par le **bassin versant amont du pont et du tunnel de la Clue** sont les suivants :

- 140 m3/s pour un période de retour 10 ans
- 210 m3/s pour une période de retour de 30 ans
- 240 m3/s pour une période de retour de 50 ans et
- 280 m3/s pour une période de retour de 100 ans.

Les débits de projet à temps de retour centennal sont de 45 m3/s sur l'Eygoutier à l'aval du ruisseau St Joseph, de 10 m3/s à l'amont du ruisseau de Coupiane juste après le tunnel de la Clue où se déverse 30 m3/s. Ces données correspondent à la crue de 1978, se superposant à la capacité hydraulique des ouvrages : 30m3/s pour le tunnel de la Clue en charge, 10 m3/s pour le ruisseau de l'Eygoutier au niveau du pont de Clue et 45 m3/s dans le tunnel de Lamalgue.

7.1.6 Etablissement du fonctionnement hydraulique du ruisseau de Sainte-Musse (Daragon, 1988 - citée par SCE, 2007)

Le bassin versant est de 380 hectares dont les deux tiers sur le territoire de La Valette, le bassin versant est fortement urbanisé.
La pluie de projet est basé sur la formule IDF suivante : I=7.54*t-0.581, établie lors de l'étude du Schéma Directeur du Bassin Versant du Las. La modélisation est effectuée avec le logiciel CEDRE, qui produit les hydrogrammes unitaires et les propage dans le réseau. Il d'agit donc d'une modélisation hydrologique. Le débit maximum calculé à l'aval est de 37,95 m3/s, ramenés à 34,10 m3/s en prenant en compte une « contrainte amont » (Quel temps de retour ?).

7.1.7 Etude diagnostic du Tunnel de Lamalgue (Daragon, 1988 - citée par SCE, 2007)

La zone étudiée est le bassin versant de l'Eygoutier jusqu'au débouché du ruisseau St-Joseph. Les sources de cette étude sont l'étude L.N.H. de 1971 ainsi que l'étude du cabinet CERIC et du L.N.H. de 1975.
Le premier débit de référence est de 45 m3/s estimé en 1951. La crue de référence de l'étude est l'orage de 1973, ce qui correspond à un débit de projet estimé à 55 m3/s en 1975. Les calculs effectués se basent soit sur les débits de 45 m3/s, 55 m3/s et 65 m3/s basés sur la crue de 1973 soit sur un débit décennal, estimé à de 80 m3/s et 110 m3/s à l'horizon POS. La capacité du tunnel est de l'ordre du débit de la crue de 1973.

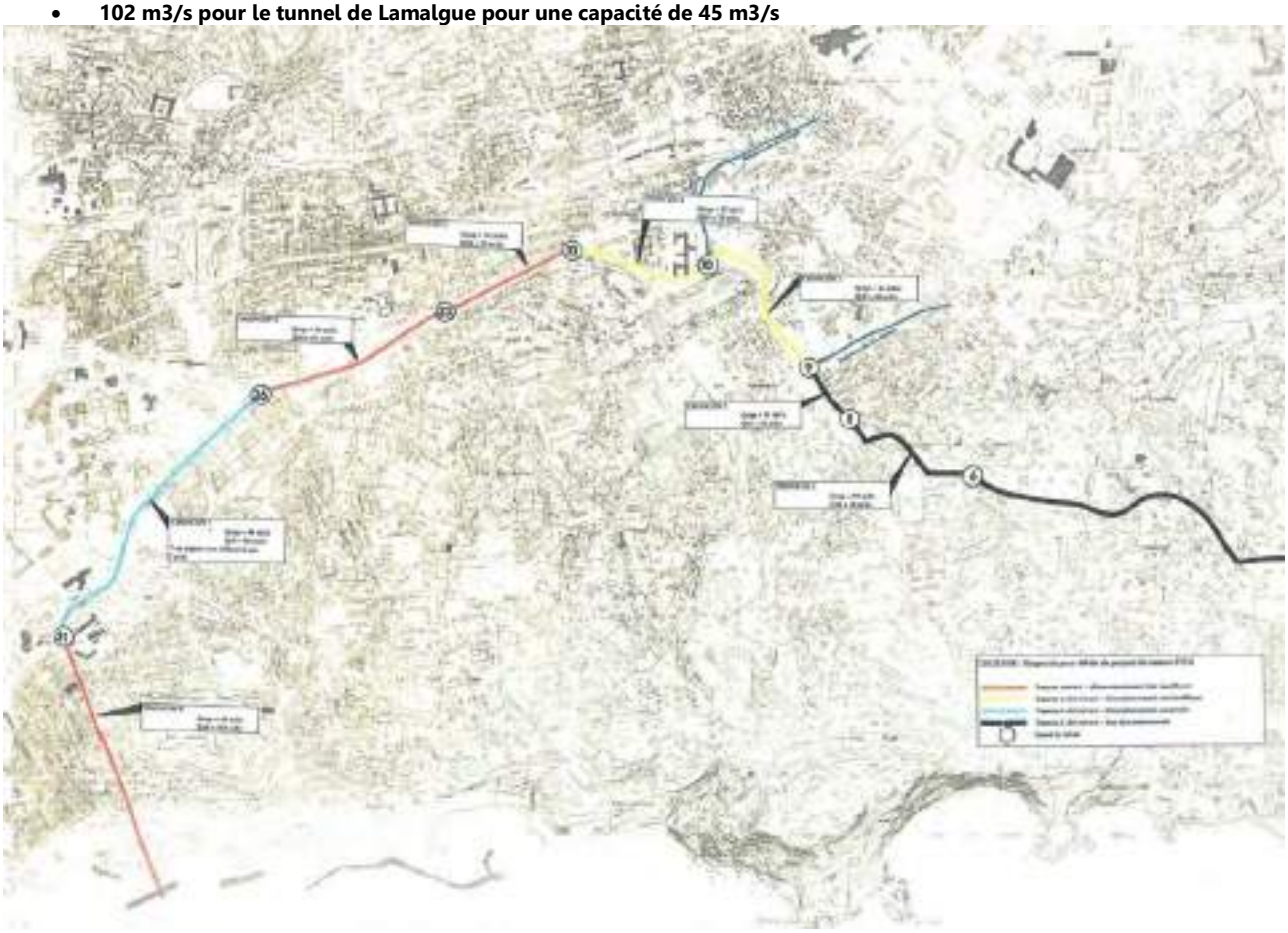
7.1.8 Etude hydrologique - Rivière de l'Eygoutier sur Toulon (Daragon, 1990)

La zone d'étude est la partie de l'Eygoutier située en aval du pont de la Clue au Pradet (18.17 km²). Cette zone est partagée en 6 bassins versants eux-mêmes découpés en sous bassins versants (31 au total -carte disponible page 8).

Nous reprendrons donc ici les études précédentes menées sur la pluviométrie de la Station de Toulon La Mitre, afin de déterminer la pluie de Projet.

Les données pluviométriques sont a priori celles de la station de Toulon La Mitre. La pluie de projet est décennale sur une surface de 1500 ha. Le logiciel utilisé par le modèle est le logiciel CEDRE. Les débits décennaux de projet résultants comparés aux débits capables des tronçons homogènes de l'Eygoutier sont les suivants de l'amont vers l'aval (page 10) :

- 70 à 80 m3/s pour l'Eygoutier dans sa traversée de Toulon
- 18 à 21 m3/s du pont de Clue au ruisseau Ste Musse pour une capacité de 37 à 35 m3/s
- 45 m3/s du ruisseau Ste Musse au ruisseau St Joseph, capacité de 12 m3/s
- 75 m3/s du ruisseau St Joseph à l'entrée de l'autoroute, capacité de 16 m3/s
- 83 m3/s pour la section couverte sous l'autoroute pour une capacité de 54 m3/s
- **102 m3/s pour le tunnel de Lamalgue pour une capacité de 45 m3/s**

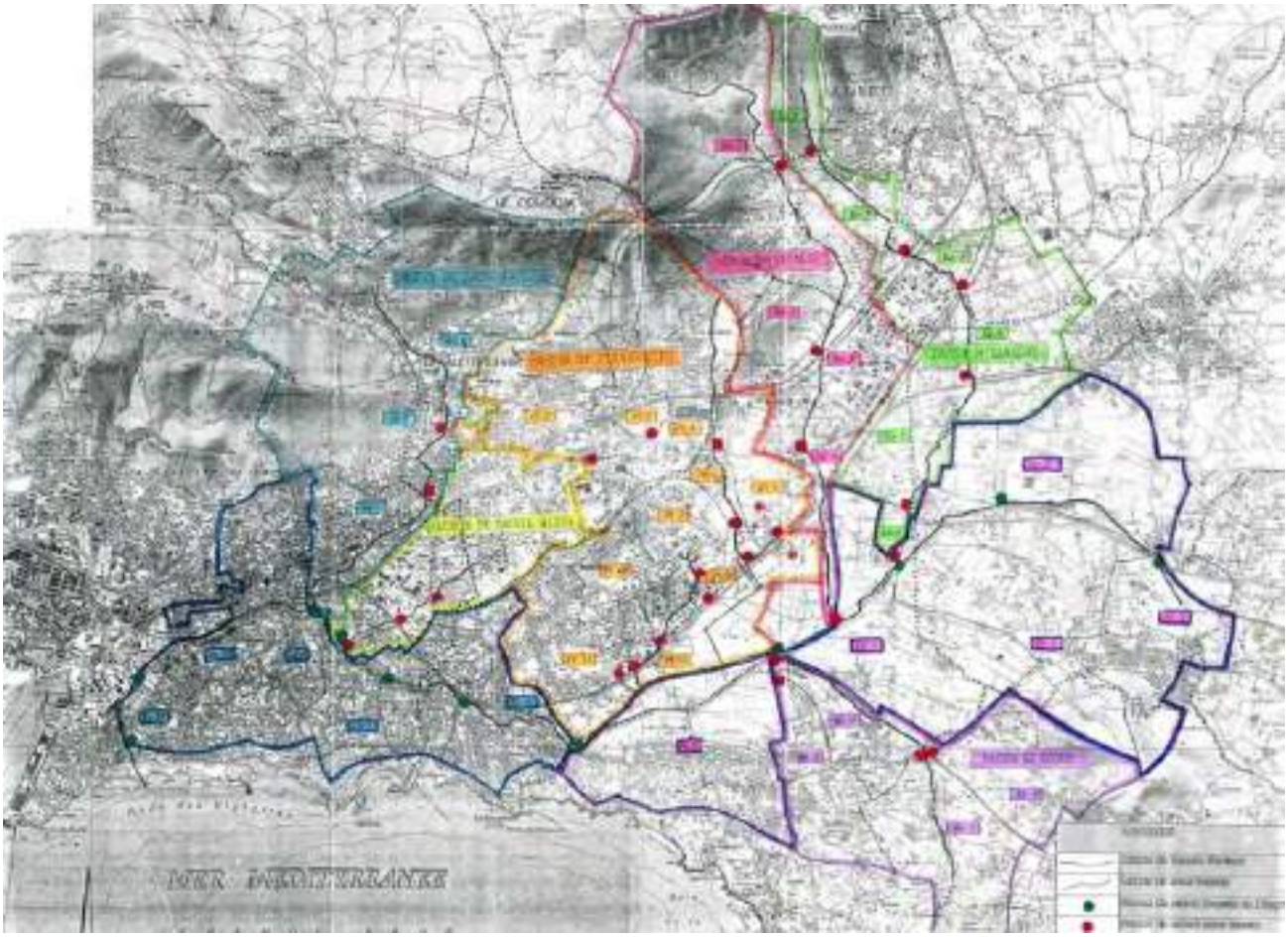


Débits décennaux (Daragon, 1990)

7.1.9 Schéma d'aménagement - Hydrologie - Hydraulique (Daragon, 1993) - Note de synthèse hydrologie (juin 1993)

Les dossiers "hydrologie" et "hydraulique" sont une reprise des de l'étude Betuc et Daragon de 1992. Le bassin versant de l'Eygoutier est scindé au niveau du pont de la Clue :

- Coté Est du pont de la Clue (Plaine de la Garde) estimé à environ 70 km². Les sous-bassins versants sont également étudiés (Lambert, Reganas, Regue, Artaude, Planquette).
- Coté Ouest du pont de la Clue (Bassin de Toulon). Les sous-bassins versants sont également étudiés (Sainte-Musse, Saint-Joseph). La superficie est a priori de 20 km².



Points de calcul et SBV (Daragon, 1993 - page 112)

Le rapport présente différents résultats et analyses sur les points suivants :

- **La pluviométrie.**
  Pour le bassin "Plaine de la Garde", l'analyse hydrologique sur se base sur l'étude Coyne et Bélier de 1979, avec notamment la supériorité des pluies de La Crau sur celles de Toulon La Mitre. Les courbes IDF sont calées sur les valeurs de Toulon la Mitre hors mois d'été (l'écart entre les pluies globales et les pluies "hors été" est de 10 à 20%.) avec la majoration de 20%. Un facteur d'abattement spatial du type $\alpha=A^{-\varepsilon}$ avec $\varepsilon=0.05$ a été appliqué. Pour 70 km², l'abattement spatial est de 0.8 (soit 0.96 arrondi à 1).

Pluie hiver de 7000ha sur la Plaine de La Garde:

I_{10} (mm/mn) = 5.1 $t^{-0.55}$ (t en mn)

Pluie été de 7000ha sur Plaine de La Garde

I_{10} (mm/mn) = 7.4 $t^{-0.58}$ (t en mn)

Pluie de 2000ha sur Toulon:

I_{10} (mm/mn)=7.54 $t^{-0.58}$ (t en mn)

DARAGON - études 1982 et 1993

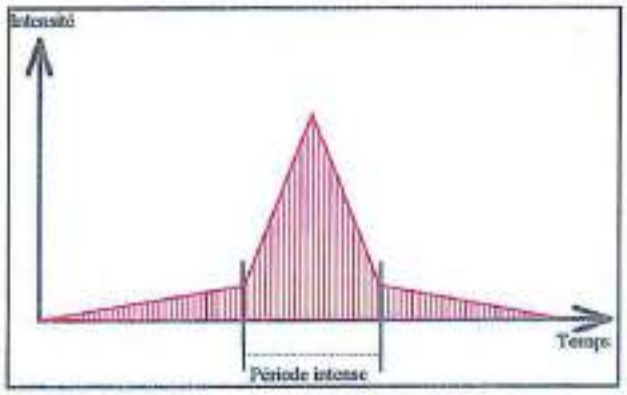
hors été : I10(mm/mn)=5.1*t^-0.55 I en mm

intègre une maj géographique de 20%

et un abattement spatial de 0.8 soit 0.96 (arrondi à 1 (compensation)

t en h	I en mm/h	Pluie en mm
1	32.2	32.2
3	17.6	52.8
6	12.0	72.1
12	8.2	98.5
24	5.6	134.5
48	3.8	183.8

  - Pour l'Est du bassin, aucune correction n'est appliquée aux valeurs de Toulon la Mitre.
- **La pluie de projet.** Les pluies de projet utilisées sont de forme double triangle. Le pic d'intensité est placé au centre. Des scenarios de pluies différents suivant les sous-bassins versants élémentaires ont été testés.



- Pour les bassins de la Planquette, de Lambert, de la Regue et de Reganas le scenario n°1 a té utilisé au final (Pas de temps de 19min et pluie hors mois d'été sur une surface de 7000 ha).

SCENARIO N° : 1 LIBELLE : PLUIES HORS ETE DE TOULON SUR 7000 HA

PLUIE : A : 5.100 B : -0.55 PDT : 19mn SURFACE : 7000 ha

- Pour les bassins de Sainte-Musse et Saint-Joseph le dossier semble incomplet et les résultats finaux n'ont pas été retrouvés dans les résultats bruts. .
- Pour l'Eygoutier, les résultats bruts sont présentés pour 3 scenarios, mais les résultats finaux regroupant Eygoutier et affluents n'ont pas été retrouvés dans ces résultats bruts.

SCENARIO N° : 1 LIBELLE : PLUIE DE TOULON SUR 2000 HA

PLUIE A : 7.540 B : -0.58 PDT : 11mn SURFACE : 2000 ha

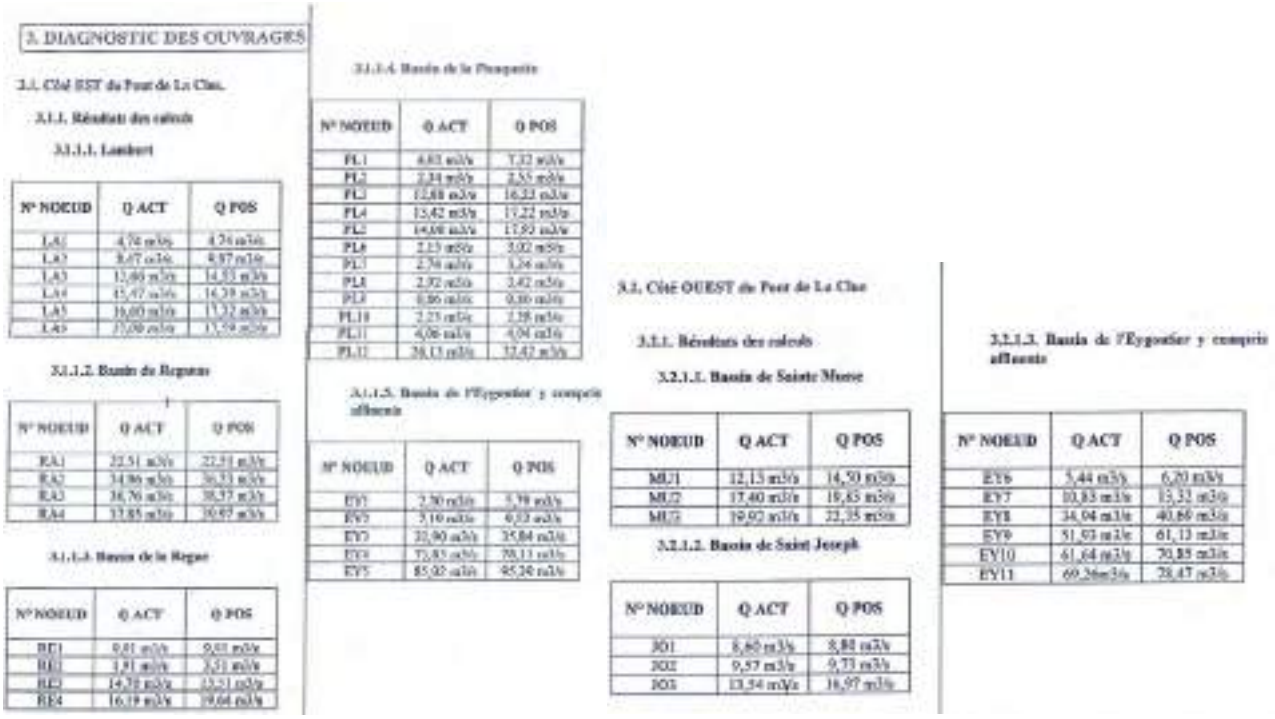
SCENARIO N° : 2 LIBELLE : PLUIE DE TOULON SUR 2500 HA

PLUIE A : 7.540 B : -0.58 PDT : 12mn SURFACE : 2500 ha

SCENARIO N° : 3 LIBELLE : PLUIE DE TOULON SUR 7000 HA

PLUIE A : 7.540 B : -0.58 PDT : 20mn SURFACE : 7000 ha

- **Les débits.** Les débits de pointes sont calculés (SCS) en situation actuelle à horizon POS aux nœuds principaux des deux modèles indépendants (Est et Ouest du pont de la Clue - hypothèse d'un débit nul entre les deux modèles).
  Les résultats finaux pour Q10 sont :
  - Au pont de la Clue ; Q10-actuel = 85 m3/s et Q10-pos = 95 m3/s (obtenus avec des pluies hors d'été sur sols saturés).
  - A l'aval du pont de la Clue : Q10-actuel = 69 m3/s et Q10-pos = 78 m3/s s (obtenus avec des pluies globales).



3. DIAGNOSTIC DES OUVRAGES

3.1. Cité EST du Pont de La Clue.

3.1.1. Résultats des calculs

3.1.1.1. Lambert

N° NOEUD	Q ACT	Q POS
LA1	4,76 m3/s	4,76 m3/s
LA2	8,47 m3/s	8,87 m3/s
LA3	12,80 m3/s	14,53 m3/s
LA4	15,47 m3/s	16,39 m3/s
LA5	16,60 m3/s	17,32 m3/s
LA6	17,00 m3/s	17,79 m3/s

3.1.1.2. Bassin du Regnier

N° NOEUD	Q ACT	Q POS
RA1	32,51 m3/s	32,51 m3/s
RA2	34,86 m3/s	36,33 m3/s
RA3	36,70 m3/s	38,37 m3/s
RA4	37,85 m3/s	39,97 m3/s

3.1.1.3. Bassin de la Regue

N° NOEUD	Q ACT	Q POS
RE1	0,01 m3/s	0,01 m3/s
RE2	1,91 m3/s	3,21 m3/s
RE3	14,28 m3/s	15,51 m3/s
RE4	16,19 m3/s	19,64 m3/s

3.1.1.4. Bassin de la Pinaguette

N° NOEUD	Q ACT	Q POS
PL1	6,83 m3/s	7,22 m3/s
PL2	2,34 m3/s	2,55 m3/s
PL3	12,88 m3/s	16,33 m3/s
PL4	15,42 m3/s	19,22 m3/s
PL5	14,08 m3/s	17,93 m3/s
PL6	2,13 m3/s	3,02 m3/s
PL7	2,76 m3/s	3,24 m3/s
PL8	2,32 m3/s	2,42 m3/s
PL9	0,86 m3/s	0,86 m3/s
PL10	2,23 m3/s	2,38 m3/s
PL11	4,06 m3/s	4,04 m3/s
PL12	28,13 m3/s	32,42 m3/s

3.1.1.5. Bassin de l'Eygoutier y compris affluents

N° NOEUD	Q ACT	Q POS
EY1	2,50 m3/s	3,78 m3/s
EY2	5,10 m3/s	6,03 m3/s
EY3	22,90 m3/s	25,84 m3/s
EY4	72,85 m3/s	78,13 m3/s
EY5	85,02 m3/s	95,24 m3/s

3.2. Cité OUEST du Pont de La Clue

3.2.1.1. Résultats des calculs

3.2.1.1. Bassin de Sainte Meuve

N° NOEUD	Q ACT	Q POS
MJ1	12,13 m3/s	14,50 m3/s
MJ2	17,40 m3/s	19,85 m3/s
MJ3	19,92 m3/s	22,35 m3/s

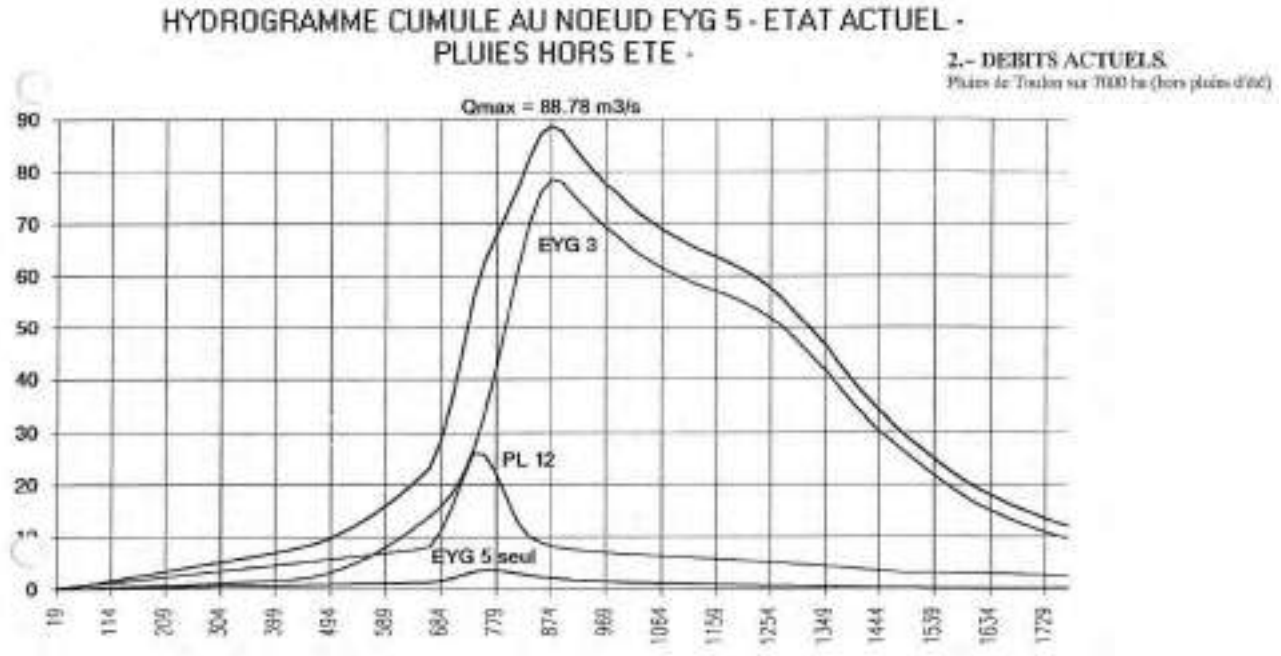
3.2.1.2. Bassin de Saint Joseph

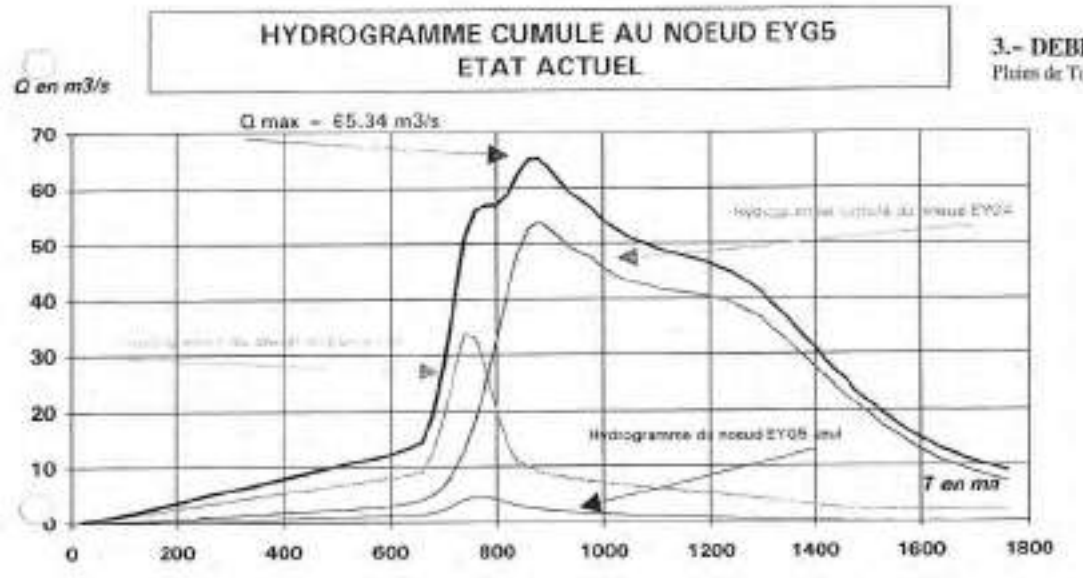
N° NOEUD	Q ACT	Q POS
JO1	8,60 m3/s	8,88 m3/s
JO2	9,57 m3/s	9,73 m3/s
JO3	13,54 m3/s	16,97 m3/s

3.2.1.3. Bassin de l'Eygoutier y compris affluents

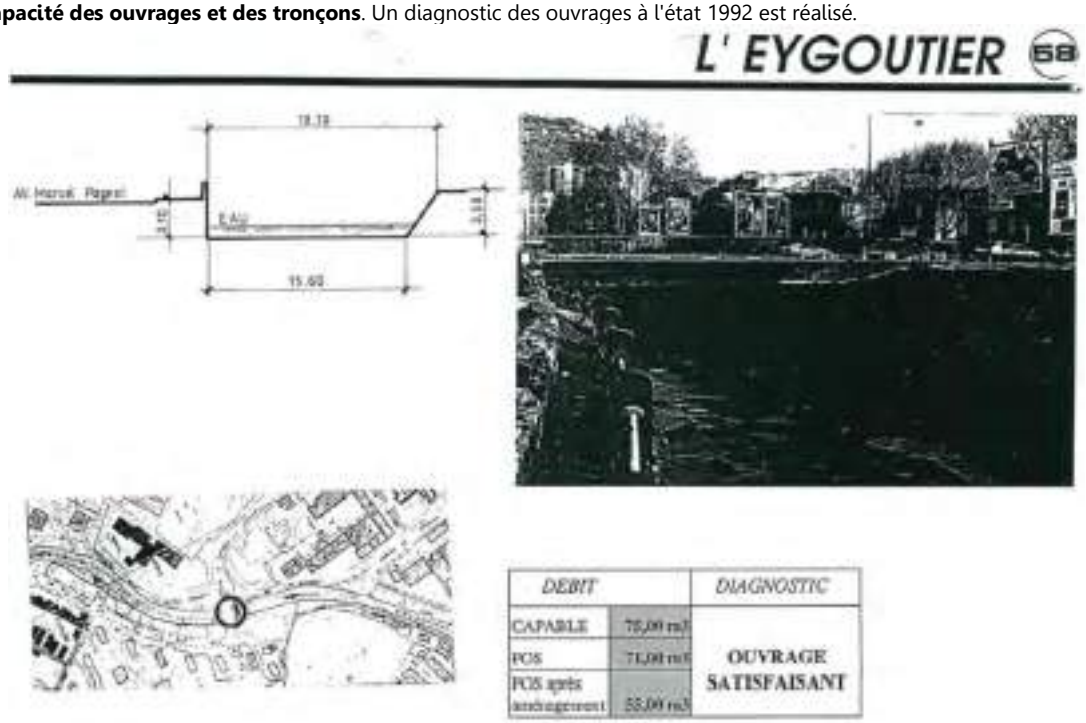
N° NOEUD	Q ACT	Q POS
EY6	5,44 m3/s	6,20 m3/s
EY7	10,85 m3/s	13,32 m3/s
EY8	34,04 m3/s	40,86 m3/s
EY9	51,93 m3/s	61,13 m3/s
EY10	61,64 m3/s	70,85 m3/s
EY11	69,36m3/s	78,47 m3/s

- Les hydrogrammes. L'étude présente des hydrogrammes aux différents nœuds de calcul (Q10). Deux scenarios semblent avoir été utilisés :

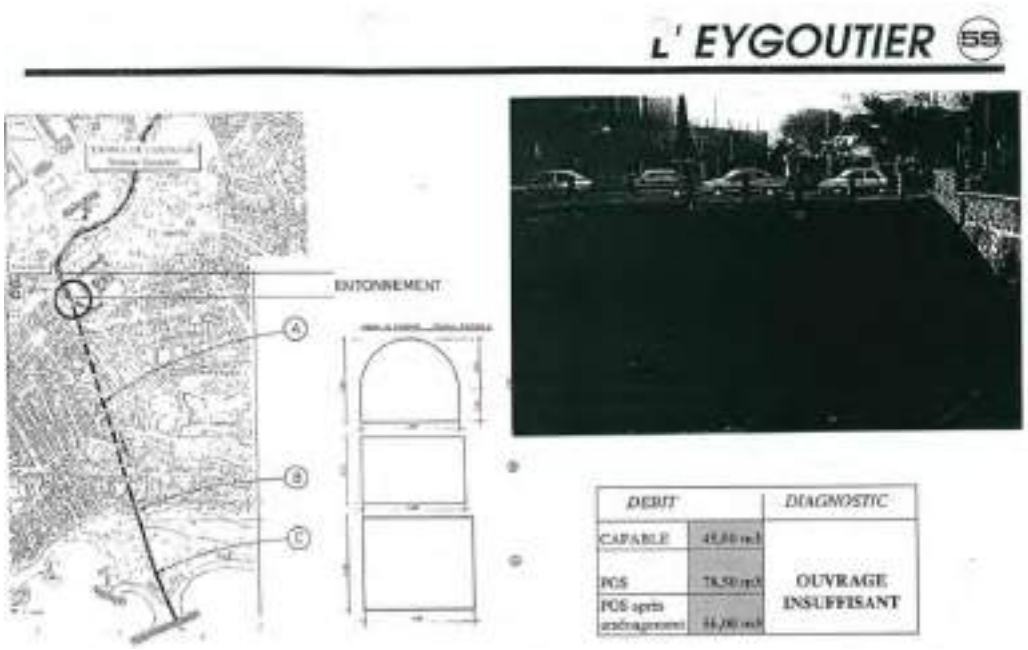




- **Capacité des ouvrages et des tronçons**. Un diagnostic des ouvrages à l'état 1992 est réalisé.



DEBIT		DIAGNOSTIC
CAPABLE	75,00 m3	OUVRAGE SATISFAISANT
POS	71,00 m3	
POS après aménagement	55,00 m3	

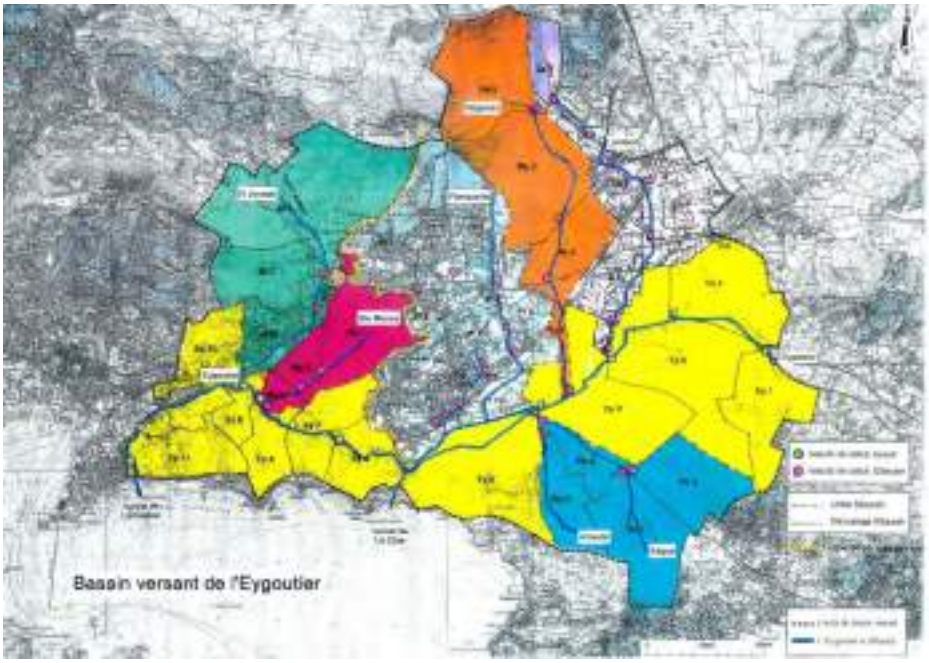


Avis général sur le volet hydrologie de l'étude SIAH (Daragon, 1993 -issue de Daragon 1992) :

- La majoration de 20% pour les pluies sur la Crau n'est pas justifiable (reprise tel quel des résultats de Coyne et Belier, 1979).
- L'analyse saisonnière des pluies (test sur des pluies de 3h) est intéressante (les pluies d'été majorent les valeurs maximums annuelles). **Les lois de Montana sont recalées sur les maxima des lames d'eau recalculés en ne conservant que les 6 mois d'hiver et d'automne.**
- La séparation du bassin versant est intéressante mais l'hypothèse de débit nul entre les deux SBV n'est a priori pas réaliste.
- Le modèle Pluie/Débit n'est pas calé (ou pas information sur ce point).
- Les hydrogrammes de chaque bassin élémentaire sont sommés sans tenir compte de la capacité réelle des cours d'eau.
- Les estimations de débit de crue à l'aide du modèle pluie/débit sont des débits de pointe "hydrologique" ne prenant pas en compte le laminage de la crue dans la plaine de la Garde (celle-ci étant inondée couramment).
- L'étude montre des incohérences au niveau des débits présentés dans les tableaux de synthèses (page 8 et 14) qui ne sont pas les mêmes que les données brutes de calcul et sur les hydrogrammes (.

7.1.10 Etude d'impact - partie 0 : analyse du bassin versant de l'Eygoutier (SIB, 1994)

Seul le sous-dossier n°0 "analyse du bassin versant" a trait à l'hydrologie. Le bassin versant de l'Eygoutier est distingué en deux bassins : l'un urbain et l'autre rural. Les pluies critiques n'étant pas les mêmes pour les deux bassins.



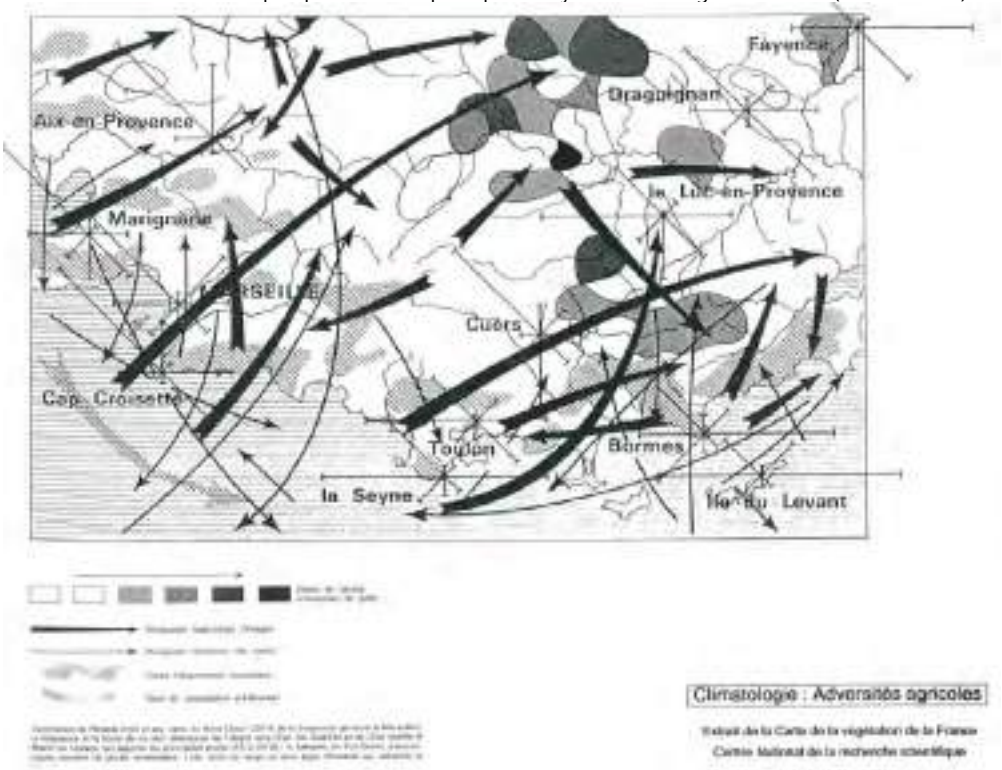
SBV (SIB, 1994)

L'étude est fondée sur l'analyse de Coyne et Bellier de 1979 ainsi que sur l'étude hydraulique du SIAH de l'Eygoutier de 1993 (Daragon, 1993). Il est rappelé que les pluies sur La Plaine sont supérieures de 15 à 20 % à celles enregistrées à la station de La Mitre. De plus les pluies critiques sont caractérisées ainsi :

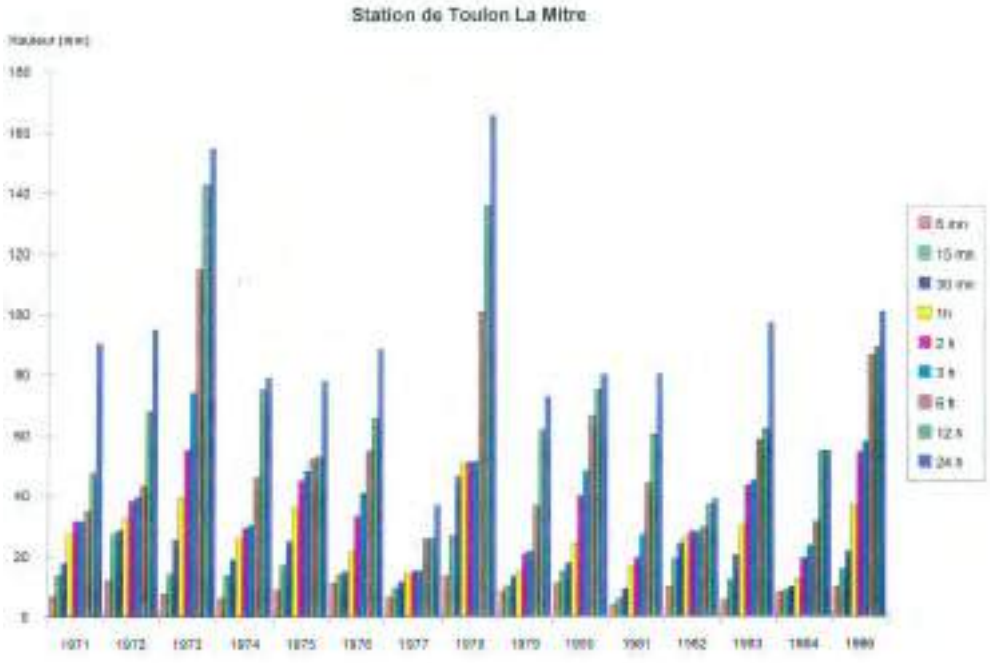
- Bassin rural : pluie d'hiver de longue durée sur sols saturés (pluies de Toulon sur 7000 ha - hors pluie d'été - sur sol saturé)
- Bassin urbanisé : orage d'été court et intense (

Quelques nouveautés sur les pluies sont présentées :

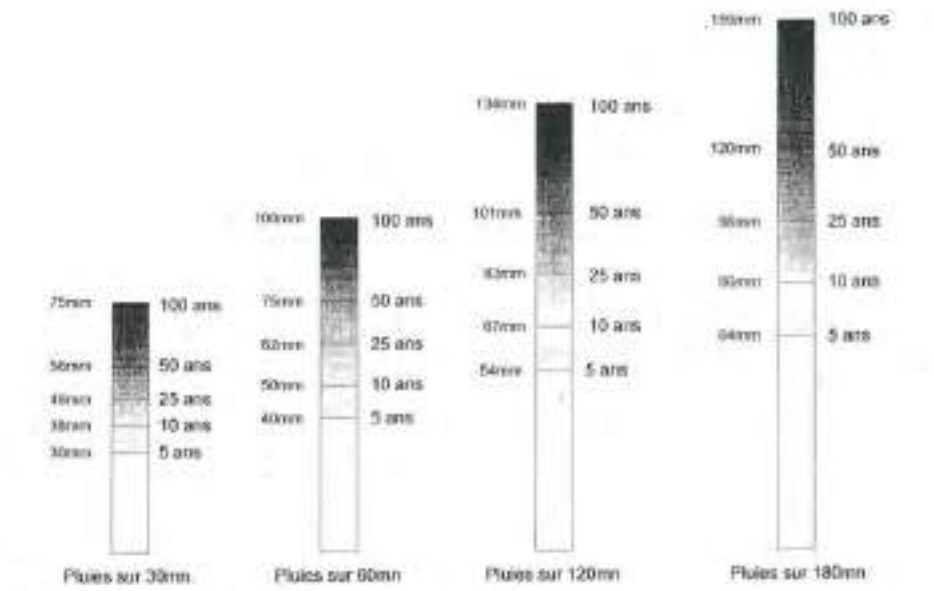
- une carte climatique qui donne les principales trajectoires d'orage dans le var (source CNRS).



- Les données pluviométriques proviennent de la station de Toulon La Mitre. Elles couvrent les années de 1971 à 1986 sur 6, 15 et 30 mn et sur 1, 2, 3, 6, 12 et 24 h.



- La fréquence de précipitation sur la Plaine de La Garde et du Pradet est aussi données sous forme de diagramme bâton pour des durées de 30, 60, 120, 180 mn pour des temps de retour de 5, 10, 25, 50 et 100 ans.



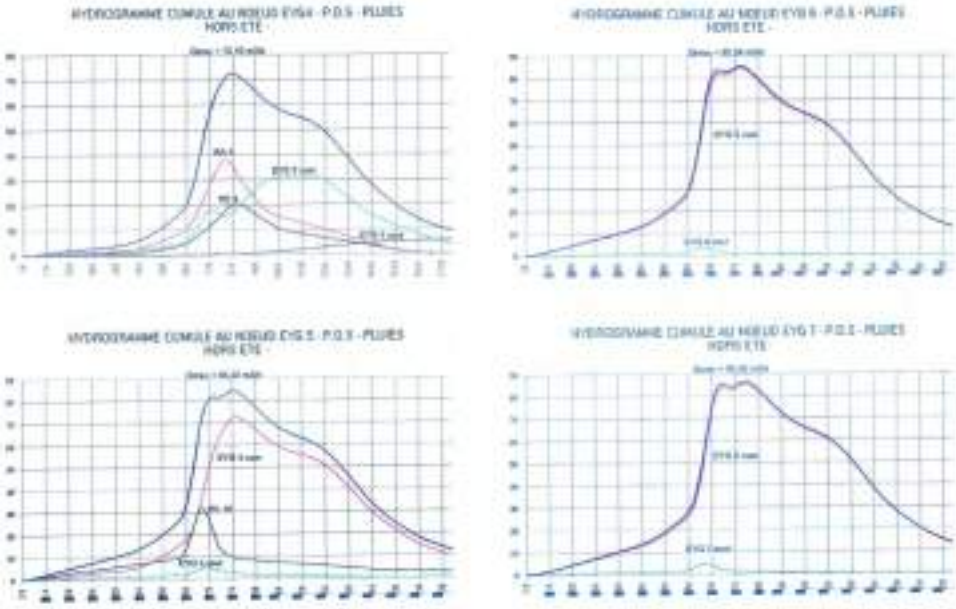
L'étude SCE (2007) en a fait un tableau :

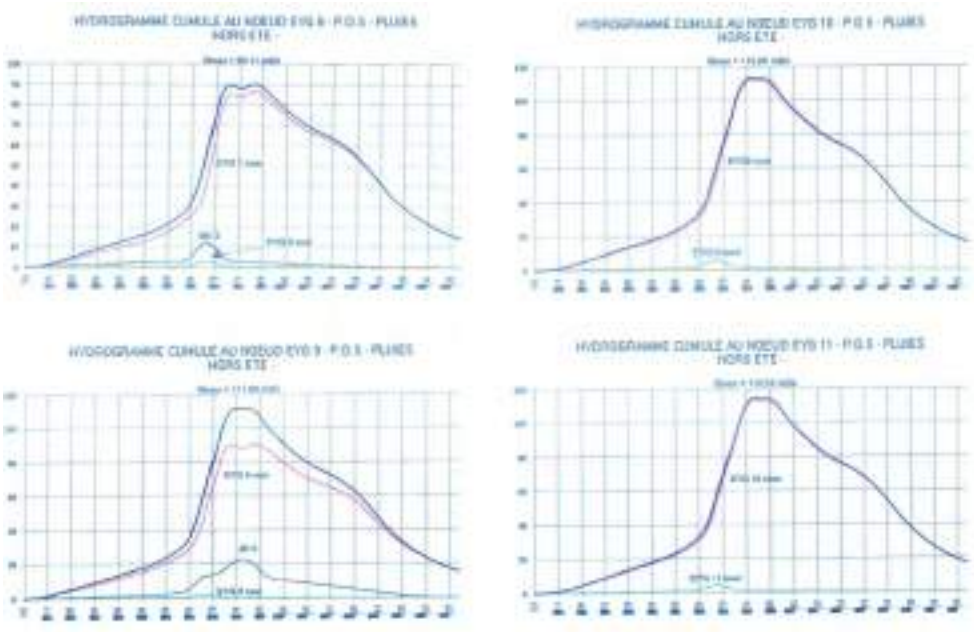
T (ans) / durée	5	10	25	50	100
30 mn	30 mm	38 mm	46 mm	56 mm	75 mm
60 mn	40 mm	50 mm	62 mm	75 mm	100 mm
120 mn	54 mm	67 mm	83 mm	101 mm	134 mm
180 mn	64 mm	80 mm	98 mm	120 mm	159 mm

Le rapport reprend les résultats des réponses des bassins versants à une pluie décennale de l'étude hydraulique du SIAH de l'Eygoutier (Daragon, 1993).

Le débit P.O.S pour une pluie décennale trouvé au pont de Clue est de 84,32 m3/s et au tunnel de Lamalgue de 114,54 m3/s.

Les hydrogrammes sont présentés (avec les débits de pointe encore différents des résultats présentés dans l'étude Daragon, 1993).





hydrogrammes - SIB (1994)

Enfin, du point de vue hydrogéologique, il est précisé que l'Eygoutier draine toujours la nappe profonde et que L'Eygoutier dans la plaine de la garde déborde 10 jours par an.

L'étude réalisée par GEOMIDI (1981) et la carte géologique de la région toulonnaise nous permettent de distinguer deux aspects environnementaux importants :

1– Le secteur entre La Garde et le Pradet renferme une **nappe profonde "semi captive"**, dans un synclinal triasique – Calcaires, dolomies et marnes – (Synclinal = pli concave des couches géologiques).
Les deux communes s'alimentent en eau potable en exploitant cette réserve en eau grâce aux deux captages de La Faux et Foncaussade auxquels sont attachés des périmètres de protection.

2– Dans la plaine de La Garde, la couche alluvionnaire de surface renferme une **nappe phréatique** superficielle. L'Eygoutier débordant environ 10 jours par an, la Plaine de la Garde est une zone très particulière en ce qui concerne sa faune et sa flore, elle est d'ailleurs signalée en tant que ZNIEFF.

Avis général sur le volet hydrologie de l'étude SIAH (SIB, 1993) :

- Le dossier reprend les données du dossier de Daragon (1992-1993) mais les hydrogrammes fournis ne correspondent pas. Il semble il y avoir un lien entre les modèles Est et Ouest.
- Le débit-POS au pont de la Clue (nœud EYG5) n'est plus que de 84.32 m3/s.
- Le débit à l'exutoire de 114.54 m3/s est le résultat de la combinaison des hydrogrammes du Pont de la Clue (nœud EYG5) et des hydrogrammes des affluents urbains. Le débit dérivé par le tunnel de la Clue ne semble pas pris en compte ?!

7.1.11 Etude hydrologique et hydraulique - Dimensionnement du nouveau tunnel du pont de la Clue (Sogreah/Daragon, 2002)

Le bassin versant étudié se limite à la Plaine de la Garde (amont du pont de Clue) et est dessiné sur une digitalisation des fonds au 1/2000ème de la Plaine de 1985.
Cette étude se fonde sur les données de Coyne et Bellier de 1978 et l'étude SCP de 1965 mais réalise des mises à jour, notamment en calculant la Q100 :

- **Pluviométrie.**
  - Des nouvelles données ont été acquises au poste de Toulon la Mitre (t>6h).
  - La lame d'eau décennale ~~pour les mois d'hiver et d'automne~~ a été évaluée pour les pluies de plus de 6 heures à la formule suivante : $H10 = 25.5\ t^{0.22}$. avec t en mn

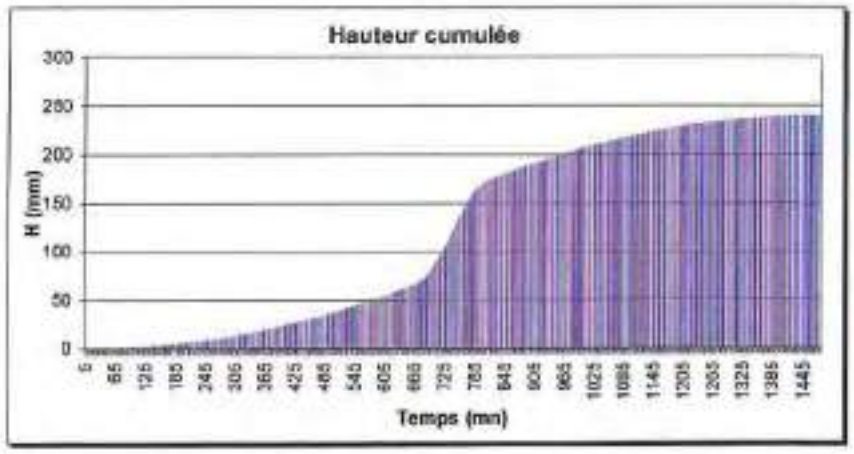
- Les hypothèses de Coyne et Bellier de 1978 sur la majoration des pluies entre Toulon et la plaine sont reprises ; ce qui abouti à la loi suivante : H10 = 1.2 x 25.5 $t^{0.22}$. (pour rappel Coyne et Bellier : P10=32.9 $t^{0.239}$). avec t en mn
- Pour obtenir la crue de retour 100 ans, l'étude utilise un facteur de 1.8 : H100 = 1.8 x 1.2 x 25.5 $t^{0.22}$=55 $t^{0.22}$. avec t en mn (correction apporté par CETE, 2003).
- Suite à l'application d'un facteur d'abattement spatiale de 0.88 on retrouve H100=48 $t^{0.22}$ et donc une moyenne de 211 mm uniforme sur tout le bassin.

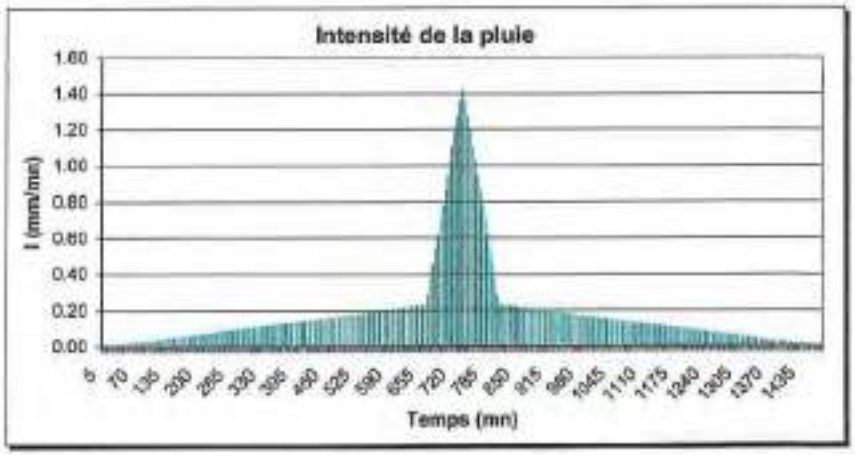
- **La pluie de projet (T100)**
  - Pour simuler la crue centennale, la pluie de projet retenue présente une durée critique de 24.5 h, soit une lame d'eau de 240 mm dont 108 mm sur une durée intense de 2.5h.
  - Suite à l'application d'un facteur d'abattement spatiale de 0.88 donc une moyenne de 211 mm uniforme sur tout le bassin.

Une deuxième pluie de projet est une précipitation de 300 mm en 1.5 jours ce qui correspond à une lame d'eau de 260 mm a aussi été testée.

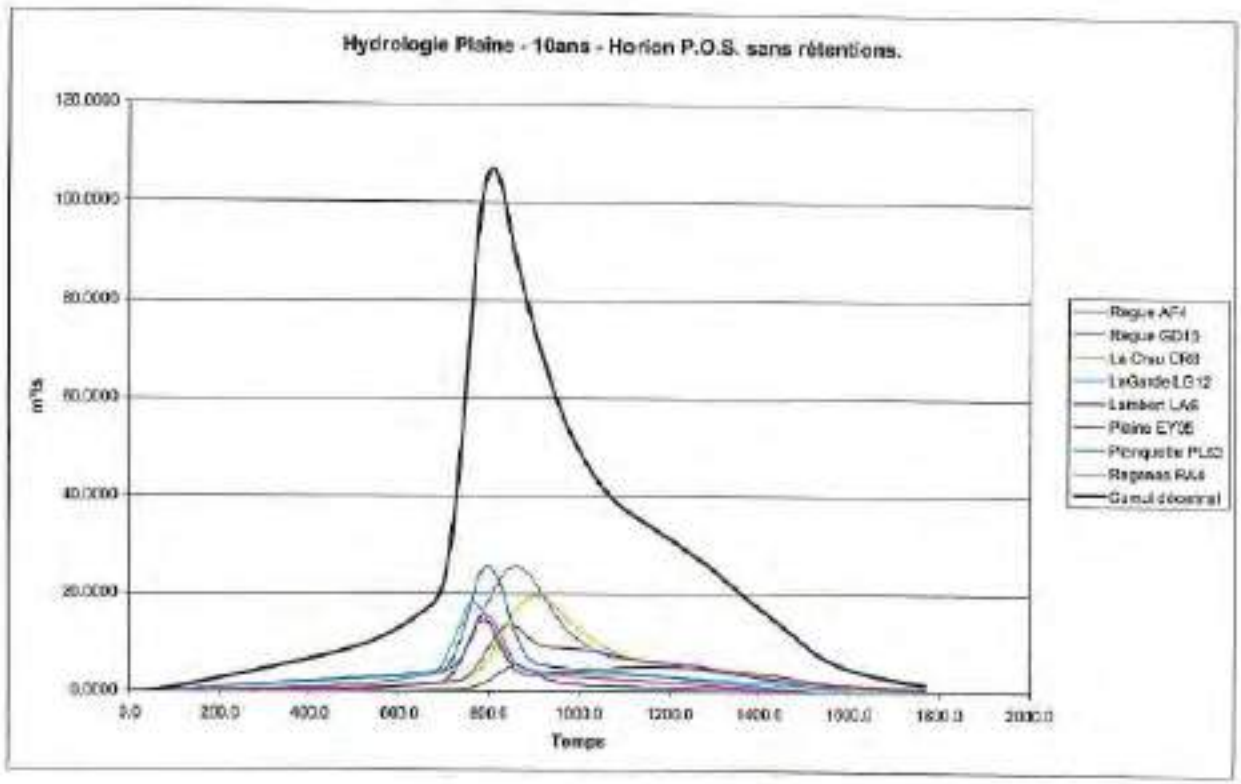
Poste/zone:	Toulon La mitre
Surface orage (ha)	7000
Période retour intense:	100ans
Période retour totale:	100ans

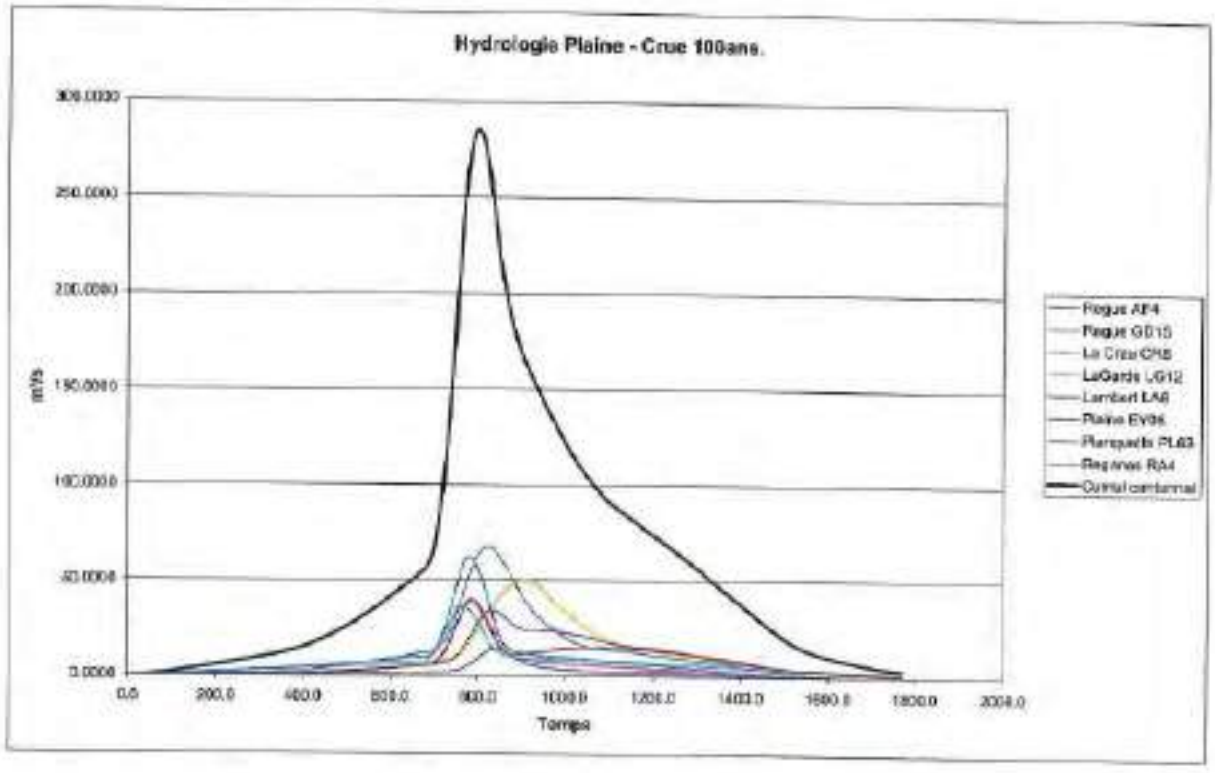
Durée totale (h)	24.5
Durée intense (h)	2.5
H sur période intense (mm)	108.1
H sur pluie totale (mm)	240.4

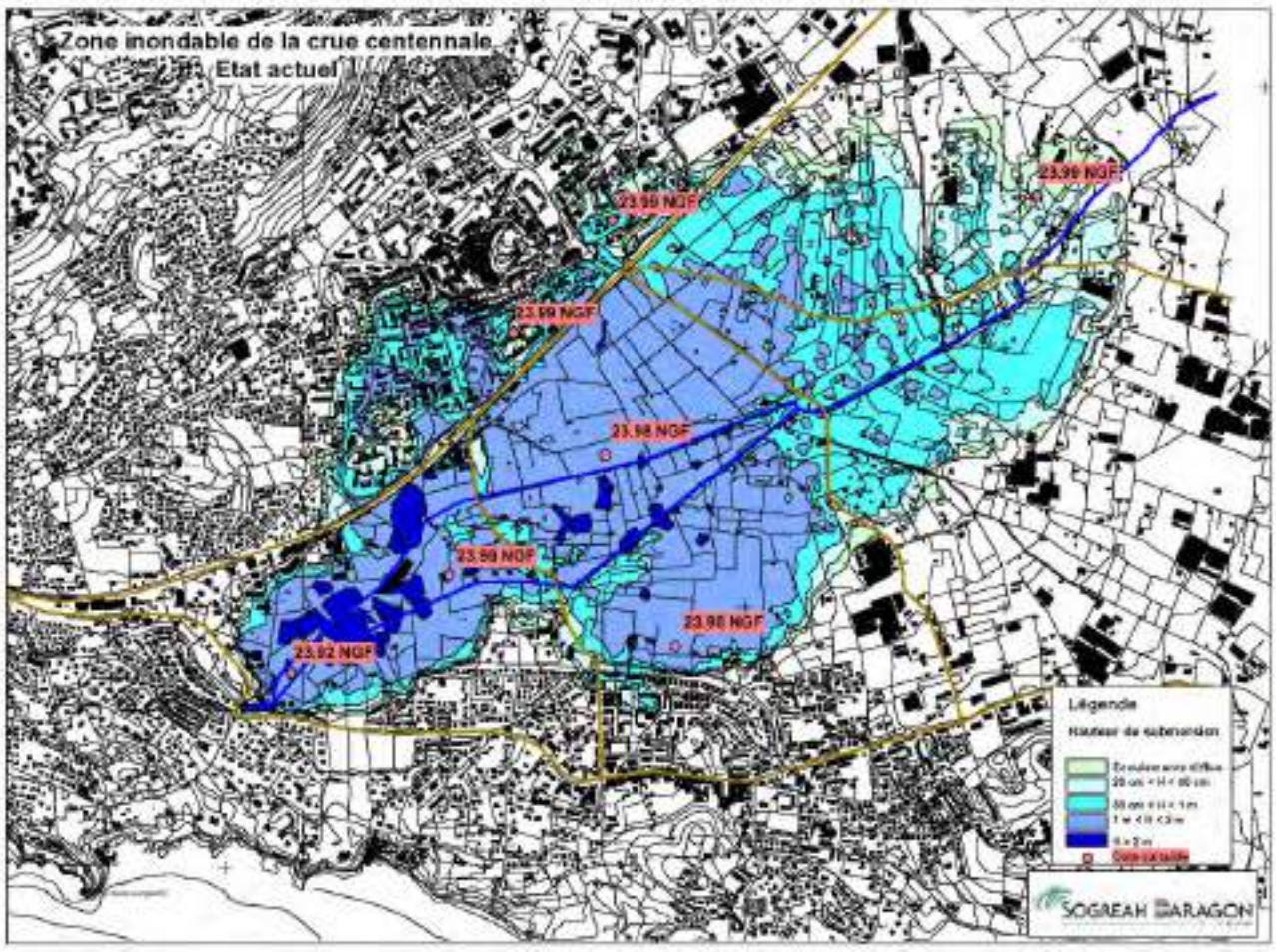




- **Les débits**. Le modèle pluie/débit (hydrogramme unitaire / SCS / Desbordes) se base sur le même découpage en SBV que Daragon (1993-1994) ; il est calé sur la crue de 1978. Des hydrgraommes sont dipsonibles sur lesquels il est possible de lire les débits de pointes suivant :
  - Débit décennal horizon P.O.S. trouvé au pont de Clue est de 108 m3/s.
  - Débit centennal horizon P.O.S au pont de Clue est de 285 m3/s.


Hydrologie Plaine - 10ans - Horion P.O.S. sans rétentions.
m³/s
Temps
Regua AF4
Regua GD15
La Creu CR8
LaGarde LG12
Lambert LA6
Plaine EY36
Parquette PL63
Regawas RA4
Cumul cantonnal


Hydrologie Plaine - Crue 100ans.
m³/s
Temps
Regua AF4
Regua GD15
La Creu CR8
LaGarde LG12
Lambert LA6
Plaine EY36
Parquette PL63
Regawas RA4
Cumul cantonnal



Avis sur l'étude :

- Au final, la pluie de projet utilisée n'est pas très explicite (il y a des erreurs de frappe?), ainsi que les débits obtenus qui ne sont pas écrit noir sur blanc.
- L'étude est intéressante du faite qu'elle cite la composante urbaine du bassin de la plaine, même si cela ne rentre pas beaucoup en jeu.
- Cette étude a été expertisée par le CETE en 2003.
- Les débits au niveau du tunnel du pont de la Clue constituent une référence intéressante pour le calage du modèle hydraulique (Etude du fonctionnement de l'Eygoutier – Phase 1, février 2018).

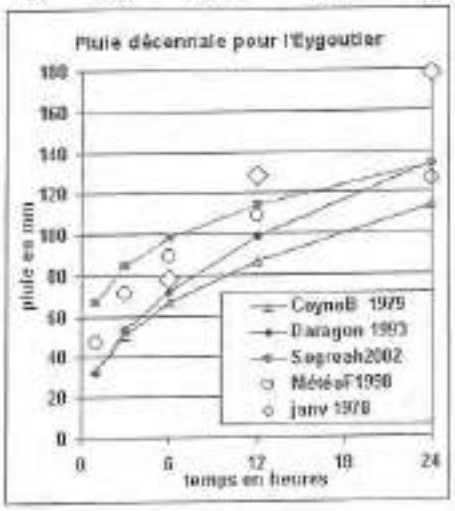
7.1.12 Mission d'expertise sur les études réalisées (CETE, 2003)

Ce document est une expertise des études de Coyne et Bellier de 1979, de Betuc et Daragon de novembre 1992, de Daragon Conseil de 1993, de Borel de 1994 et de Sogreah Daragon de 2002.
Les principales conclusions utiles sont :

- Justifier la pluviométrie utilisée et la mettre à jour. Etablir s'il est vraiment justifié de prendre une majoration des pluies sur la plaine de la Garde.

Comparaison des Pluies décennales retenues pour le bassin de l'Eygoutier

t en h	CoynaB 1979	Daragon 1993	Sogreah2002	MétéoF1998	janv 1978
1	32.0	32.2	86.3	47	
3	50.5	52.8	84.4	71	
6	66.2	72.1	95.3	89	78
12	86.7	98.5	114.5	109	128
24	113.6	134.5	133.4	126	178



- Nécessité de bien détailler les hypothèses hydrologiques notamment sur les pas de temps courts ;
- Nécessité de bien évaluer la répartition des débits au pont de la Clue et de prendre en compte les connections entre les deux SBV (Bassin de la plaine et bassin de Toulon) ;
- Nécessité de prendre en compte l'hydraulique des écoulements afin de reproduire l'amortissement de la crue sur la plaine de la Garde.

Avis sur l'étude :

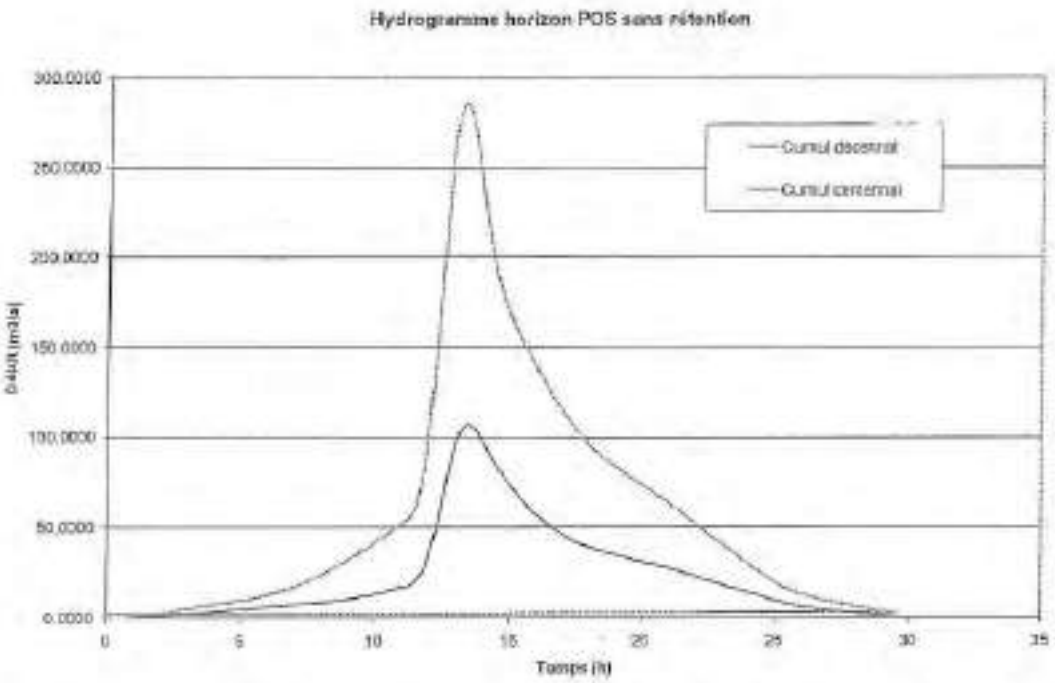
- Ce document fait lui-même appel à de nombreuses études antérieures.
- Les caractéristiques hydrauliques du tunnel du pont de la Clue sont mentionnées et seront réutilisés pour la modélisation hydraulique de ce tunnel (Etude du fonctionnement de l'Eygoutier – Phase 1, février 2018).

7.1.13 Réponse à la mission d'expertise du CETE (SOGREAH 2003)

- Sur la crue de 1978 :au niveau du pont de la Clue (CETE, 2003 page 83) :

Dans l'étude des lignes d'eau de l'Eygoutier dans sa partie en aval du seuil de Pont de la Clue, vers Toulon et La Garde, le débit retenu par le CETE correspondant à la crue de 1978 est de 10m³/s dans ce tronçon. Ce débit est corrélé à des observations de repères de crues de 1978.

- Sur les hydrogrammes :



Nota : cette sommation est naturellement « fictive » car elle ne tient pas compte des effets de stockage de la Plaine. Elle indique seulement ce que pourraient être les débits de ce bassin versant dans une configuration nettement mieux drainée.

7.1.14 Notice de présentation de l'opération de construction du nouvel hôpital sur le site de Sainte-Musse - Partie hydraulique (Sogreah, 2003)

Le bassin concerné est celui de Sainte-Musse sur le bassin Toulonnais de l'Eygoutier.
Les données pluviométriques sont données par la station de Toulon La Mitre avec un ajustement de facteur 1.8 pour obtenir les pluies centennales. Un comparatif des ajustements effectués par Météo France et les données antérieures de l'étude Daragon est présenté :

[mn]	6	15	30	60	120	180	360	720	1440
Météo France	17.7	34.7	54	72.2	89.5	103.6	148.1	170.0	196.1
Daragon	24.2	37.8	53.2	74.6	104.8	127.3	156.7	192.9	237.5
SIB			75	100	134	159			

La pluie de projet centennale est de :

- H100 = 10.04 $t^{0.49}$ pour t < 180mn, H la lame d'eau en mm
- H100 = 26.80 $t^{0.30}$ pour t > 180 mn

Les apports cumulés aux frontières du modèle donnent un débit maximal de 25 m3/s.

7.1.15 Nouveau tunnel du pont de Clue (SOGREAH 2004- citée par SCE, 2007)

Le bassin versant étudié est l'est de la ville de Toulon entre l'échangeur de Toulon-est et le site du nouveau tunnel de la Clue.
La loi de Montana utilisée est :

- I100=10.1 $t^{-0.51}$ pour t < 3h
- I100 = 26.8 t-0.7 pour t > 3 h

Un ajustement de 1.8 a été utilisé pour passer de la décennale à la centennale. La pluie de projet centennale résultante est d'intensité maximale 5.5 mm/mn et de précipitation 180 mm en 10 h.
Les débits estimés sont alors de 7.5 m3/s pour le bassin versant du Thouars (0.5km²), de 45 m3/s pour le bassin de Ste Musse (3.3 km²) et de 50 m3/s pour le bassin de St Joseph (8.1 km²).

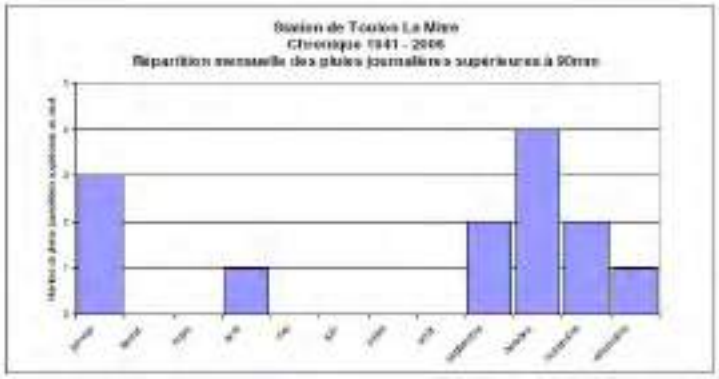
Avis sur l'étude :

- Deux simulations hydrauliques ont été réalisées sur la totalité de la plaine de La Garde, pour la crue centennale et pour une crue de 300 mm en 1.5 jours. Les PHE atteintes sont données.

7.1.16 Schéma stratégique de lutte contre les inondations sur le bassin versant toulonnais de l'Eygoutier (SCE, 2007)

Cette étude se concentre sur le bassin versant Toulonnais de l'Eygoutier. C'est l'étude la plus complète. Après une synthèse des principales études réalisées sur le bassin versant de l'Eygoutier, elle propose une analyse hydrologique, puis hydraulique, des écoulements sur le bassin versant de l'Eygoutier sur la commune de Toulon.

- **Pluviométrie (partie II).**
  - L'étude analyse la répartition des pluies journalières à la station de Toulon la Mitre (supérieures à 10, 50 et 100 mm) sur des données de 1941 à 2006 (calculées de 6 h du matin à 6h le lendemain). Les mois d'octobre et janvier sont les plus susceptibles de produire des pluies exceptionnelles. Les mois d'octobre et janvier représentent plus de 50% des jours de pluie supérieure à 90 mm. Ces mois d'octobre à janvier sont les mois où la saturation des sols a des chances d'être importante (Cf. analyse de l'ETP dans la partie I : « Contexte Climatologique »).



  - Une **analyse statistique a été réalisée sur les pluies journalières maximale**s annuelles. L'ajustement retenu est un ajustement de Gumbel à deux paramètres, adapté à l'étude de la pluie centennale. Ainsi la pluie journalière décennale (à origine fixe) est évaluée à 105mm, la pluie journalière centennale (à origine fixe) est évaluée à 155 mm.

GUMBEL: Moments 2 paramètres		
paramètre a	55.94	
paramètre b	21.60	
T	F(u)	x(t)
2	0.5000	63.9
5	0.8000	88.3
10	0.9000	104.5
20	0.9500	120.1
25	0.9600	125.0
30	0.9667	129.0
50	0.9800	140.2
75	0.9867	149.0
100	0.9900	155.3
500	0.9980	190.1

Pour passer de la pluie à origine fixe à la pluie de 24h à origine variable, il est admis que généralement un rapport de 1.14 peut être appliqué. (Il ne s'agit pas d'une méthode exacte).
On obtient alors :
P24h10=120mm
P24h100=177mm

  - Une **analyse sur les conditions antécédentes** a été menée. Une approche simple a été retenue : Pour toute pluie journalière supérieure à 70 mm (soit 35 évènements pluvieux), la pluviométrie des 1 jours, 3 jours et 5 jours antécédents a été calculée. Il existe une corrélation d'occurrence entre la pluie antécédente et la pluie déclenchante : les jours précédant une pluie exceptionnelle sont susceptibles plus que de moyenne de présenter une pluviométrie significative. Cette pluie antécédente se produit le plus souvent sur les 1 à 3 jours qui précèdent la pluie exceptionnelle. Cependant la matrice corrélative montre que pratiquement aucune corrélation n'existe entre la hauteur de pluie antécédente et la hauteur de la pluviométrie exceptionnelle, ce qui signifie qu'une pluie déclenchante forte n'est pas associée à une pluie antécédente forte.
  - La spatialisation de la pluie. **La pluie déclenchante concernant le bassin versant toulonnais de l'Eygoutier est supposée uniforme** compte tenu de la faible superficie de l'aire 'étude (environ 20km², ce qui est cohérent avec la taille d'une cellule orageuse).
    Les pluies fortes à Toulon sont associées à des pluies fortes à Cuers (la réciproque n'a pas été étudiée). Si on revient au tableau page suivante, on observe que sur les évènements forts à Toulon, la pluviométrie à Cuers est le plus souvent inférieure. Cela vient en grande partie de la construction du tableau (les pluies de Cuers ont été choisies en fonction

des maxima sur Toulon). Toutefois, cela permet de dissiper l'idée que la pluie de Cuers serait systématiquement supérieure à celle de Toulon. Cela est faux lorsqu'on s'intéresse aux crues du secteur toulonnais, ce qui est le cas de la présente étude. Les évènements de 1968 et 1999 apparaissent plus fort sur Cuers, ce qui explique la crue qui en a découlé malgré une pluviométrie non exceptionnelle sur Toulon.
Les pluies horaires de 2006 avec un cumul de 80 mm à Toulon La Mitre en une heure et de 74.2mm à La Valette indiquent que la pluie étai assez homogène sur le bassin versant, ce qui confirme l'hypothèse d'un faible abattement.

- Les courbes Intensité-Durée-Fréquence sont reproduites à partir des paramètres de Montana calculées à la station de Toulon La Mitre par Météo France. Deux plages de valeurs ont été calculées :
  - les pluies de 15 minutes à 2h ;
  - les pluies de 2 heures à 24 heures.

  Les lames d'eau correspondantes sont inférieures aux valeurs utilisées dans les études hydrauliques concernant le Plaine de la Garde depuis 1993, pour deux raisons :
  - pas de majoration de la plaine de 20%
  - Rapport Pj10/Pj100 de 1.5 (plus faible, pris à 1.8 pour les autres études)

Station	Toulon
Source	MétéoFrance
Période	1971-2006

Période de retour (ans)	Durée	Hauteur d'averse (mm) 15'	30'	60'	120'	240'	360'	720'	1440'
	1 ans								
	2 ans								
	5 ans	18mm	25mm	34mm	48mm	59mm	67mm	84mm	104mm
	10 ans	22mm	30mm	41mm	57mm	70mm	80mm	99mm	123mm
	20 ans	26mm	35mm	48mm	65mm	81mm	92mm	114mm	141mm
	25 ans								
	30 ans	28mm	38mm	52mm	70mm	87mm	99mm	123mm	152mm
	50 ans	32mm	43mm	57mm	78mm	95mm	107mm	133mm	165mm
	75 ans								
	100 ans	37mm	49mm	64mm	84mm	106mm	120mm	149mm	184mm

Période de retour (ans)	Paramètres de Montana Couple 1 t mini	t maxi	Couple 2 t mini	t maxi
	6	120	121	1440
	a (mm/mn)	b(mn)	a (mm/mn)	b(mn)
1				
2				
5	4,868	0,522	10,265	0,681
10	6,144	0,536	12,389	0,684
20	7,695	0,554	14,525	0,687
25				
30	8,718	0,565	15,771	0,688
50	10,257	0,581	17,315	0,69
75				
100	12,688	0,605	19,455	0,691

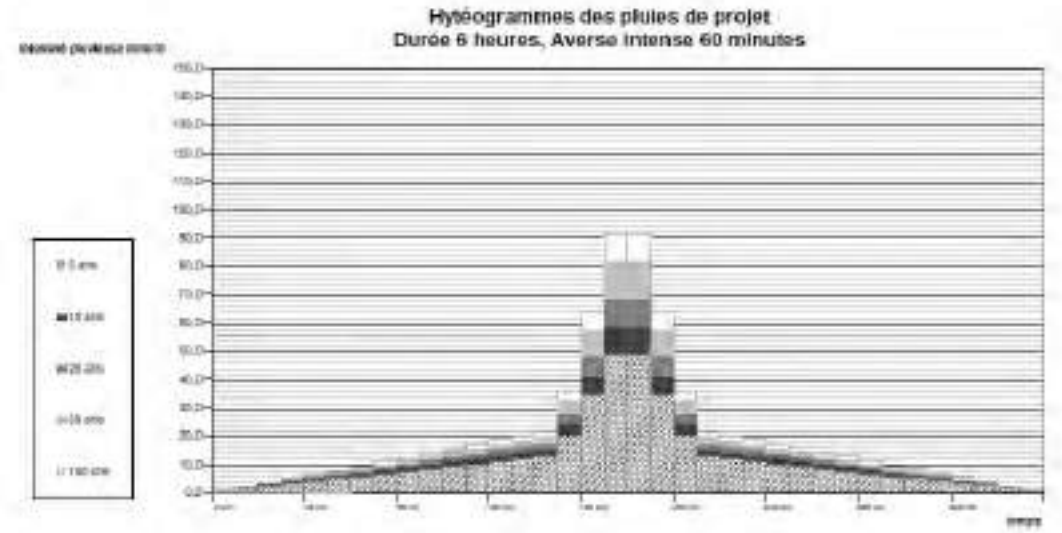
Durées	Coefficients	Période de retour (ans) 2	5	10	20	30	50	100
D < 2h	a		4.868	6.144	7.695	8.718	10.257	12.688
	b		0.522	0.536	0.554	0.565	0.581	0.605
	1-b		0.478	0.464	0.446	0.435	0.419	0.395
2h < D < 24h	a		10.265	12.399	14.525	15.771	17.315	19.455
	b		0.681	0.684	0.687	0.688	0.690	0.691
	1-b		0.319	0.316	0.313	0.312	0.310	0.309

Tableau 10 : Coefficients de Montana (avec durée en minutes et hauteur d'eau en mm) – étude de SCE

Cité par Ingerop (2017)

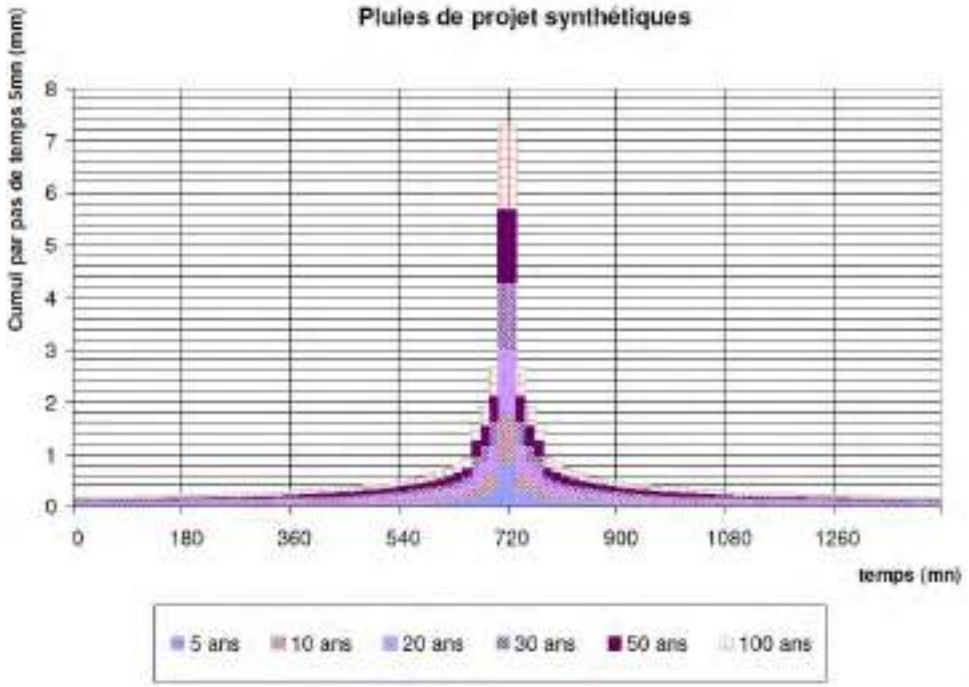
- **Pluie de projet.**
  - **La pluie est uniforme.** La taille du bassin versant comparable avec celui d'une cellule orageuse : un blocage sur les massifs du Faron et du Coudon entraîne une cellule centrée vers le milieu du bassin versant. Il n'est pas appliqué de coefficient d'abattement. Ls données de Toulon la Mitre ne sont pas majorées au niveau des versants montagneux. Il n'est pas appliqué de coefficient d'abattement. Il n'est pas proposé de « balayer » le bassin versant par une précipitation car compte tenu des temps de concentration comparables des trois principaux axes d'écoulement la situation pénalisante est une pluie homogène.
  - Les temps de concentration allant de 30 minutes à 1h, **plusieurs formes de pluies** de projet ont été testées :

- des pluies double-triangle, dite de « Desbordes. Les lames d'eau correspondant aux durées intermédiaires ne sont pas strictement indexées sur les paramètres de Montana (une pluie double triangle symétrique de durée totale 4h et de période intense 30mn ;- une pluie double triangle symétrique de durée totale 6h et de durée intense 6h.)



- **des pluies synthétique ou de « Keifer »,** qui par construction permettent d'obtenir une lame d'eau correspondant à la période de retour de la plie de projet quelle que soit la durée de pluie considérée (construction d'une pluie synthétique de durée totale 24h et de période intense 30mn avec un pas de temps 5mn).

L'avantage de la pluie double triangle est la cohérence avec les études antérieure, la cohérence de la forme par rapport à des évènements réels. La pluie synthétique permet quant à elle de maximiser les débits au travers de l'ensemble du bassin versant, tout en gardant une base longue de 24h qui cause une saturation des sols et des scénarios pessimistes en termes de volume d'écoulement et de débits de pointe : de telles pluies sont moins réalistes et conduisent donc à une surestimation des débits. Elle constitue un cas très pénalisant du fait de sa construction maximisant les hauteurs d'eau pour tous les pas de temps, ce qui n'est pas le cas d'une pluie réelle. Ces deux types de pluie ont été testés, le choix se base sur les résultats obtenus. Au final, o**n retiendra la pluie synthétique** qui fournit des résultats supérieurs en terme de débit de pointe, en réalisant notamment une saturation des sols en début de pluie.



- **Au final, les pluies de projet de périodes de retour 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans sont des pluies synthétiques de durée 24 heures et de période intense 30 minutes.**

- **Résultats de la modélisation hydrologique (démarche de modélisation hydrologique pure).**
  Le bassin est découpé en bassins versants « élémentaires » de taille réduite, qui servent de base aux modélisations sur la base des données de topographie et du plan du réseau pluvial primaire. Les bassins versants globaux sont calculés en tenant compte en première approximation de l'hydraulique des écoulements dans les axes d'écoulement (ruisseaux, Saint Joseph et Sainte Musse, Eygoutier).

Les temps de concentration des trois principaux axes d'écoulement sont comparables. Les conséquences sont :

- o des débits de pointe élevés au niveau de l'Eygoutier en amont du tunnel de l'autoroute, du fait de la **concomitance des hydrogrammes**,
- o la nécessité d'appliquer une **pluviométrie synchrone sur l'ensemble de l'aire d'étude**.

Le modèle hydrologique retenu (application du modèle du S.C.S pour le calcul de la lame ruisselée, de l'hydrogramme unitaire du S.C.S. pour le routage) nécessité pour caractériser l'occupation des sols les paramètres suivants :
- Coefficient d'imperméabilisation ;
- Curve Number CN des surfaces non imperméables

Les résultats en termes d'hydrogrammes non écrêtés sont disponibles au niveau de tous les points de calcul.

Bassins versants

Figure 1



Les caractéristiques moyennes par cours d'eau sont données par le tableau ci-après :

	Nombre de bassins versant élémentaires	Superficie totale (km²)	Longueur moyenne (m)	Pente moyenne [m/m]	Temps de concentration moyen [mn]
Eygoutier amont confluence Saint Joseph	20	4,3	831	0,049	18
Eygoutier aval	14	3,5	941	0,063	18
Saint Joseph	26	8,5	1 140	0,178	12
Saint Musse	17	2,8	730	0,029	22

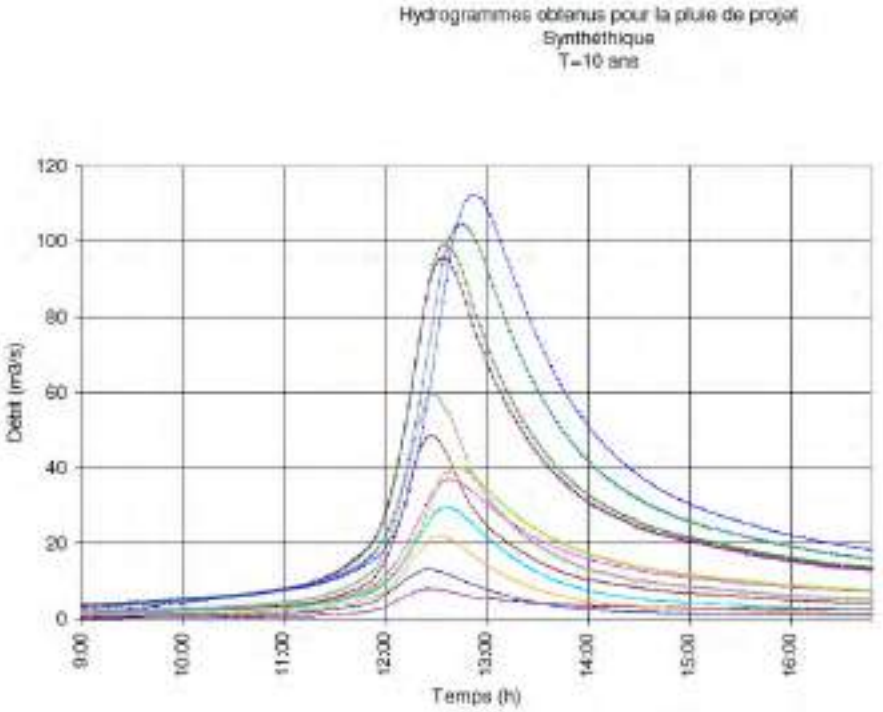
Tableau 1: Caractéristiques bassins versants élémentaires

	Données sur l'écoulement en première approximation						temps d'écoulement	
Cours d'eau	largeur moyenne (m)	hauteur moyenne (m)	pente (m/m)	Rugosité	vitesse (m/s)	Longueur (m)	temps parcours (mn)	temps total (temps écoulement +15')
Saint-Joseph	2	2	0.025	20	3.8	3500	15	30
Sainte-Musse	1.5	1.5	0.01	20	1.7	2500	25	40
Eygoutier amont confluence Saint Joseph	6	1.5	0.002	25	2.7	3000	18	33

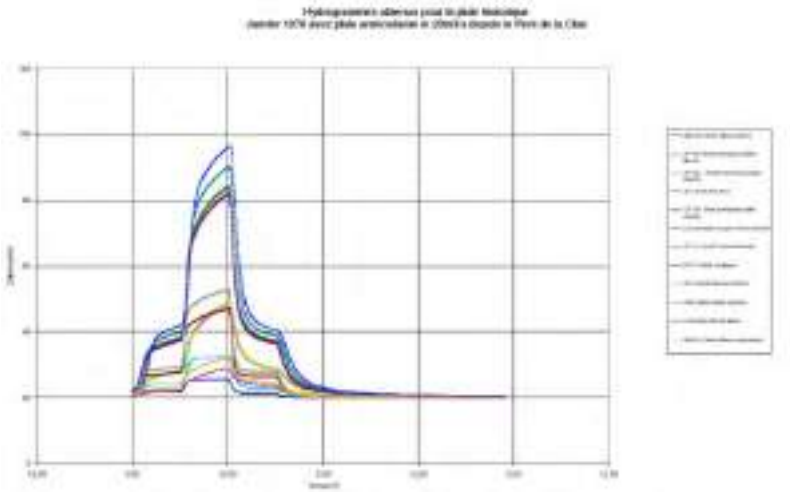
Tableau 2: Bassins versants globaux

Les résultats Q10 et Q100 sont les suivants (voir page 167 , SCE, 2007) :

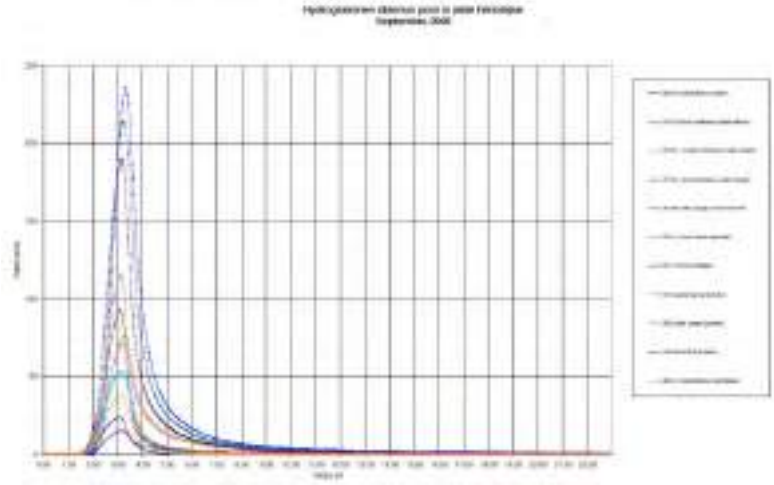
Cours d'eau	Nœud	Q10 (m^3/s)	Q100 (m^3/s)
Eygoutier	*Amont Pont de la Clue*	*140*	*280*
	Aval Pont de la Clue	5	10
	Aval confluence Sainte-Musse	37	68
	Aval Confluence Saint-Joseph	96	193
	Amont A57	99	193
	Aval A57	105	212
	Tunnel de Lamalgue	112	229
Sainte-Musse	Amont	13	23
	Exutoire	29	51
Saint-Joseph	Amont Font Pré	48	104
	Exutoire	60	128



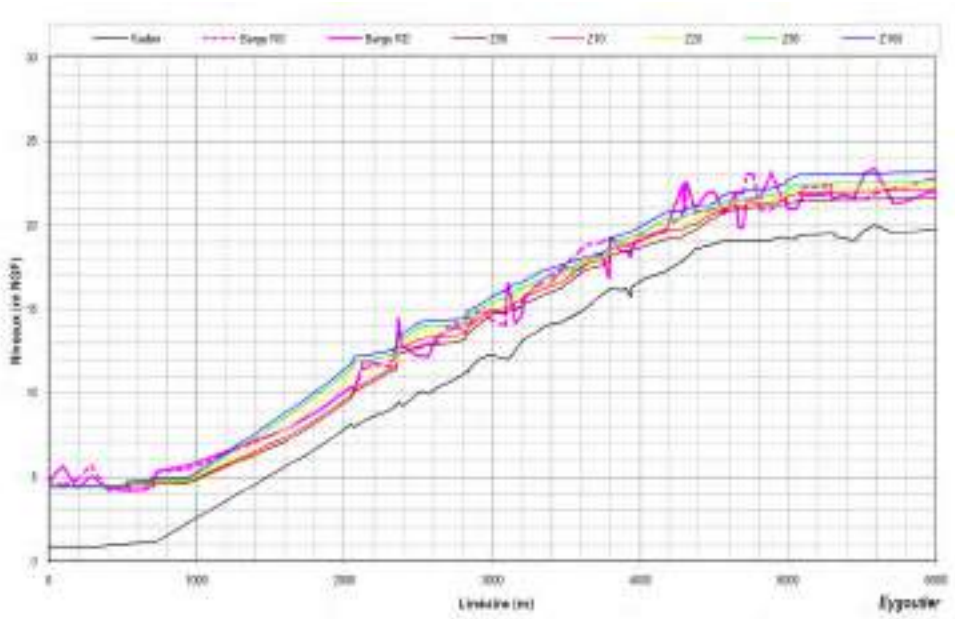
- **Résultats de la modélisation hydrologique pour les crues de 1978 et 2006.**
  - La pluie de 1978 n'est pas disponible sur un pas de temps court à la station de Toulon. Le hyétogramme obtenu en plaine de la Garde (issu de l'étude SOGREAH sur la plaine de la Garde) permet de mettre en évidence que la pluie a été relativement homogène pendant 6h, au pas de temps d'observation 2h.(Qp~95 m3/s au tunnel de Lamalgue).



- La pluie de septembre 2006, courte mais d'une période de retour supérieure à la centennale, produit des débits très proches de ceux obtenus avec notre pluie de projet centennale. Le calage par rapport à cette pluie permettra donc de bien représenter les inondations en crue centennale. (Qp ~230 m3/s au tunnel de Lamalgue). Cet évènement est estimé à une occurrence tricentennale en terme de débit par les services de la Ville de Toulon.



- **Calage "hydraulique".** Les pluies utilisées pour le calage du modèle sont les pluies du 24/25 septembre 2006 et du 16 janvier 1978. Le débit au pont de la Clue est de 10m3/s pour une pluie centennale, de 11m3/s pour une pluie de type 1978. Pour la crue de septembre 2006, il apparaît que le débit provenant du pont de la Clue était négligeable.
  Le calage "hydraulique" par rapport aux laisses de crue de 2006 a permit de bien représenter les inondations en crue centennale. Du fait des débordements amont le débit de pointe de crue centennale atteint les 60 m³/s dans le lit mineur à la sortie du tunnel de l'autoroute. Le débit transitant dans le tunnel de Lamalgue s'élève à 41.2 m³/s pour une pluie centennale. Sa capacité d'écoulement maximale est donc atteinte dès la crue décennale.



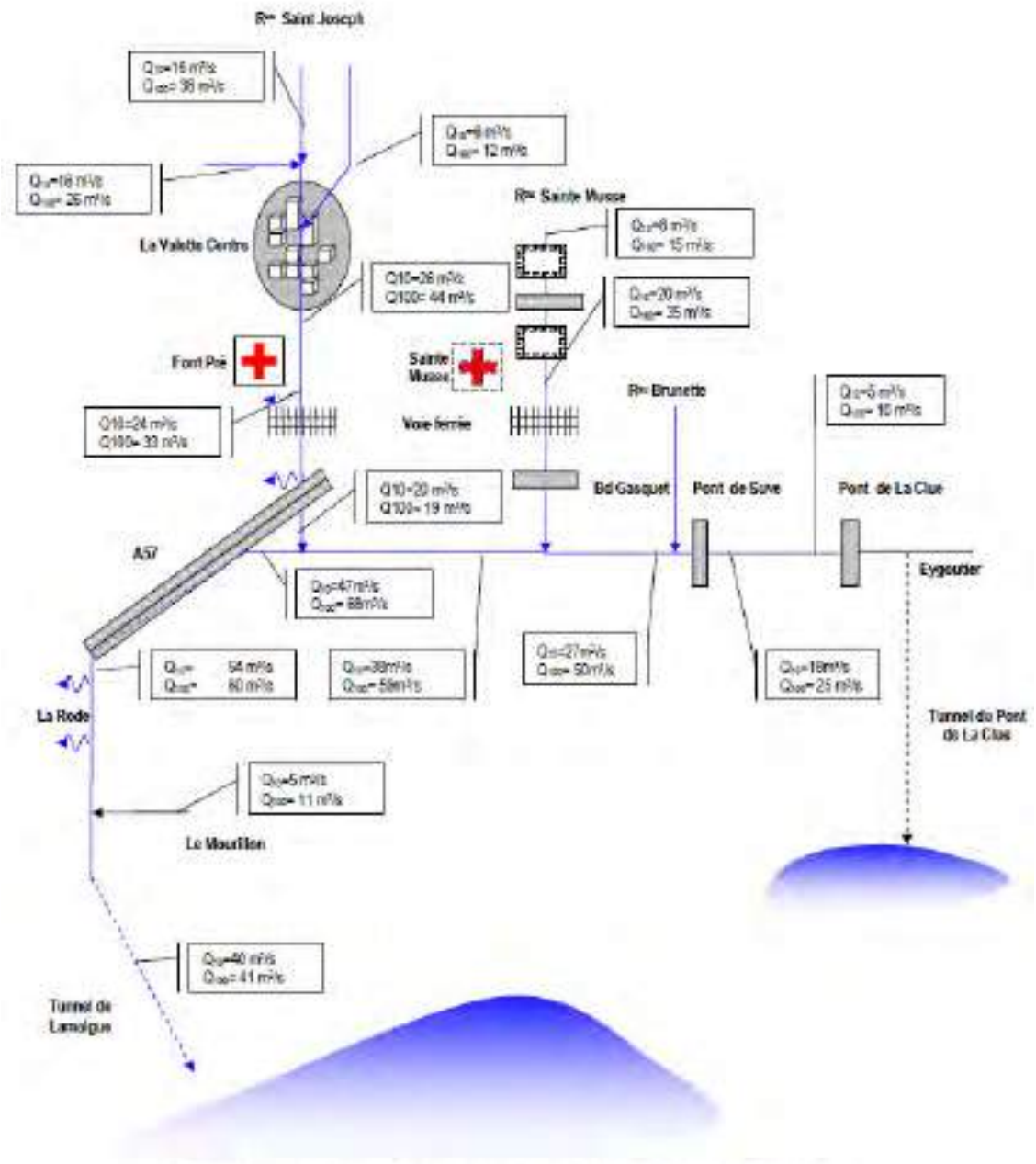


Schéma Stratégique de lutte contre les inondations de l'Eygoutier
Synoptique des débits en situation actuelle

Avis sur le volet hydrologie :

- Etude très complète, avec des hypothèses bien établies.
- Pas assez d'info sur les points d'injection dans le modèle hydraulique.
- Débits "hydrauliques" qu'il faudrait valider ?

Avis sur le volet hydraulique (Etude du fonctionnement de l'Eygoutier – Phase 1, février 2018) :

- **Les modélisations hydrauliques sont réalisées avec XP-SWMM**, **modèle hydraulique bidimensionnel**. Elles portent sur les cours d'eau situées dans la partie toulonnaise du bassin versant de l'Eygoutier : le St Joseph, le Ste Musse et l'Eygoutier.
- Les **cartographies de zone inondables** pourront servir à vérifier la cohérence des résultats, tous comme les éléments singuliers signalés. **Les bassins versants sur la partie Toulonnaise pourront être réutilisés**.

7.1.17 Aménagement de l'Eygoutier – Plaine de la Garde (HYDRATEC, 2008)

L'étude concerne l'Eygoutier et ses affluents dans la plaine de la Garde. Le bassin versant considéré est de 47.1 km² au tunnel de la Clue (50 à 70 km² pour les autres études).

		Nom	Noeud	Superficie	% urb/Sup	Cote min	Cote max 1	Cote max 2		longueur 1	longueur 2	Pente 1	Pente 2
		BV	d'injection										
				km²	%	mNGF	mNGF	mNGF	Calcul cote max 2	km	km	%	%
Eygoutier	amont Lambert	Ey01	Eyg01	8.81	57%	23.0	298			5.78		4.76%	
	aval Lambert		Eyg01b	15.16	42%	22.6	298	380.0	/Lambert	5.78	7.48	4.76%	4.78%
	aval Régana	Ey02	Eyg02	25.87	36%	22.6	298	700.0	/Régana	6.84	7.23	4.03%	9.37%
	aval Régue et Artaude		Eyg04	31.52	31%	22.2	298	700.0	/Régana	7.55	7.94	3.65%	8.54%
	amont RD68	Ey03	Eyg05	33.38	32%	21.0	298	700.0	/Régana	8.58	8.97	3.23%	7.67%
	amont confluence avec nouvel Eygoutier	Ey04	Eyg07	34.81	33%	20.7	298	700.0	/Régana	9.63	10.02	2.88%	6.78%
	amont tunnel	Ey05	Eyg06	47.10	41%	20.7	298	700.0	/Régana	10.02	10.41	2.77%	6.53%
Nouvel Eygoutier	Vieil Eygoutier amont déversoir	Ve01	NVe01	0.51	41%	22.0	30.0			1.33		0.60%	
	amont Planquette	Pl1	NVe02	8.34	0%	21.3	30	700.0	/Planquette	1.96	5.98	0.45%	11.35%
	aval Vieil Eygoutier	Ve02	NVe03	10.10	0%	21.0	30	700.0	/Planquette	2.87	6.99	0.31%	9.84%
	amont confluence Eygoutier	Ve02	NVe5	12.29	68%	20.7	30	700.0	/Planquette	3.82	7.85	0.24%	8.66%
Affluent	Lambert	La01	La01	6.35	63%	23.0	380.0			7.48		4.77%	
	Régana	Ra01	Ra01	7.94	63%	22.6	700.0			7.23		9.37%	
	Planquette	Pl01	Pl01	7.83	66%	21.3	700.0			5.98		11.35%	
	Régue	Re01	Re01	4.47	66%	22.2	294.0			4.34		6.27%	
	Artaude	Ar01	Ar01	1.17	28%	22.3	80.0			3.82		1.91%	
Sous bassins versants	Terrascas - Vieil Eygoutier aval déversoir	Ve02	Ve02	1.76	64%	21.5	132.0			2.25		4.90%	
	Eygoutier aval Lambert	Ey02	Eyg02	2.77	0%	22.6	76			2.86		1.67%	
	Eygoutier amont RD68	Ey03	Eyg05	1.87	48%	21.0	88			1.74		3.40%	
	Eygoutier amont tunnel aval RD 68 RG	Ey04	Eyg06	1.42		20.7	65			1.66		2.66%	
	Eygoutier aval RD68 amont tunnel RD	Ey05	NVe04	2.20	75%	20.7	120			2.76		3.59%	

Les valeurs de cote max 1, longueur 1, Pente 1 correspondent aux grandeurs le long de l'axe de l'Eygoutier ou du Nouvel Eygoutier (pente plus faible)
La cote max 2 correspond à la cote maximale du bassin versant (affluent Lambert, Régana ou Planquette) (pente plus forte).

- **Pluviométrie.** Les hypothèses de L'étude de Coyne et Bélier 1979 sont reprises en multipliant les pluies de Toulon par 1.2 pour la plaine.

	coefficients de montana							
	Toulon	La Mitre			Plaine de la Garde (Toulon x 1.2)			
Période de retour	moyen de 2 h à 24h		de 15mn à 2h		de 2 h à 24h		de 15mn à 2h	
	a	b	a	b	a	b	a	b
5	12.265	0.681	4.868	0.522	12.318	0.681	5.842	0.522
10	12.389	0.684	6.144	0.636	14.879	0.684	7.373	0.636
20	14.525	0.687	6.144	0.684	17.430	0.687	7.373	0.684
30	15.771	0.688	7.695	0.695	18.925	0.688	9.234	0.695
50	17.315	0.690	8.719	0.681	20.778	0.690	10.462	0.581
100	19.455	0.691	12.688	0.605	23.346	0.691	15.226	0.605
	Pluie				Pluie			
	Pj10	mm	123.4		Pj10	mm	148.1	
	Pj100		184.1		Pj100		220.8	
	P annuelle	mm	683		P annuelle	mm	820	
	T annuelle	°C	16.2		T annuelle	°C	16.2	
	Grades pluie journalière		25.80	mm	Grades pluie journalière		30.96	mm

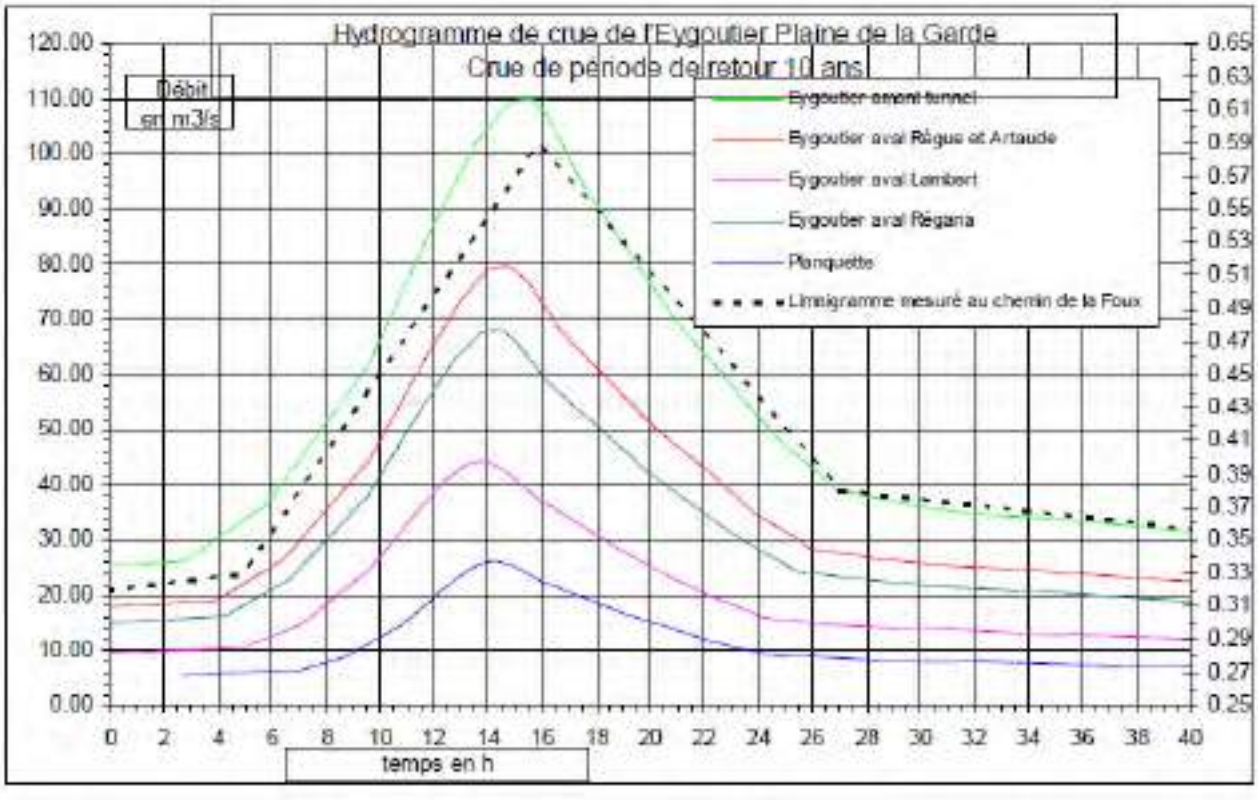
CALCUL DES HAUTEURS DE PLUIE QUINQUENNALE A CENTENNALE							
		T=5 ans	T=5 ans	T=10 ans	T=10 ans	T=100 ans	T=100 ans
		Toulon	Plaine de	Toulon	Plaine de	Toulon	Plaine de
Durée	Durée	La Mitre	la Garde	La Mitre	la Garde	La Mitre	la Garde
minutes	heures	mm	mm	mm	mm	mm	mm
6	0.10	11.5	13.8	14.1	16.9	25.7	30.9
10	0.17	14.8	17.8	17.9	21.5	31.5	37.8
20	0.33	20.4	24.6	24.7	29.6	41.4	49.7
40	0.67	28.4	34.1	34.0	40.8	54.6	65.4
60	1	34.5	41.4	41.1	49.3	63.9	76.7
120	2	48.0	57.6	56.6	68.0	84.1	100.9
240	4	59.0	70.8	70.1	84.1	106	127.0
360	6	67.1	80.6	79.6	95.6	120	143.9
480	8	73.0	88	87.2	105	131	157
600	10	79.0	95	93.8	112	140	169
720	12	83.7	100	99.2	119	149	178
960	16	91.8	110	108.6	130	162	195
1200	20	98.5	118	116.5	140	174	209
1440	24	104.4	125	123.4	148	184	221

- **Données :** Les données disponibles concernent uniquement la station véolia sur une période de 2 ans et demi. Seuls les débits ordinaires de période de retour mensuelle pourront être extrapolés à l'aide de ces valeurs. Les stations situées à proximité du secteur sont utilisées à titre de validation :
  - Le Gapeau à Solliès, bassin de 169 km², 38 années d'observation 1969-2007
  - Le Gapeau à Hyères 517km², 42 années d'observation 1965 - 2007
- **Détermination des débits de crue.** La détermination des débits de crue a été réalisée sur la base des caractéristiques physiques et d'occupation des sols des bassins versants et en mettant en oeuvre les formulations classiques de calcul du débit de pointe (crupédix, Rationnelle, transition, comparaison avec les données du Gapeau). Les débits centennaux ont été calculés par différentes méthodes (Comparaison avec les bassins versants jaugés du Gapeau à Hyères et Solliès, méthode du Gradex...).

TABLEAU RECAPITULATIF DES GRANDEURS HYDROLOGIQUES

NOM		Eygoutier aval Régana	Eygoutier aval Règue et Artaude	Eygoutier amont RD86	Nouvel Eygoutier amont déversoir	Nouvel Eygoutier aval Planquette	Eygoutier amont tunnel	Planquette	Régana
Surface	Km²	25.9	31.5	33.4	0.5	8.3	47.1	7.8	7.9
pente	%	4.0%	3.7%	3.2%	0.6%	11.3%	2.8%	11.3%	9.4%
% urb/Stot	%	35.8%	31.1%	31.7%	0.0%	60.0%	41.4%	63.9%	37.2%
Temps de concentration	h	3.12	3.58	3.97	1.53	5.27	5.01	1.17	1.34
Durée Socose	h	5.14	5.47	5.58	1.46	3.58	6.22	3.51	3.52
Débit centennal	m3/s	173.4	203.0	212.6	7.5	70.1	280.0	66.6	67.4
Débit décennal	m3/s	68.1	79.8	83.5	2.9	27.5	110.0	26.2	26.5
Débit quinquennal	m3/s	51.7	60.5	63.4	2.2	20.9	83.5	19.9	2.5
Débit 2 ans	m3/s	26.9	31.4	32.9	1.2	10.9	43.4	10.3	10.4
Debit annuel	m3/s	2.34	2.74	2.87	0.10	0.95	3.79	0.90	0.91
Débit 6 mois	m3/s	1.83	2.14	2.24	0.08	0.74	2.95	0.70	0.71
Débit 4 mois	m3/s	1.53	1.79	1.87	0.07	0.62	2.46	0.59	0.59
Débit 2 mois	m3/s	1.05	1.23	1.29	0.05	0.42	1.69	0.40	0.41
débit mensuel	m3/s	0.59	0.69	0.72	0.03	0.24	0.95	0.23	0.23
débit bimensuel	m3/s	0.36	0.42	0.44	0.02	0.15	0.58	0.14	0.14

- **Les hydrogrammes de crues caractéristiques** sont basés sur les données théoriques de débit de pointe et adaptés à la forme des limnigrammes enregistrés au chemin de la Foux.



Avis sur le volet hydrologique :

- C'est la seule étude qui regarde les stations hydrologiques limitrophes.
- Mais, il y a très peu d'explication sur les données, les méthodes et les hypothèses utilisées pour obtenir les débits caractéristiques.

Avis sur le volet hydraulique (Etude du fonctionnement de l'Eygoutier – Phase 1, février 2018) :

- La modélisation hydraulique est effectuée avec le logiciel HYDRARIV d'Hydratec, fonctionnant comme un modèle couplé 1D-2D-casiers.
- L'ensemble de la plaine de la Garde a été modélisé depuis l'amont du chemin de Barbaroux jusqu'au pont de la Clue à l'aval qui forme un verrou hydraulique et contrôle les lignes d'eau. Des occurrences de crue inférieures à 1 an ont été modélisées, tous comme les crues décennale et centennale. Les impacts pour ces occurrences sont précisés.

7.1.18 Etude de réalisation d'un seuil en amont du tunnel de l'Eygoutier au pont de la Clue à l'aide d'un modèle numérique (ARTELIA, 2013)

Le bassin concerné est le bassin de la Plaine. Dans le cadre de cette étude, aucune nouvelle analyse hydrologique n'a été réalisée. Elle est basée essentiellement sur les études antérieures et en particulier sur l'expertise du CETE 1988 (CETE, 1988 - citée par SCE, 2003) pour laquelle une estimation des débits de la crue décennale et centennale a été faite. Les valeurs de débits pour les périodes de retour 30 et 50 ans ont été interpolées à proportion du débit décennal et centennal (loi de Gumbel).
Les débits de pointe sont consignés dans le tableau qui suit :

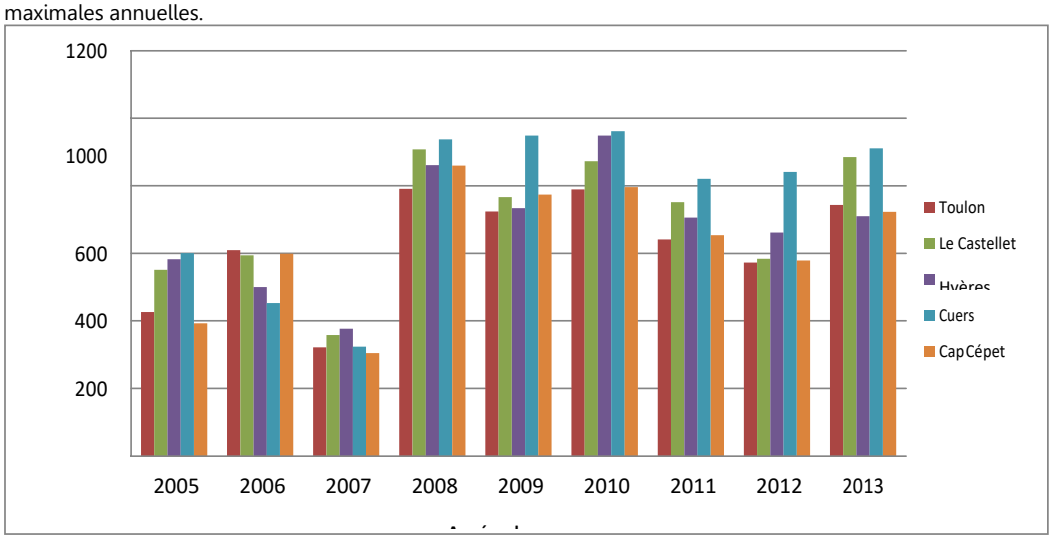
ETAT ACTUEL	Q10	Q30 *	Q50 *	Q100
Plaine de la Garde ("débit hydrologique")	105 m3/s	181 m3/s	227 m3/s	280 m3/s
Au droit du projet dans l'état actuel (ouvrage limitant)	25 m3/s	34 m3/s	39 m3/s	45 m3/s

L'information à retenir est un amortissement de la pointe de crue au droit du projet qui s'explique par une débitance limitée du tunnel et une capacité de stockage importante, en amont, dans la plaine de la Garde.
Pour mémoire, la crue de 1978 reste à ce jour la crue la plus marquante et correspond à la crue de référence sur le cours d'eau. Le débit de pointe de la crue de janvier 1978 a été estimé à 185 m3/s alors que le débit évacué par le Pont de Clue et le tunnel existant est estimé à 40 m3/s (niveau atteint à Pont de Clue : 23,8 m NGF).
La plaine de la Garde (amont du projet) est inondée régulièrement de 2 à 4 fois par an. En crue, la plaine de la Garde se transforme en un vaste champ de stockage de la crue. Son exutoire physique vers Toulon passe en effet à travers un resserrement important de la vallée au niveau du pont de la Clue (zone d'étude), qui impose alors une remontée du plan d'eau dans la plaine.

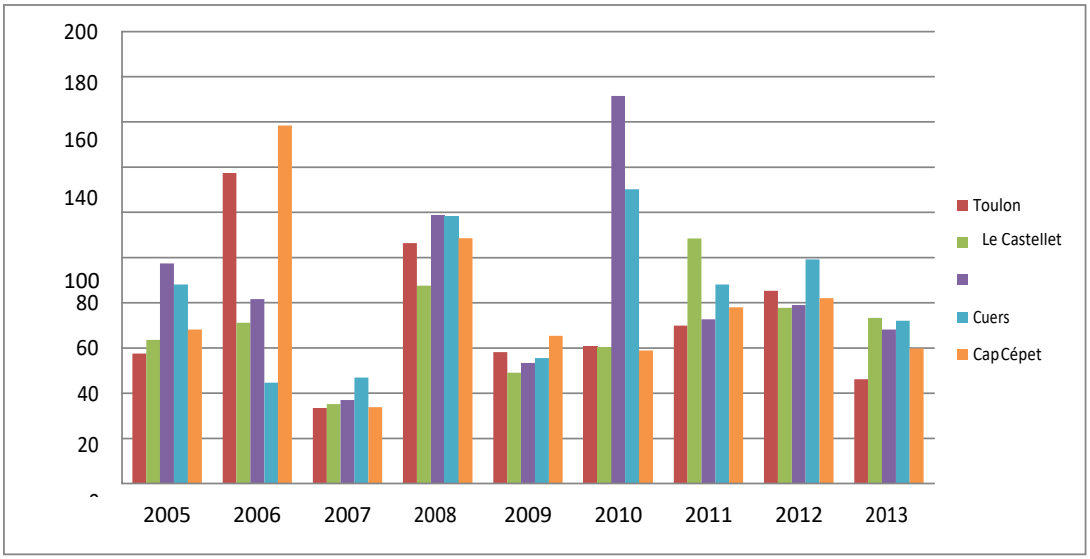
7.1.19 Quantification et qualification des apports solides et liquides de deux fleuves côtiers Méditerranéens (Dufresne, 2014 et Ducros, 2014)

Le bassin versant est l'Eygoutier (127 km²). L'étude vise en autre à qualifier et quantifier les apports solides et liquides de l'Eygoutier. Des mesures in situ de pression sont utilisées et couvrent une période d'étude comprise entre 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014. Les données de débits sont issues de la transformation des données de pression acquises en hauteur d'eau puis en débits (Manning-Strickler avec Ks=60 - voir critique des données).
20 crues majeures ont été sélectionnées pour une étude complète de la réaction du bassin versant aux sollicitations pluvieuses.

- **Les pluies.** Les pluies de la station MétéoFrance située à Toulon (La Mitre) ont été récupérées. Afin d'intégrer les variations orographiques présentes sur la zone et mettre en évidence l'hétérogénéité des précipitations sur une échelle plus large, les données issues des autres stations météorologiques plus distantes (Cuers, Le Castellet, Hyères, Cap Cépet), sont étudiées sur les 9 années (2002-2013).=> hétérogénéité des résultats entre les stations à l'échelle des précipitations annuelles ou journalières maximales annuelles.



Pluviométrie annuelle (mm) sur les 5 stations de mesures MétéoFrance



Précipitation journalières maximales annuelles sur les 5 stations de mesures Météo France

Tableau 13 : Tableau récapitulatif des résultats sur l'Eygoutier

N° des mes	Date de début	Date de fin	Indice Mass/Volume (mg/L)	Durée de l'événement (heures)	Débit max (m³/s)	Conductivité min (mS/cm)	Conductivité moyenne (mS/cm)	Charge sédimentaire totale (tonnes)	Pluviométrie				
									Hauteur de pluie totale (mm)	Intensité Maximale en 6 min (mm)	Intensité Maximale horaire (mm/h)	Antécédent pluviométrique à 1 jour (mm)	Antécédent pluviométrique à 15 jours (mm)
1	11/10/12 0:00	12/10/12 0:00	224,00	24:00:00	159,85	0,071	0,211	271,01	52,7	7,4	22,2	0	20
3	21/10/12 12:00	22/10/12 12:00	183,60	24:00:00	75,45	0,08	0,442	82,16	5,4	1,6	3,2	0	0
4	26/10/12 2:00	27/10/12 14:00	215,27	36:00:00	188,40	0,078	0,476	336,81	41,8	3,9	10,6	0	17,1
7	10/11/12 0:00	13/11/12 0:00	80,71	72:00:00	44,41	0,143	0,560	93,90	37,5	3,1	6,5	0	48,8
8	27/11/12 0:00	29/11/12 12:00	71,34	60:00:00	26,58	0,138	0,494	78,23	62,4	2,2	6,8	0,2	0,2
9	13/12/12 0:00	16/12/12 0:00	70,86	72:00:00	60,99	0,101	0,615	97,77	58,5	3,9	16,3	0	4,2
12	22/1/13 18:00	24/1/13 18:00	76,67	48:00:00	34,70	0,189	0,570	74,14	48,4	1,0	6,4	0	41,5
14	5/3/13 6:00	9/3/13 18:00	63,08	108:00:00	34,39	0,127	0,634	74,84	50,8	1,2	7,2	0	28,8
17	23/3/13 6:00	25/3/13 6:00	42,98	48:00:00	12,16	0,238	0,568	19,87	34,5	0,6	3,2	0	19,7
18	30/3/13 0:00	30/3/13 12:00	58,70	12:00:00	14,60	0,246	0,515	8,97	12,1	1,1	6,9	0	53,4
20	15/5/13 12:00	18/5/13 12:00	41,34	96:00:00	22,69	0,151	0,557	32,12	72,8	4,5	11,6	0	1,4
22	5/9/13 0:00	8/9/13 6:00	321,73	24:00:00	291,44	0,083	0,392	334,08	42,3	12,1	37,9	0	6
24	14/9/13 20:00	15/9/13 20:00	113,60	24:00:00	20,17	0,113	0,342	18,36	17,3	2,5	9,2	0	42,3
25	29/9/13 0:00	29/9/13 18:00	251,56	18:00:00	83,60	0,089	0,279	83,30	17,8	6,3	18,7	0	3,7
26	4/10/13 0:00	5/10/13 0:00	286,38	24:00:00	119,30	0,084	0,393	94,27	26,2	7,2	25,8	0	18,7
29	18/11/13 0:00	23/11/13 6:00	51,07	48:00:00	16,15	0,134	0,411	12,84	35,8	1,0	6,8	0,2	9,6
30	10/12/13 0:00	22/12/13 6:00	62,77	96:00:00	36,17	0,105	0,604	99,60	67,3	2,3	9,7	0	1,8
31	24/12/13 23:00	26/12/13 11:00	40,29	36:00:00	37,22	0,121	0,498	22,50	35,7	2,5	11,2	0	88,7
33	13/1/14 6:00	14/1/14 0:00	66,98	24:00:00	14,26	0,238	0,512	9,78	14,5	0,8	5,7	0	1
34	18/1/14 0:00	23/1/14 0:00	56,18	120:00:00	80,94	0,181	0,578	205,75	59,7	2,2	8,9	0	23,3

- **Fonctionnement hydrologique** -L'étude permet de rappeler l'origine des crues de l'Eygoutier : les événements ont tous une origine « pluviale » mais un apport de potentielles résurgences karstiques sur Eygoutier pour certains événements est mis ne évidence. Les conductivités enregistrées sur les crues les plus importantes font partie des 6 évènements sur lesquels les conductivités minimales les plus basses ont été enregistrées ("signature") alors que la précipitation totale sur ces évènements n'est pas la plus importante de tous.

Avis sur le volet hydrologique et traitement :

- C'est la seule étude qui présente des observations de débits même si elles sont indirectes (les débits maximums sont à prendre à prendre avec précaution puisque la pente retenue est celle du Tunnel et non de l'entonnement, ni du tronçon homogène avant le pont de Bazeille). Des débits plus réalistes peuvent être obtenus en appliquant une pente de 0.06%.
- La forme des hydrogrammes peut être très instructives (temps de montée, décrue, ect....)

7.1.20 Expertise hydraulique sur le secteur de l'Artaude (EGIS, 2015)

Le cours d'eau concerné est l'Artaude, en rive gauche de l'Eygoutier dans le secetur de la Plaine. Le bassin versant de l'Artaude d'une surface de 129 hectares.

- **Pluviométrie.** Les données de la station de Toulon sur la période 1971-2007 ont été récupérées du schéma directeur d'assainissement pluvial (EGIS- SDAP de 2010.) te leur mise à jour (Ingerop, 2015).
- Les débits de pointe sont calculés en considérant que la totalité du débit produit par les sous-bassins versant est transmis en aval.

	Hauteur précipitée (mm) Données station Toulon 1971-2007				
Période de retour	15 min	30 min	1h	2h	6h
5 ans	18	26	39	48	73
10 ans	22	33	49	61	90
30 ans	29	45	70	81	119

Tableau 1 : Hauteurs précipitées (mm) – Toulon 1971-2007 – Source SDAP- Egis Eau

	Hauteur précipitée (mm) Données station Toulon 1971-2012				
Période de retour	15 min	30 min	1h	2h	6h
5 ans	17.6	26	38.5	47.1	68.2
10 ans	20	30.1	45.2	56	80.5
30 ans	23.5	36.3	56.2	71	101.1

Tableau 2 : Hauteurs précipitées (mm) – Toulon 1971-2012 – Source Ingerop

7.1.21 Étude hydraulique pour l'aménagement du ruisseau de Saint-Joseph (SAFEGE, 2015)

Le ruisseau de Saint-Joseph se situe dans la partie Toulonnaise du bassin de l'Eygoutier. Le Saint Joseph reçoit les eaux du ruisseau de Sainte-Cécile dans la commune de la Valette du Var. Le Saint-Joseph se jette dans l'Eygoutier en aval de l'autoroute.

- **Crues historiques.** D'après les riverains habitants en amont du stade (secteur 1 en page précédente), le Saint-Joseph déborde sur la voirie quasiment chaque année lors des orages automnaux. L'événement du 24 septembre 2006 correspond à une crue plus violente correctement documentée.
- **Réseau.** Le réseau d'eau pluvial correspond au bassin versant topographique du Saint-Joseph. Il n'y a donc pas à craindre des apports de débits des bassins versants voisins via le réseau pluvial. Le réseau d'eau pluvial devient rapidement inefficace dans les zones inondables du Saint-Joseph. Si les réseaux pluviaux jouent un rôle mineur lors des crues, ils ont une capacité suffisante pour rejeter les eaux de débordements dans le Saint-Joseph après décrue. C'est ce qui permet une baisse très rapide des niveaux d'eau après décrue (observée d'après les retours d'expérience).
- Découpage en bassins versants.

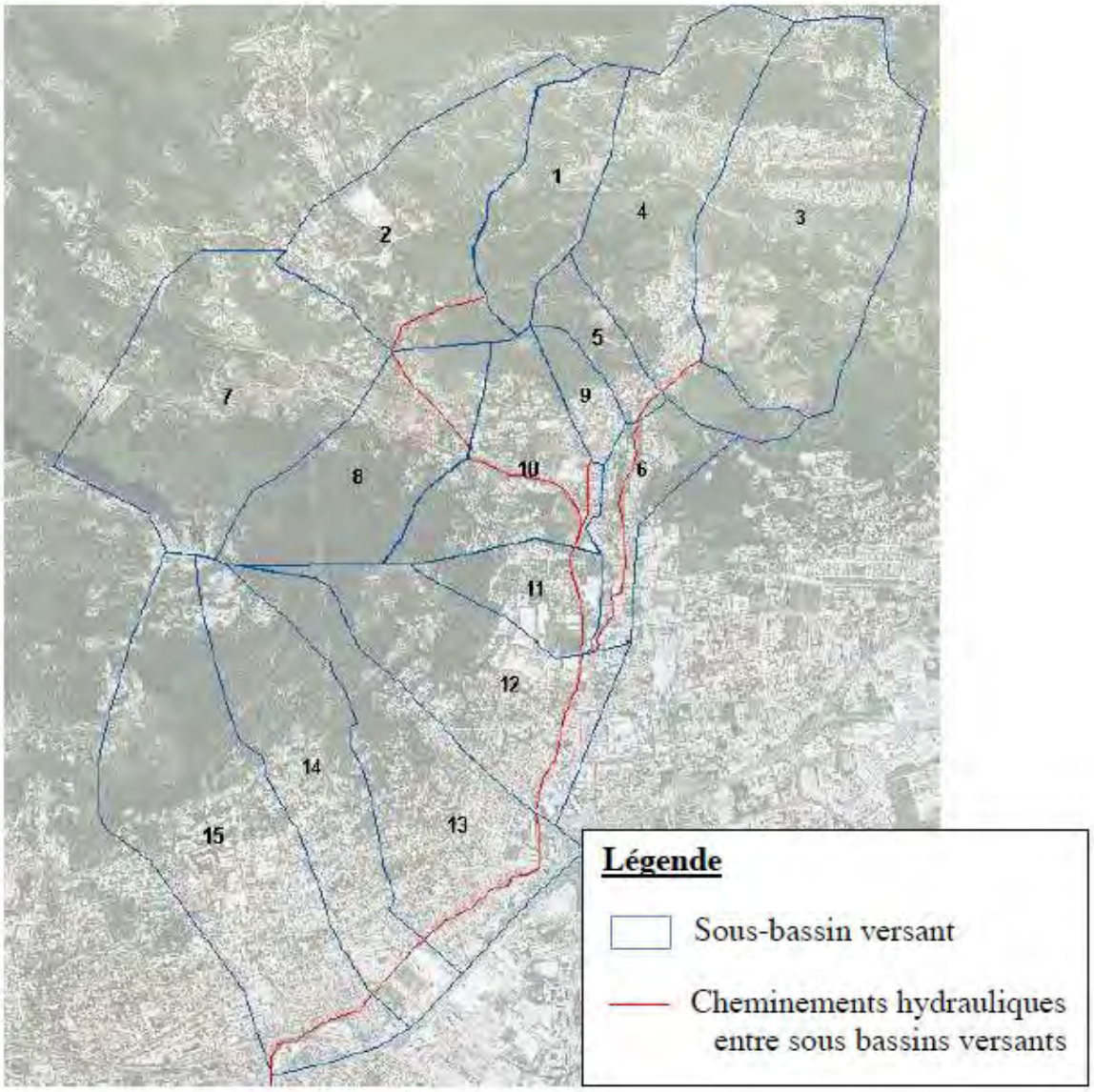


Figure 2 : Identification des sous-bassins versants étudiés

- **Pluviométrie.** Les coefficients de Montana suivants ont été obtenus auprès de MétéoFrance pour les proches stations avec mesures infrahoraires :
  - station de Toulon Saint-Mitre (sur la période 1971-2012) ;
  - station d'Hyères (sur la période 1977-2011). - Les données sont écartées.

  Les courbes IDF correspondantes sont les suivantes :

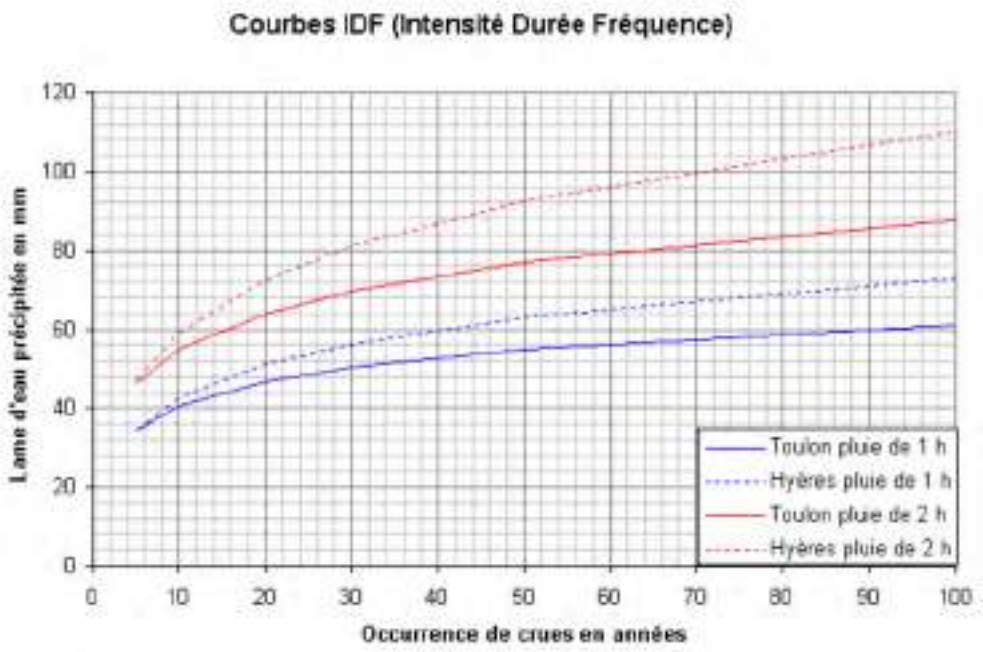


Figure 13 Courbes Intensité Durée Fréquence sur les Stations de Toulon et Hyères

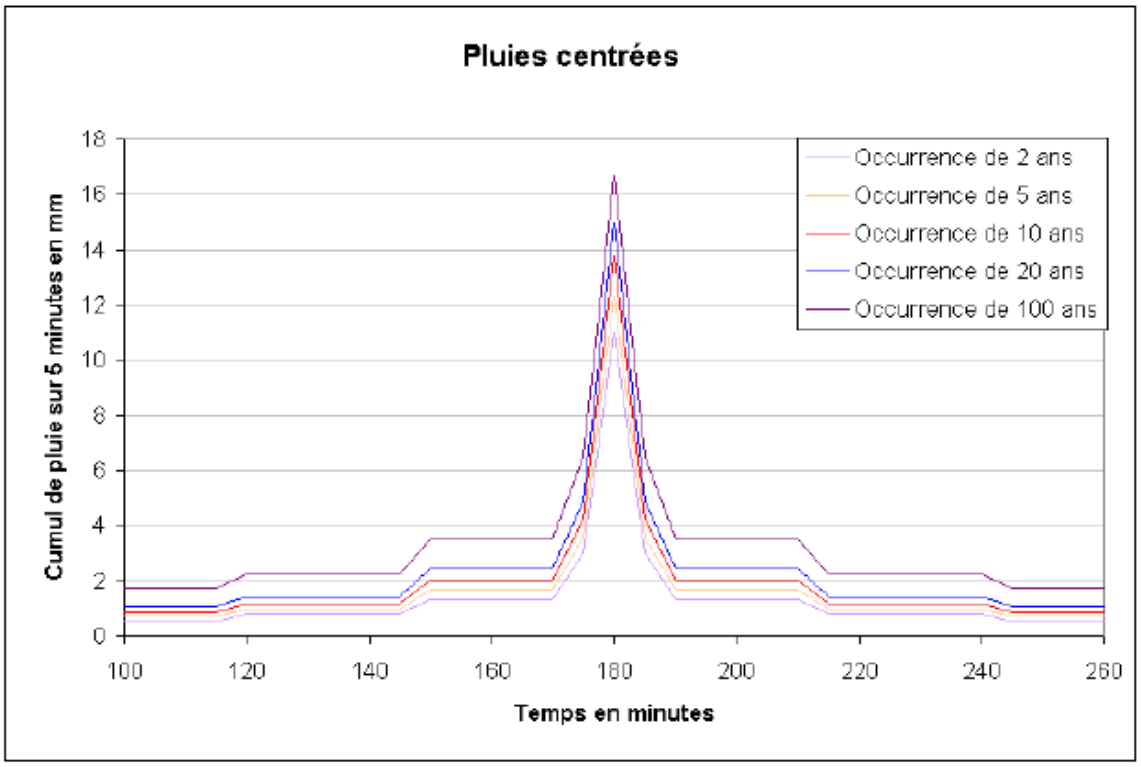
		Période de retour (ans)						
Durées	Coefficients	2	5	10	20	30	50	100
D < 6h	a		6.384	6.865	7.179	7.271	7.301	7.238
	b		0.585	0.566	0.543	0.528	0.508	0.479
	1-b		0.415	0.434	0.457	0.472	0.492	0.521

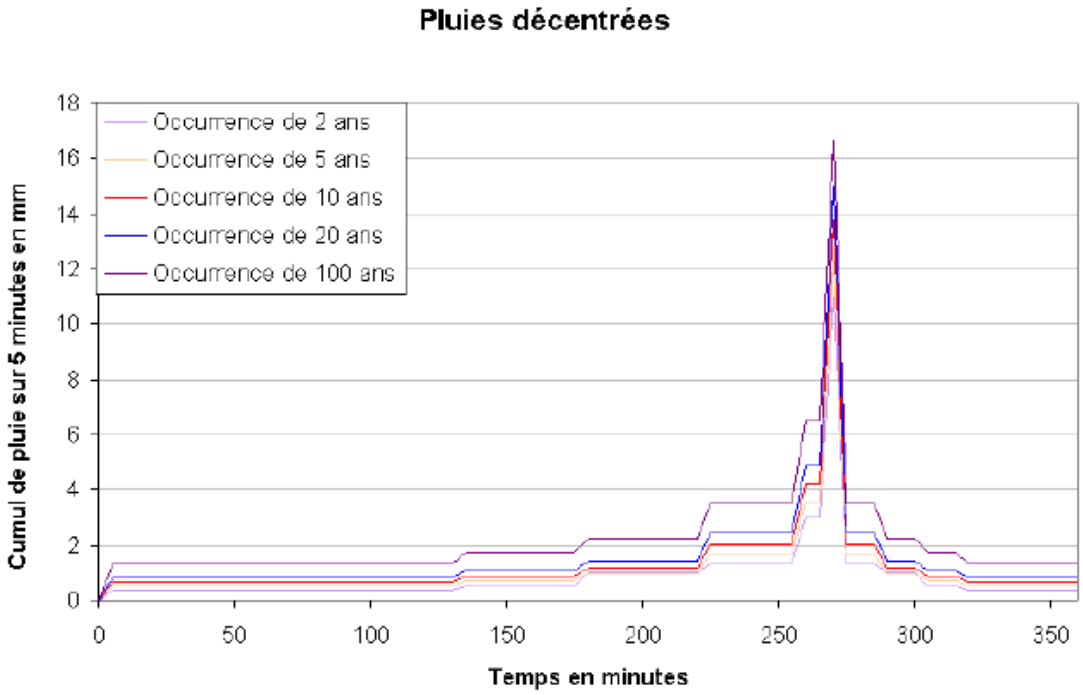
Tableau 9 : Coefficients de Montana (avec durée en minutes et hauteur d'eau en mm) – étude de SAFEGE

Cité par Ingerop (2017)

- **Analyse de la possibilité de survenance d'un orage sur sol saturé**. L'événement du 9 et 10 octobre 2002 correspond bien à un cas d'orage succédant à une pluie de longue durée. La possibilité qu'il y ait un orage suite à une pluie saturant les sols est avérée. elle s'est déjà produite à Toulon pour des occurrences de crue courante, et dans le département pour des occurrences de crue plus rares. Pour représenter **l'hétérogénéité de la répartition des pluies sur le bassin versant** ainsi que la possibilité qu'un orage survienne alors que le sol est saturé en eau, deux jeux d'hypothèses sur la capacité de rétention du sol (ou sa propension au ruissellement) seront faites dans l'analyse hydrologique.
- **Pluie de projet.**
    - Les hyétogrammes sont construits à partir des coefficients de Montana de la station de Toulon Saint-Mitre et par la méthode de Kiefer. On s'intéresse à trois durées t.
    - les temps caractéristiques des pluies choisies devant correspondre aux temps caractéristiques des bassins versants (pas d'info)
    - Test d'un pic décentré et centré.

Hyétogrammes retenu :





- **Estimation des débits** (méthode du Curve Number + hydrogramme unitaire du SCS+ étape de propagation et d'agrégation des hydrogrammes). Le modèle utilisé est un modèle spatialisé, permettant de simuler la réponse à la pluie de chaque sous-bassin versant et de propager ensuite les hydrogrammes résultants dans le réseau hydrographique. Important : Le modèle hydrologique ne permet pas de rendre compte précisément de l'écrêtement et de l'atténuation des crues dans la partie urbaine du bassin versant. En effet, la propagation est calculée, dans la modélisation hydrologique, par une modélisation hydraulique extrêmement simplifiée.

On retient donc les hydrogrammes retenus avec des pluies dont le pic est retardé dans le temps. Les débits de pointes correspondants sont les suivants :

Occurrence de pluie en ans	St Joseph en amont de la confluence Ste Cécile	Ste Cécile en amont de la confluence St Joseph	St Joseph en aval de la confluence Ste Cécile	St Joseph en amont du stade	St Joseph en amont de l'Eygoutier
2	9.9	6.4	16.3	25.9	36.6
5	15.2	9.5	24.7	36.4	51.6
10	18.4	11.4	29.8	41.6	57
20	34.6	20.9	55.5	72	92.7
100	45	27.5	72.5	90.6	112.2

Figure 5 Débits de pointes retenus en m^3/s (situation actuelle)

- **Analyse des débits retenus.** L'analyse des débits retenus se fait sur la base d es débits spécifiques (rapport du débit de pointe sur la surface du bassin versant) et pseudo-spécifiques (rapport du débit de pointe sur la surface du bassin versant à l'exposant 0.8). D'expérience, ces résultats sont cohérents avec ceux connus dans la région et les spécificités de ces bassins versants.
- **Injection dans le modèle 1D/12D.** Pour chaque sous-bassin versant (voir la carte suivante des sous-bassins versants), l'hydrogramme à l'exutoire est injecté à l'endroit correspondant du modèle 1D (dans le lit mineur, le débit injecté est réparti le long du tronçon correspondant). De cette façon, la propagation des hydrogrammes le long du cours d'eau et l'écrêtement peuvent être calculés. Pour cette raison, dans le modèle hydraulique, le débit de pointe à l'exutoire sera inférieur au débit de pointe calculé par le modèle hydrologique.

Avis sur le volet hydrologique :

- Les coefficients de Montana pour la station de Hyères et Toulon sont présentés pour t=1 h et 2 h. Les cumuls sur Hyères sont plus importants qu'à Toulon (ce qui n'est pas vérifié pour toutes les durées de pluies (cf. étude Ingerop).
- Pas de précision sur les tc.
- Prise en compte de deux jeux d'hypothèses sur la capacité de rétention du sol.

7.1.22 Etude hydraulique et AMC pour la définition du schéma d'aménagement du ruisseau de la Planquette (Ingerop, 2017)

Le périmètre d'étude concerne la totalité du bassin versant de la Planquette jusqu'à sa traversée de la voie SNCF (Bassin de la Plaine). Il est découpé en deux secteurs distincts :

- le secteur amont : des versants du Coudon à l'autoroute A57,
- le secteur aval : de l'autoroute A57 à la traversée de la voie SNCF

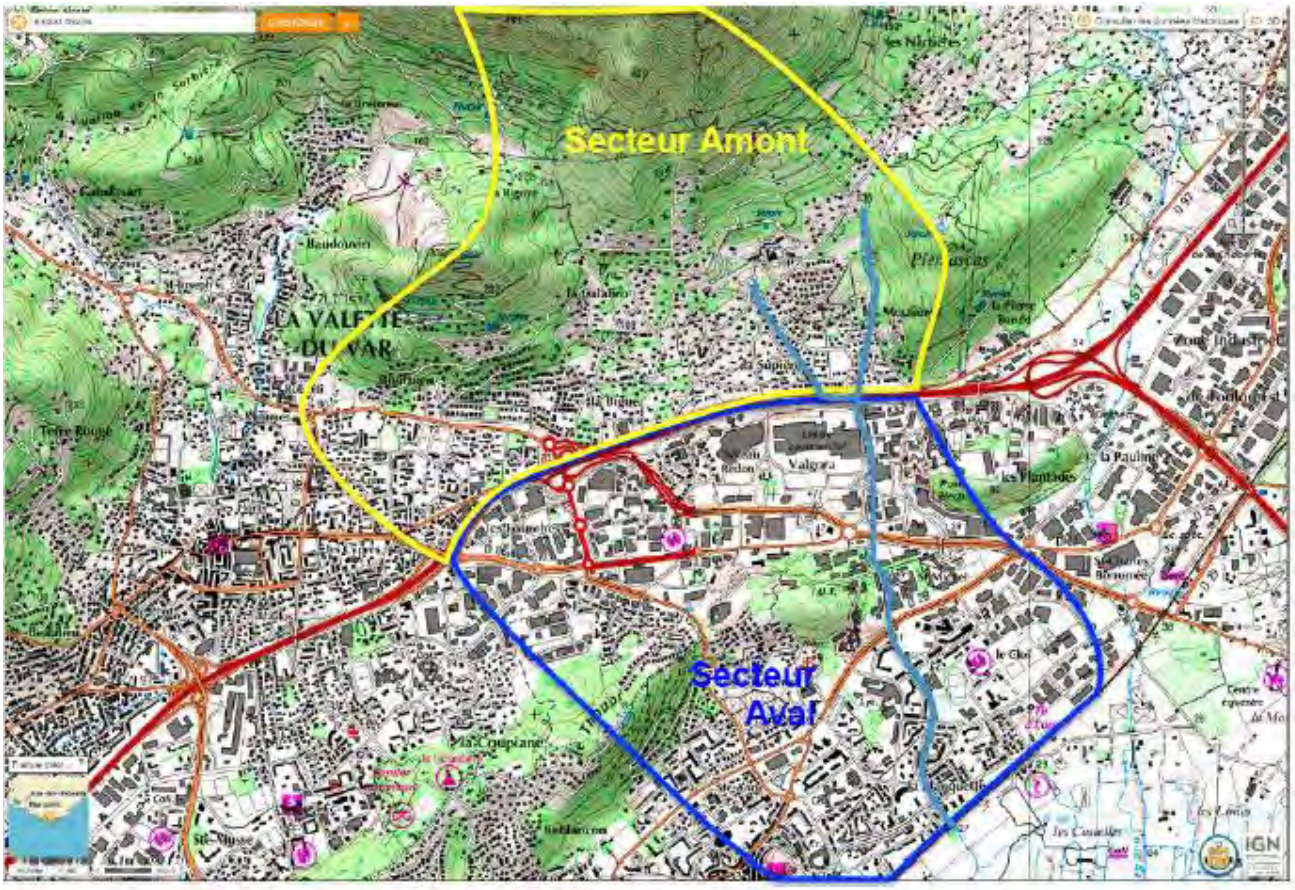


Figure 1 : Secteurs d'étude

- **Crues historiques.** Les crues antérieures à 2008 sont fournies par l'étude SC, 2007 : octobre 1973, janvier 1978, 1992 et septembre 2006. Une vérification des crues historiques depuis 2008 est effectuée : 8 octobre 2008, 4 au 10 novembre 2011, 26 octobre 2012, 8 septembre 2013, 19 septembre 2014, 7 et 11 octobre 2014 et 25 novembre 2014.

Pour chacun de ces événements postérieurs à 2008, les caractéristiques pluviométriques ont été obtenues sur le site http://www.infoclimat.fr/ et sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Événement	Durée totale (h)	Pluie totale (mm)	Durée période intense (h)	Pluie période intense (mm)	Occurrence associée
8 octobre 2008	9	84.6	2	51	Entre 5 et 10 ans
26 octobre 2012	5	29.9	1.5	25.3	< 2 ans
8 septembre 2013	1	37.9	0.5	33.1	Entre 10 et 20 ans
10 février 2014	17	70.2	3	39	2 ans
19 septembre 2014	2	44	1	41	Légèrement inférieure à 10 ans
7 octobre 2014	12	70	1	27	2 ans
11 octobre 2014	8	30.1	Donnée manquante	Donnée manquante	< 2 ans
25 novembre 2014	9	74	2	53	Légèrement inférieure à 10 ans

Tableau 5 : Pluviométrie des crues historiques

L'événement du 11 octobre 2014 est particulier dans la mesure où cet événement est d'une occurrence fréquente, mais qu'il survient 4 jours après un événement d'occurrence supérieure. Bien qu'il y ait eu une accalmie sur les 3 jours précédant la pluie du 11 octobre, les sols étaient encore saturés par l'événement important du 7 octobre. Cela explique les inondations observées lors de cet événement pourtant fréquent.

L'événement du 4 au 10 novembre est présenté ci-dessous compte tenu de sa spécificité.

Événement	Durée totale (jours)	Pluie totale (mm)	Durée période intense (jours)	Pluie période intense (mm)	Occurrence associée
4 au 10 novembre 2011	7	218.7	4	166.2	Légèrement inférieure à 10 ans

Tableau 6 : Pluviométrie de l'événement pluvieux du 4 au 10 novembre 2011

- **Pluviométrie.**

- Les **quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon** (Indicatif : 83137001) ont été mis à jour auprès de Météo-France dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, réalisée au premier semestre 2016 par INGEROP. Le tableau ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis.

Sources : Poste météorologique de Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) et SHYREG pour T = 2 ans
Années : 1971 - 2012

		Période de retour (ans)						
Durée	Durée (en h)	2	5	10	20	30	50	100
6 min	0.1	8.6	10.1	11.3	12.3	12.8	13.4	14.1
15 min	0.25	13.6	18.2	20.6	22.8	24.0	25.3	27.0
30 min	0.5	19.2	26.9	31.4	35.8	38.3	41.6	45.9
1h	1	27.2	36.9	43.4	49.9	53.7	58.6	65.2
2h	2	33.1	47.2	55.7	64.6	70.0	76.9	86.6
3h	3	38.3	53.3	64.3	76.8	84.8	95.7	112.0
6h	6	49.5	70.5	84.9	101.1	111.5	125.6	146.8
12h	12	63.7	88.0	102.1	116.3	124.6	135.2	149.8
24h	24	78.8	105.2	122.1	139.2	149.2	162.0	179.5

Tableau 7 : Quantiles de précipitation – Toulon 1971-2012

NB : les quantiles de précipitation pour les durées inférieures à 1h de la période de retour 2 ans ont été obtenus par interpolation par la loi de Montana, en considérant un coefficient b = 0.5. En effet, pour la période de retour 2 ans, les quantiles METEO FRANCE comportaient une erreur et ils étaient inexploitables. Dans le cadre de l'acquisition auprès de METEO FRANCE de ces quantiles, dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, METEO FRANCE nous a transmis en remplacement les quantiles SHYREG pour la période de retour de 2 ans. Les quantiles SHYREG ont la particularité de n'être disponible qu'à partir d'une durée de 1h. Pour des durées inférieures, d'après les conseils de Jacques Lavabre (ingénieur de recherche au sein d'IRSTEA), il est possible de déduire les quantiles de précipitation en considérant un coefficient b=0.5. Le coefficient a est nécessairement égal au quantile de précipitation pour la durée 1h.

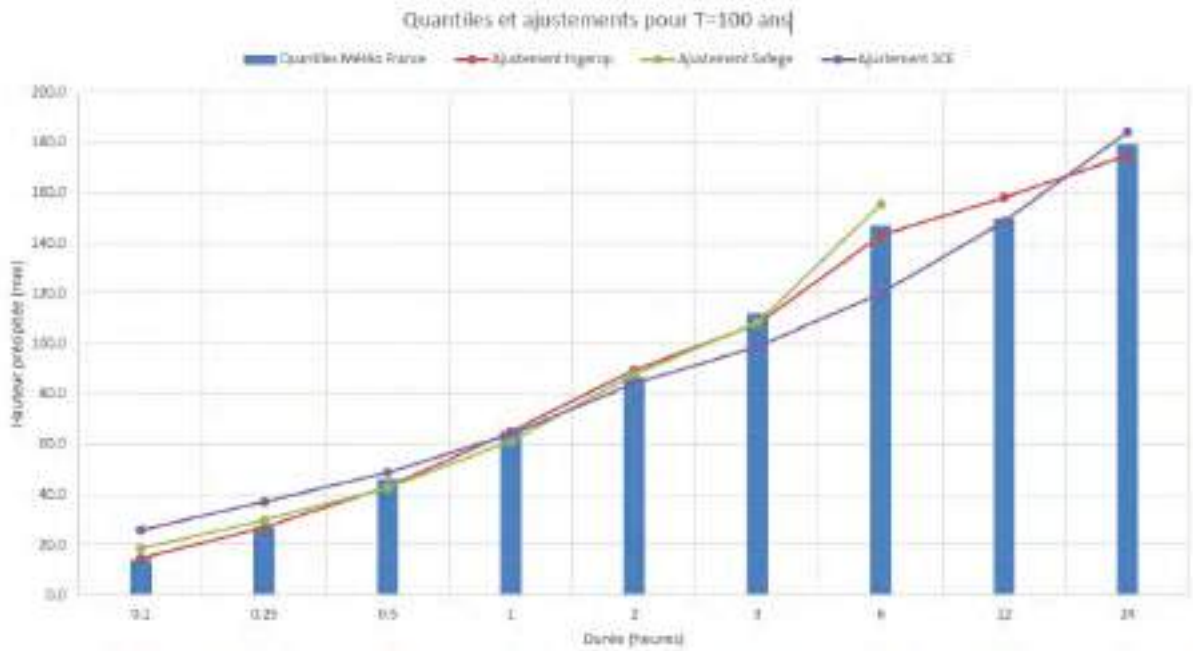
- Ajustement de Montana sur les durées 6min – 6h et Ajustement de Montana sur les durées 6h – 24h. Le tableau ci-après récapitule les coefficients de Montana retenus.

		Période de retour (ans)						
Durées	Coefficients	2	5	10	20	30	50	100
D < 1h	a	3.512	3.790	4.055	4.212	4.264	4.293	4.300
	b	0.500	0.434	0.411	0.385	0.370	0.350	0.324
	1-b	0.500	0.566	0.589	0.615	0.630	0.650	0.676
1h < D < 6h	a	6.778	8.461	9.346	9.820	9.933	9.983	9.797
	b	0.665	0.642	0.627	0.604	0.589	0.569	0.538
	1-b	0.335	0.358	0.374	0.396	0.411	0.431	0.462
6h < D < 24h	a	6.920	12.980	18.167	25.833	32.003	41.874	60.851
	b	0.665	0.711	0.738	0.769	0.790	0.816	0.855
	1-b	0.335	0.289	0.262	0.231	0.210	0.184	0.145

Tableau 8 : Coefficients de Montana (avec durée en minutes et hauteur d'eau en mm)

NB : La méthode utilisée dans les études antérieures ne permet pas de connaître la qualité de l'ajustement IDF ni si le choix du pivot est le plus opportun. Dans les études antérieures réalisées sur ce secteur à partir de ce poste pluviométrique, SCE avait recueilli auprès de Météo France les coefficients de Montana sur les durées 6 min – 2h et 2h – 24 h (soit un pivot égal à 2h), sur la période d'observation 1971-2005, et SAFEGE a recueilli les coefficients de Montana sur les durées 15 min – 6 h (sans pivot), sur la période d'observation 1971-2012.

- Comparaison des quantiles selon les ajustements pour T=100 ans :



- La Figure 19 : Quantiles et ajustements de Montana pour T=100ans présentée ci-dessus illustre parfaitement les écarts qui peuvent être observés. Sur des durées courtes, les ajustements de Safege et de SCE ont tendance à surestimer la hauteur précipitée, tandis que sur des durées longues, la pluie SCE a tendance à sous-estimer la hauteur précipitée. Enfin, ces graphiques mettent en évidence que l'ajustement produit pour la présente étude est celui qui permet de se rapprocher au mieux des quantiles de Météo France, qu'elle que soit la durée considérée.

- **Spatialisation de la pluie.**
  - **Comparaison avec les données pluviométriques ont été récupérées au poste d'Hyères.** Les différences significatives entres les deux stations mettent en évidence la grande variabilité des pluies dans la région (fortement influencées par le relief). Les données à Toulon sont plus représentatives de la situation sur le bassin versant de la Planquette de par leur proximité (En moyenne, la station de Toulon est distante de 9 kilomètres de la zone d'étude contre 12 km pour la station d'Hyères). Nous écarterons donc les données pluviométriques obtenues à la station d'Hyères, d'autant plus qu'elles sont inférieures. Ce choix donne ainsi un caractère sécuritaire vis-à-vis des débits estimés.

Sources : **Poste météorologique d'Hyères**
Années : **1977 – 2005**

		Période de retour					
Durée (en h)	Durée (en min)	5	10	20	30	50	100
0.5	30	23.3	27.6	31.8	34.3	37.3	41.4
1	60	31.6	37.2	42.8	46.1	50.0	55.4
1.5	120	37.7	44.4	50.9	54.8	59.3	65.7
2	180	42.8	50.3	57.6	61.9	67.0	74.2
6	360	69.3	80.9	92.2	98.8	106.6	142.9
12	720	93.9	109.2	124.0	132.8	142.9	157.7

Tableau 11 : Quantiles de précipitation – Toulon 1977-2005

Les courbes intensité-durée-fréquence ont alors été tracées aux postes de Toulon et d'Hyères :

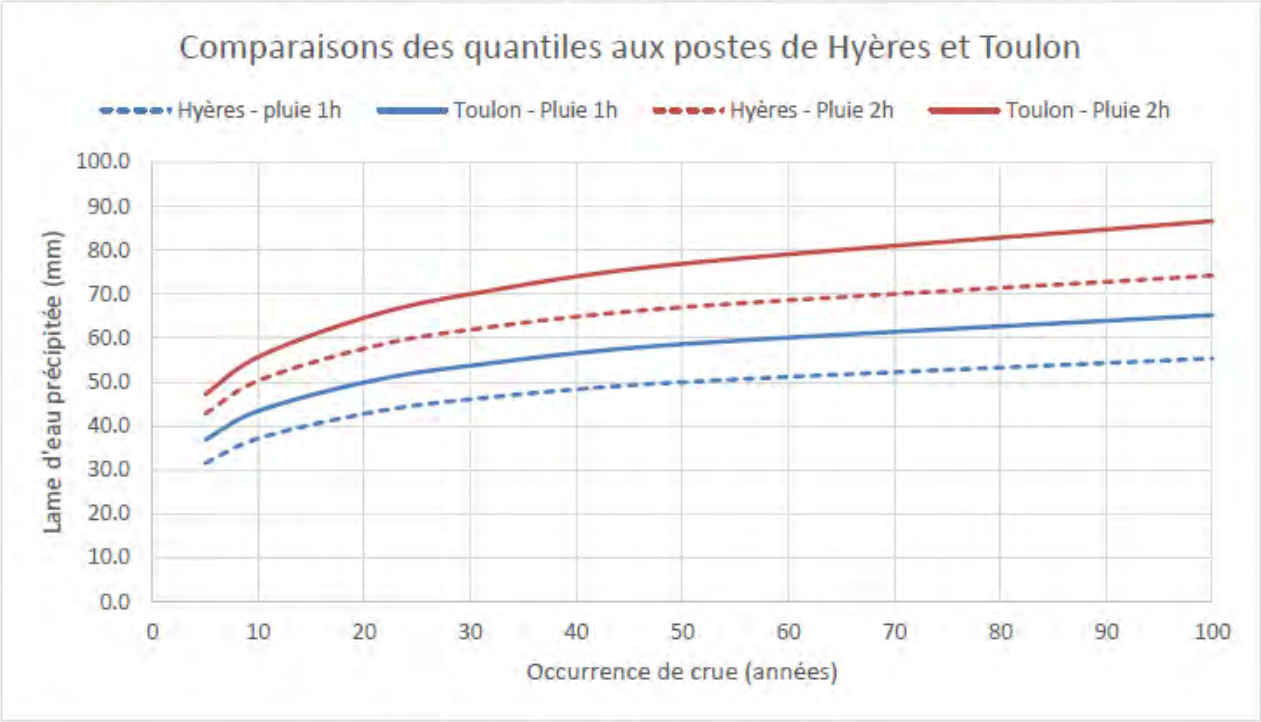


Figure 20 : Comparaison de quantiles

- **Comparaison avec les données pluviométriques collectées sur les postes pluviométriques sur Baudouvin à la Valette (Serres) et au Pont de la Clue pour le premier semestre 2016**. Sur les 38 jours avec des précipitations observées sur les 153 premiers jours de l'année 2016 pour lesquels des relevés sont disponibles, les écarts médian, moyen et maximal entre les deux postes pluviométriques sont respectivement de 2.0 mm, 6.4 mm et 27.8 mm. **Des différences de cumuls pluviométriques importantes peuvent apparaître à l'échelle du bassin versant de la Planquette pour un même événement.**

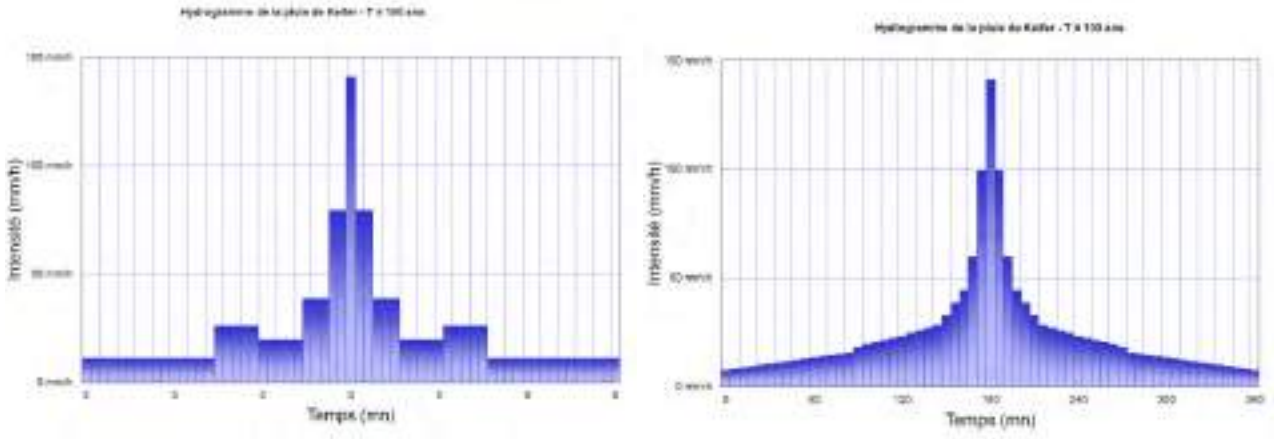
- **Saisonnalité des événements.** Comme l'a montré la fiche climatologique décrite précédemment, les orages intenses et de courtes durées se produisent majoritairement à l'automne. L'analyse des crues antérieures a également confirmé cette tendance. En effet, parmi les crues historiques ayant eu lieu après 2008, 8 sur 9 se sont produites à l'automne.
- **Analyse de la possibilité de survenance d'un orage sur sol saturé**. Le cas le plus redouté correspond à un orage important se produisant sur un sol au préalable saturé par une pluie antérieure. L'analyse des crues historiques n'a pas permis de mettre en évidence un événement de ce type. À l'inverse, il n'a pas été constaté au cours des dernières années d'événement marquant s'étant produit sur un sol particulièrement sec. Ce cas de figure semble donc à la fois peu probable et peu critique. **Ainsi, la recherche de conditions pluviométriques ayant entrainé des crues significatives n'a pas mis en avant un phénomène particulier autre que l'intensité pluviométrique.**

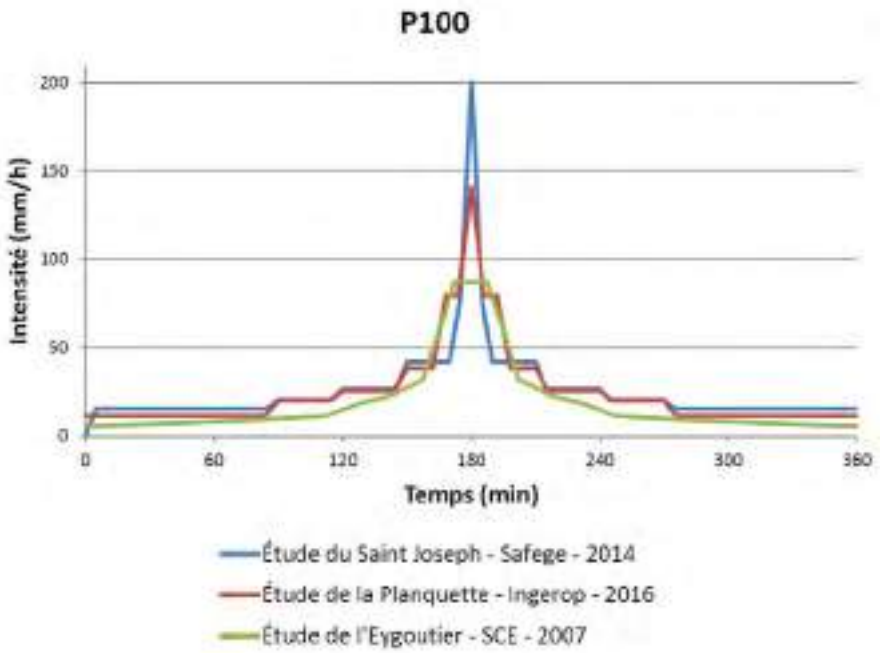
Evénement	Antécédent pluviométrique à 3 jours (mm)	Antécédent pluviométrique antérieur
8 octobre 2008	Pas de pluie enregistrée	Aucune
26 octobre 2012	7.5	21.1 mm sur les 5 jours précédents
8 septembre 2013	Pas de pluie enregistrée	Aucune
10 février 2014	1.6	33.9 mm sur les 4 jours précédents 109.9 mm sur les 12 jours précédents
19 septembre 2014	Pas de pluie enregistrée	Aucune
7 octobre 2014	0.2	43.1 mm sur les 7 jours précédents (orage)

Événement	Antécédent pluviométrique à 3 jours (mm)	Antécédent pluviométrique antérieur
11 octobre 2014	Pas de pluie enregistrée	70 mm sur les 4 jours précédents (orage du 7 octobre 2014)
25 novembre 2014	Pas de pluie enregistrée	66 mm sur les 14 jours précédents

Tableau 13 : Antécédents pluviométriques des événements étudiés

- **Pluie de projet.**
  - Il est proposé de retenir une **pluie de projet de type Keifer.** Au vu du temps de réponse des bassins versants étudiés, ces pluies ont été construites sur une **durée de 6h.** La pluie Keifer est, quelle que soit sa durée, construite sur la base des quantiles de précipitation statistiques. Dans le cas présent, la pluie est construite sur un pas de temps de 6 minutes, correspondant à la plus petite durée pour laquelle le quantile est connu. Le pic central de durée 6 minutes est donc fixé par la valeur du quantile 6 minutes. A partir de ce pic, la pluie est construite de manière symétrique en veillant à respecter, pour chaque durée, le quantile de précipitation connu. Ainsi, les cumuls sur 6 minutes sont fixés de part et d'autre du pic central. Une pluie de durée 30 minutes et donc construite, puis le même travail est répété pour construire une pluie de durée 1 heure, et ainsi de suite jusqu'à une pluie de durée fixée à 6 heure. Les pluies obtenues sont ensuite lissées de manière à obtenir une pluie strictement croissante jusqu'au pic puis strictement décroissante après le pic. **La forme d'une pluie de type Keifer suit strictement l'évolution des quantiles issus de l'analyse statistique.**
  - **Lissage des cumuls.**
  - **Comparaison avec les autres études.** Les pluies de projet issues de l'étude du Saint Joseph (2015, Safege) et de la Planquette (2017, Ingerop) sont très proches. On constate néanmoins un écart positif sur la valeur d'intensité maximale pour la pluie SAFEGE (cumul de 16.7 mm en 5 min, soit une intensité maximale de 200 mm/h, soit un excédent de 42% par rapport aux quantiles de précipitations de Météo France) et un écart négatif sur la pluie SCE (cumul de 9 mm en 6 min pour la pluie SCE, issu de l'intensité maximale de 90 mm/h, soit un déficit de 36% par rapport aux quantiles de précipitations de Météo France). **La qualité de l'ajustement retenue est donc importante à ce stade de l'étude.**
  - Par ailleurs, il n'a pas été proposé d'utiliser une pluie décentrée, du fait que le modèle hydrologique du réservoir linéaire, utilisé dans cette étude et parfaitement adapté aux milieux urbains, ne prend pas en compte la saturation des sols. Pour les mêmes raisons, l'utilisation d'une pluie très longue comme celle de SCE n'a pas plus d'intérêt.





- **L'évaluation du temps de concentration décennal** a été réalisée sur la base des formules empiriques (Ventura et, Passini), et par comparaison avec la méthode d'évaluation proposée par le SETRA et la morphologie du réseau hydrographique. Au final, il a été retenu comme temps de concentration la valeur moyenne obtenue entre les formules Ventura et Passini, dont les résultats sont très proches pour les bassins versants étudiés. Les temps de concentration décennaux obtenus pour les sous bassins versants s'échelonnent entre 3 et 127 minutes, avec une valeur moyenne pour les bassins versants de 13 minutes. Les temps de concentration pour les occurrences plus rares que 10 ans sont ensuite obtenus à partir de la formule du GTAR. Ainsi, les temps de concentration centennaux obtenus pour les sous bassins versants s'échelonnent entre 3 et 116 minutes, avec une valeur moyenne pour les bassins versants de 12 minutes.

- **Modélisation hydrologique** pluie-débit a été réalisée grâce au logiciel MIKE URBAN développé par la société DHI (Danish Hydraulic Institute). Méthode Aire-temps pour les bassins versants à dominante « naturelle », dont le coefficient de ruissellement décennal est inférieur à 30 %. Cela concerne uniquement le bassin versant n°147. Méthode du réservoir linéaire pour les bassins versants à dominante « urbaine », dont le coefficient de ruissellement décennal est supérieur à 30 %.
- Le débit pseudo spécifique est calculé par la formule suivante : Qps = Qp / S0.8.
- Les hydrogrammes obtenus pour chaque bassin versant et chaque occurrence seront par la suite injectés au modèle hydraulique de manière ponctuelle dans le réseau pluvial ou dans le lit de la Planquette. La discrétisation fine en sous-bassins versant permet notamment une répartition réaliste des débits dans les collecteurs pluviaux identifiés.
- Calage du modèle hydraulique sur l'événement u 8 septembre 2013, pour lequel nous disposons de photographies.

Avis sur le volet hydrologie :

- Etude très complètes, avec des hypothèses bien établies.
- Pas de calage du model pluie/débit
- ATTENTION sur la conclusion sur la non représentativité de Hyères basée sur la distance (mais peu différentes) et sur la présence des reliefs. La différence entre les deux stations de Hyères et Toulon est inverse à celle de l'expertise hydraulique sur le secteur de l'Artaude (EGIS, 2015) et de l'étude hydraulique pour l'aménagement du ruisseau de Saint-Joseph (SAFEGE, 2015) => mise à jour HYDRETUDES nécessaires.

8 ANNEXE II : ARRETES PORTANT RECONNAISSANCE DE CATASTROPHES NATURELLES

Consultation pour les 7 communes du bassin versant de l'Eygoutier sur le site "georisques.gouv.fr des "Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles" portant sur les " Inondations et coulées de boue" ". La commune de Sollies-Pont, en tête de bassin, n'est pas représentative des risques liés aux débordements de l'Eygoutier et de ses affluents (3 Arrêtés portant reconnaissance de catastrophes naturelles" portant sur les " Inondations et coulées de boue 29/09/1982, 17/01/1999 et 26/10/2012).

Nb jour	Début le	Fin le	Nombre de communes touchées	Bassin Toulonnais de l'Eygoutier				Bassin de la Plaine de la Garde (amont pont de la Clue)									
				TOULON		LA VALETTE DU VAR		LE PRADET		LA CRAU		LA GARDE		CARQUEIRANNE		LA FARLEDE	
				Début le	Fin le	Début le	Fin le	Début le	Fin le	Début le	Fin le	Début le	Fin le	Début le	Fin le	Début le	Fin le
2	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**7**	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**29/09/1982**	**30/09/1982**	**29/09/1982**	**30/09/1982**
2	23/08/1983	24/08/1983	1	23/08/1983	24/08/1983												
2	28/08/1983	29/08/1983	1	28/08/1983	29/08/1983												
3	13/10/1988	15/10/1988	4	13/10/1988	15/10/1988					13/10/1988	15/10/1988	13/10/1988	15/10/1988	13/10/1988	15/10/1988		
2	26/09/1992	27/09/1992	2	26/09/1992	27/09/1992									26/09/1992	27/09/1992		
2	**17/01/1999**	**18/01/1999**	**5**	**17/01/1999**	**18/01/1999**	**17/01/1999**	**18/01/1999**			**17/01/1999**	**18/01/1999**	**17/01/1999**	**18/01/1999**			**17/01/1999**	**18/01/1999**
1	17/11/2002	17/11/2002	2			17/11/2002	17/11/2002					17/11/2002	17/11/2002				
2	24/09/2006	25/09/2006	3	24/09/2006	25/09/2006	25/09/2006	25/09/2006					24/09/2006	25/09/2006				
1	08/10/2008	08/10/2008	1			08/10/2008	08/10/2008										
3	14/12/2008	16/12/2008	3	15/12/2008	15/12/2008	15/12/2008	16/12/2008	14/12/2008	16/12/2008								
1	15/06/2010	15/06/2010	1											15/06/2010	15/06/2010		
7	**04/11/2011**	**10/11/2011**	**5**	**04/11/2011**	**10/11/2011**	**04/11/2011**	**10/11/2011**	**08/11/2011**	**10/11/2011**			**04/11/2011**	**10/11/2011**	**08/11/2011**	**10/11/2011**		
1	26/10/2012	26/10/2012	3	26/10/2012	26/10/2012			26/10/2012	26/10/2012			26/10/2012	26/10/2012				
1	18/05/2013	18/05/2013	1					18/05/2013	18/05/2013								
3	18/01/2014	20/01/2014	1							18/01/2014	20/01/2014						
1	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**5**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**	**19/09/2014**				
2	06/10/2014	07/10/2014	2					07/10/2014	07/10/2014					06/10/2014	07/10/2014		
2	25/11/2014	26/11/2014	4					25/11/2014	25/11/2014	25/11/2014	26/11/2014	25/11/2014	25/11/2014	25/11/2014	26/11/2014		
3	04/12/2014	06/12/2014	2					04/12/2014	05/12/2014	05/12/2014	06/12/2014						

9 ANNEXE III : ANALYSE DES EVENEMENTS HISTORIQUES REMARQUABLES

Le tableau ci-dessous présente les **données « brutes »** recueillies dans les archives pour décrire les crues modernes de l'Eygoutier.

<table>
<tr><th>Date</th><th>Caractéristiques de l'événement de Pluie</th><th>Caractéristiques de la crue</th></tr>
<tr><td>2 crues (2/10/1973 et 13/10/1973)</td><td>

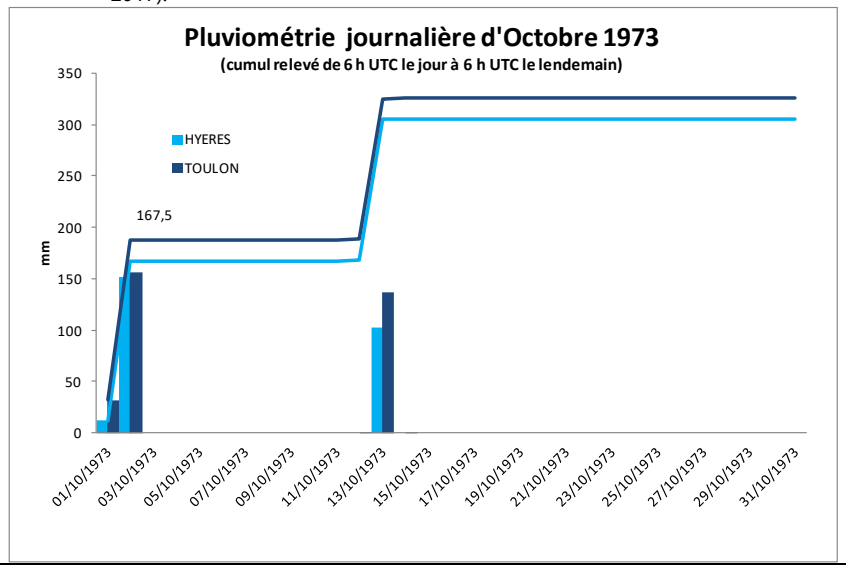
Type de pluie : Episode de grande extension spatiale avec des cumuls journaliers remarquables à la station de Toulon, Hyères et Cuers le 2/10/1973 et des conditions antécédents défavorables (épisode de 2 jours remarquable) et des cumuls remarquables sur 6 h (plus que centennale), sur 2h (20 ans) et 1h (10 ans). Le phénomène pluvieux du 1er et 2 octobre présente deux épicentres, l'un vers Plan d'Aups et l'autre au large de Toulon. 2eme record pluviométrique à Toulon La Mitre le 2/10/1973 : 155.7 mm en 24h (Météo-France). Le cumul du 13/10/1973 est plus faible (136.6 mm)

- 2eme Record pluviométrique à Toulon La Mitre le **2/10/1973** : 155.7 mm en 24h 6h-6h (Météo-France), soit entre 30 et 50 ans de période de retour (Statistiques Toulon la Mitre, Ingerop, 2017). A Hyères 152 mm/24h le 2/10/1973 entre 20 et 30 ans de période de retour (Statistiques METEOFRANCE, 2018).

Météo-France	Toulon La Mitre	Hyères	Cuers
02/10/1973	155.7	152*	111.4
13/10/1973	136.6	102.9*	134

*Données http://meteo-climat-bzh.dyndns.org

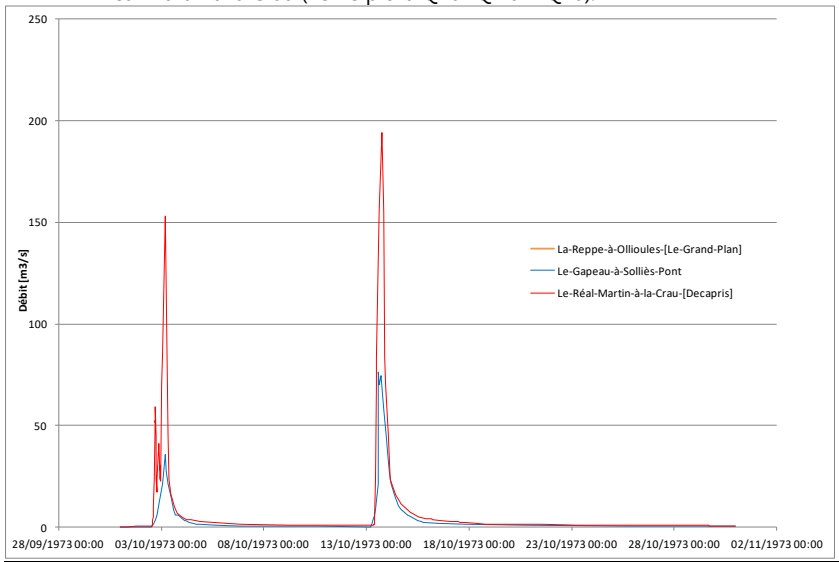
- Le cumul sur le mois d'octobre est de 325 mm (rapport à la normale 1850-2013 de 3.3 !).
- le 2/10/1973 : 262.9 mm en 24h 0h-12h (Météociel).
- Antécédent pluviométrique (cumul en mm) de 31.7 mm sur 1 jour. Soit un cumul sur 2 jours de 187.4 mm à Toulon (1 et 2 octobre).
- La pluie du 13/10/1973 bien que plus faible et que sur 24h reste très importante : 136.6 mm/24h. entre 10 et 200 ans de période de retour (Statistiques Toulon la Mitre, Ingerop, 2017).



</td><td>

Type de crue : Crue débordante dans la <u>partie toulonnaise</u>. Du fait d'un épicentre du phénomène pluvieux au large de Toulon, il est probable que l'Eygoutier ait réagi plus fortement que les autres cours d'eau de la région (crues <Q20). Il s'agit sans doute d'une crue du bassin Toulonnais. Crues sur les deux cours d'eau de la région.

- Des débordements ont lieu sur la partie toulonnaise. Le débit estimé au niveau du tunnel Lamalgue est de l'ordre de 55 m^3/s (page 35 ; SCE, 2007).
- Le débit de 45 m3/s a été dépassé à cette occasion au tunnel de Lamalgue (p3 ; Daragon, 1989). Le débit est évalué à 55 m^3/s (p4).
- Deux crues successives sur les deux cours d'eau de la région avec des observations : les crues du Gapeau à Sollies-Pont sont plus faibles que celles du Real Martin à la Crau (2eme pic à Q10<Qmax<Q20).

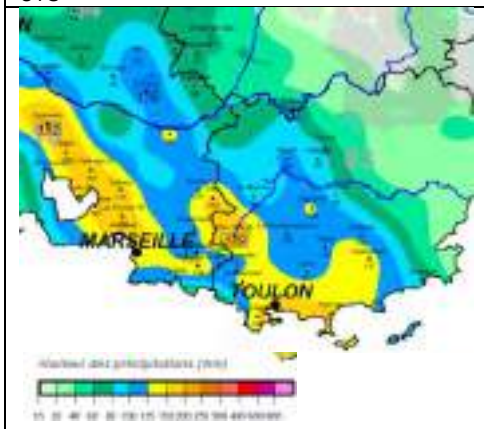
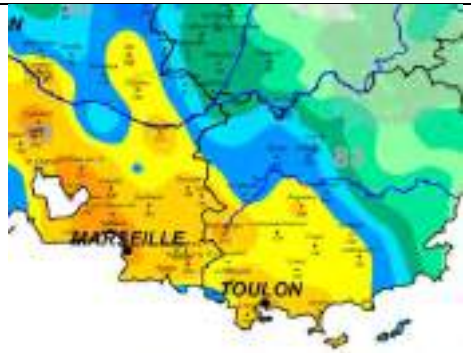


Le-Gapeau-à-Sollies-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
03/10/1973	35,6	<Q2	03/10/1973	153	Q5<Q<Q10
13/10/1973	76,4	Q2<Q<Q5	13/10/1973	194	Q10<Q<Q20

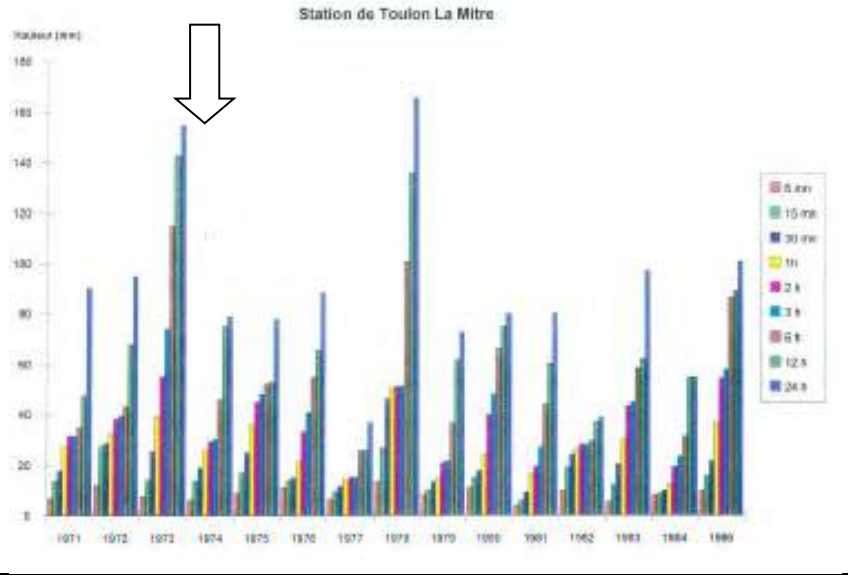
- Crue très importante sur la Reppe en deux temps : 1er octobre, remplissage du Karst (pluie de 40 mm) puis grosse intensité (120 à 140 mm sur le 2 octobre) . http://statique.sigvar.org/virtual/1/lots/1_note_presentation_mars2010.pdf

</td></tr>
</table>

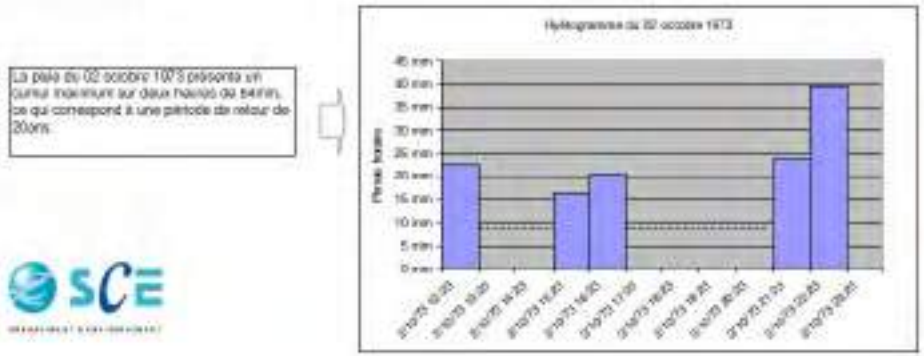
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en **1 jour** du 2 OCTOBRE 1973 à 6 h UTC au 3 OCTOBRE à 6 h UTC	Cumuls pluviométriques (mm) – **Episode de 2 jours** OCTOBRE 1973 à 6 h UTC au 3 OCTOBRE à 6 h UTC
	

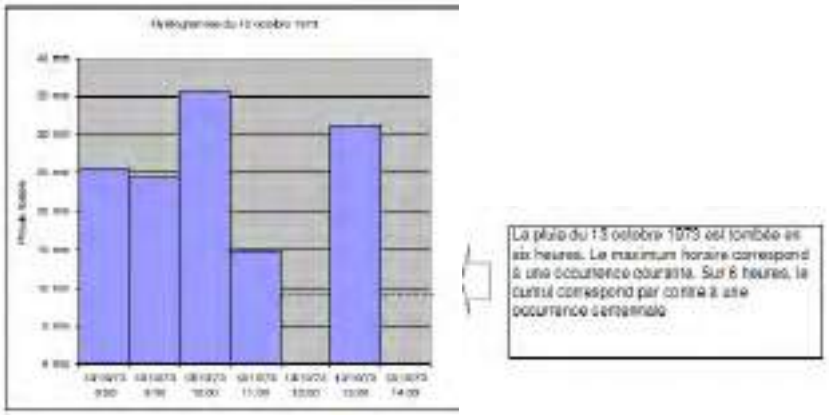
- Cumuls de 1971 à 1986 sur 6, 15 et 30 mn et sur 1, 2, 3, 6, 12 et 24 h (SIB, 1994) : records sur 1973 et 1978.



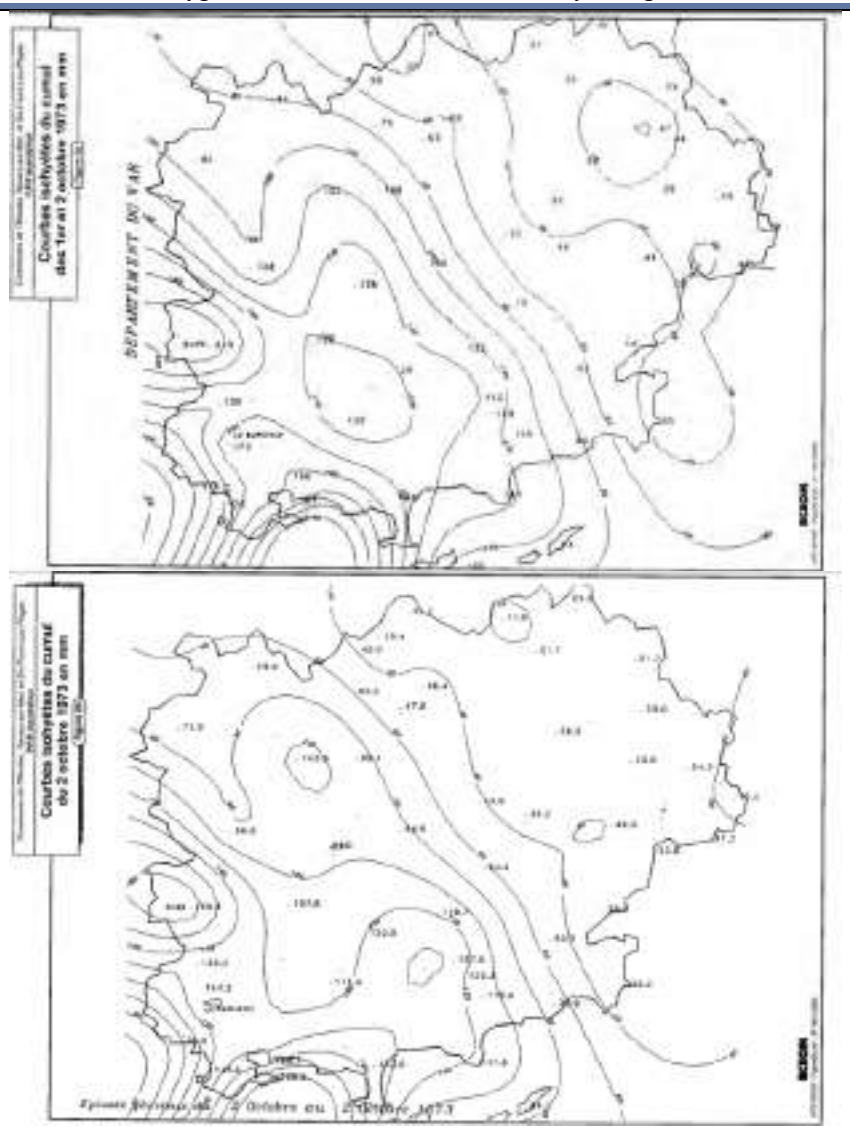
- Hyétogrammes des pluies du 02/10/1973 à Toulon La Mitre (SCE, 2007 p97) : max de 40 mm en 1 h le 2/10/1973 soit entre 5 et 10 ans et cumul de 64 mm en 2h - soit 20 ans (Statistiques Toulon la Mitre, Ingerop, 2017) ; cumul de 64 mm en 6h- entre 2 et 5 ans (Statistiques Toulon la Mitre, Ingerop, 2017)



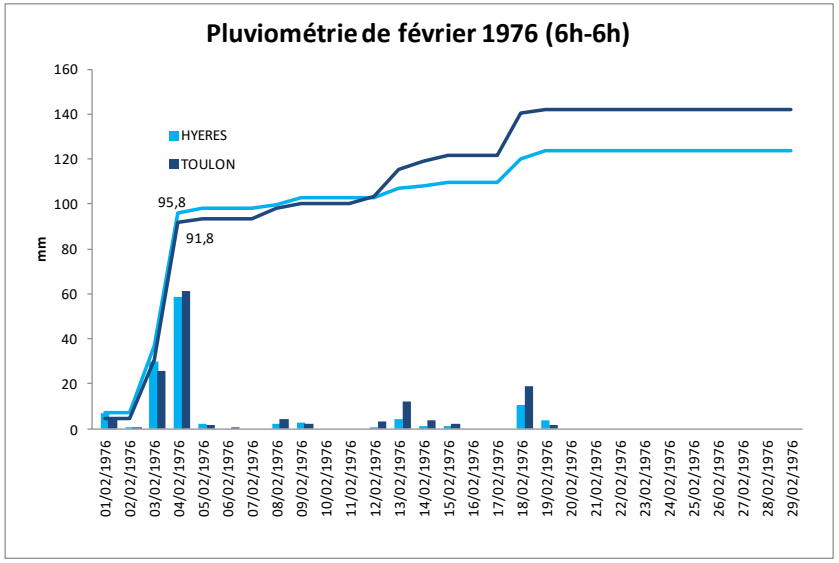
- Hyétogrammes des pluies du 13/10/1973 à Toulon La Mitre (SCE, 2007 p97) : cumul 30 mm sur 1 h soit entre 2 et 5 ans (avec statistiques Ingerop) mais cumul d'environ 130 mm en 6 h soit 50 ans (avec statistiques Ingerop).



- Un cumul de 250 mm/6h à Toulon ???(02/10/1973) et 140 mm (sur6h) me 13 ? (http://www.meteociel.fr/climatologie). Un cumul de 110 mm/6h su Hyères (02/10/1973) soit environ T=50 ans (Statistiques Hyères, Ingerop, 2017). (http://www.meteociel.fr/climatologie). Absence d'autres données
- Courbes isohyètes des cumuls sur 48h des journées du **1er et 2 octobre** (du 1 octobre de 6h au 3 octobre à 6h) et maxi en 24 h pour le 2 octobre (du 2 octobre de 6h au 3 octobre à 6h). Le phénomène pluvieux présente deux épicentres (cellules intenses), l'un vers Plan d'Aups à 215 mm et l'autre au large de Toulon (246 mm). Période de retour entre 20 et 30 ans max. (source : PPRi de la Reppe) http://statique.sigvar.org/virtual/1/lots/1_note_presentation_mars2010.pdf

		
4/02/1976	**Type : Episode de grande extension spatiale et de faible amplitude (entre 2 et 5 ans sur 24h et 6h) et des conditions antécédentes défavorables.** • Précipitations 24h = 61.10 mm à Toulon La Mitre soit entre <<2 ans de période de retour. Cumul sur 2 jours important : 87 mm.	**Type de crue : Les débordements sont limités à la plaine de la Garde. Il est probable que la crue sur la partie Toulonnaise ai été plus faible.** • 1976 "les récentes et graves inondations du Plan de La Garde"(GEORIVES - 1442 W 76).

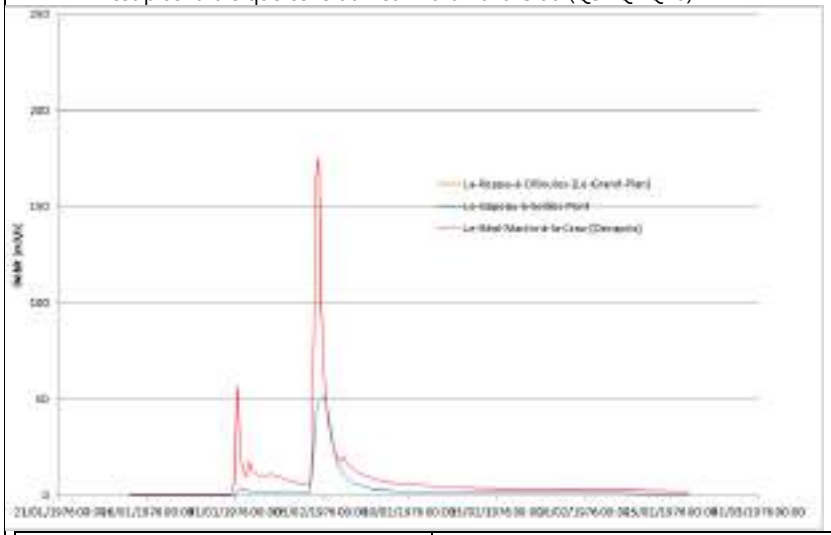
DATE	HYERES	TOULON
01/02/1976	7,00	4,40
02/02/1976	0,40	0,40
03/02/1976	29,70	25,90
04/02/1976	58,70	61,10



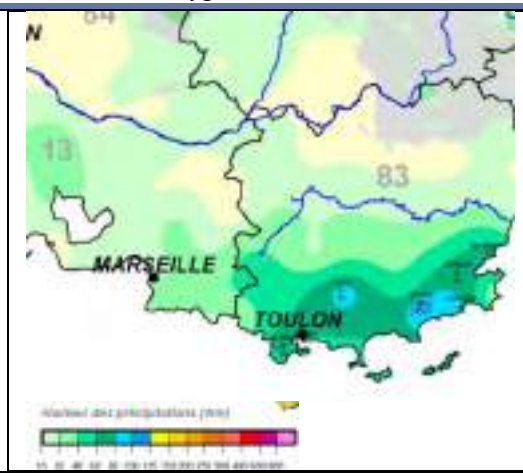
- Précipitations 24h = 81 mm (max sur 24h glissante?) le 4 février 1976 à la station de Hyères (Ban le Palyvestre) soit T<<5 ans (Statistiques Hyères, MétéoFrance 2017). Des intensités de 60 mm/6h soit T<5 ans (Statistiques Hyères, MétéoFrance 2017). (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- Intensité de 60 mm /6 h (13h-19h) soit entre 2 et 5 ans de période de retour; 40mm/6h et 23 mm/sur 6h à Toulon entre 7h et 19h (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- Pluies antécédentes : P48h = 86.40 mm à Toulon. (http://www.meteociel.fr/climatologie). Cumul sur 4 jours important.
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de **1 jour** du 4 FEVRIER 1976 à 6 h UTC au 5 FEVRIER à 6 h UTC	

- "lors des fortes précipitations pluviales du printemps et de l'automne, la zone reste donc inondée pendant plusieurs jours ne bénéficiant pas d'une évacuation rapide naturelle par infiltrations souterraines en raison de l'imperméabilité des sols" (GEORIVES - 1140W204)
- Une crue sur les deux cours d'eau de la région : la crue du Gapeau à Sollies-Pont est plus faible que celle du Real Martin à la Crau (Q5<Q<Q10)

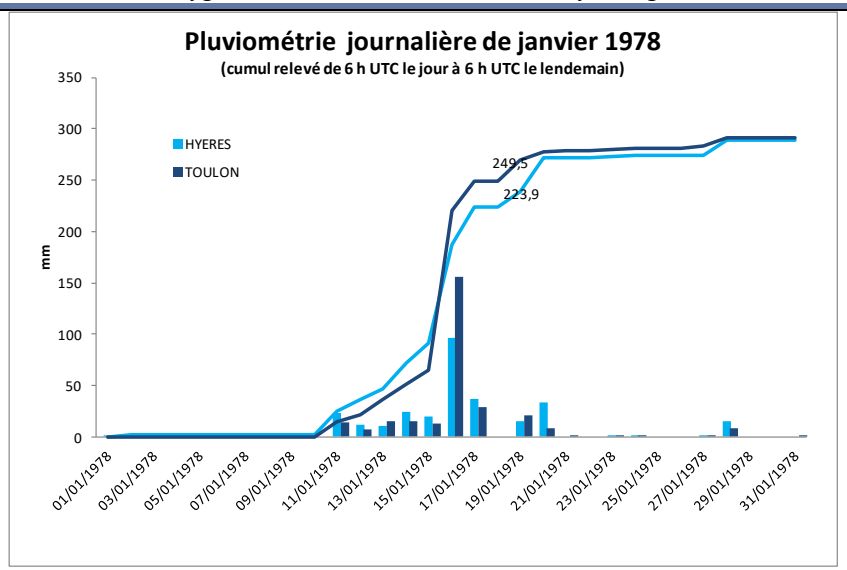


Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
05/02/1976	52,6	Q2<Q<Q5	04/02/1976	176	Q5<Q<Q10

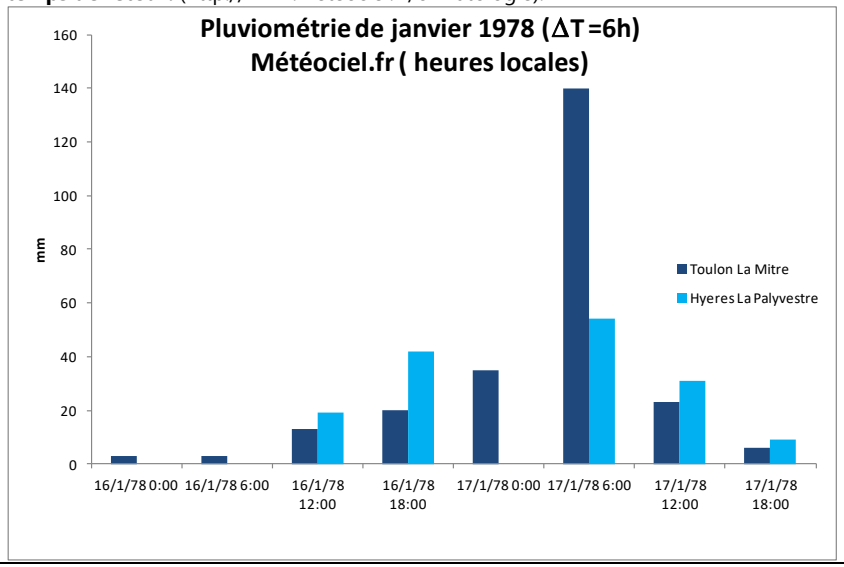
<table>
<tr>
<td></td>
<td>
</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>16-17 janvier 1978</td>
<td>Type de pluie : Episode exceptionnelle par sa durée et son ampleur géographique avec les plus fortes précipitations journalières (record pluviométrique à Toulon La Mitre le 16/01/1976: 156 mm en 24h - Météo-France) se produisant sur des sols déjà saturés (les totaux sur 7 jours du 11 au 17 janvier sont de 249 mm à Toulon et 289 mm à Hyères). Les précipitations intenses sont centrées sur Toulon (intensités max de 100-140 mm sur 6h à Toulon suivant les sources (entre 20 et 50 ans) et plus faibles sur Hyères de 54 mm sur 6h (<< 5ans).

Record pluviométrique à Toulon La Mitre le 16/01/1978 : 156 mm en 24h 6h-6h (Météo-France) soit entre 30 et 50 ans de période de retour (Statistiques Toulon la Mitre, Ingerop, 2017). Les pluies sont plus faibles sur la station d'Hyères et à Cuers.
<table>
<tr><th>Météo-France</th><th>Toulon La Mitre</th><th>Hyères</th><th>Cuers</th></tr>
<tr><td>16/01/1978</td><td>156</td><td>96.3</td><td>134</td></tr>
<tr><td>17/01/1978</td><td>29</td><td>36.8</td><td>-</td></tr>
</table>
*Données http://meteo-climat-bzh.dyndns.org
Antécédent pluviométrique à Toulon La Mitre (cumul en mm) : 13.1 mm le jour précédent et de 64.3 sur les 5 jours précédents. Soit un cumul de 233.4 mm sur 6 jours et 249.3 sur 7 jours.
Cumul sur le mois de janvier de 291.8 (rapport de 4 à la normale 1950-2013) !
</td>
<td>Type de crue : Il s'agit de la crue historique de référence sur le bassin versant de l'Eygoutier. <u>Autant en amont qu'en aval du pont de La Clue</u>. Les inondations sont très importantes sur la plaine de la Garde. La crue est estimée d'ordre centennal (185 m3/s sur 4 h où? Quand?). Les deux autres cours d'eau ont réagi moins fortement avec des débits de pointes entre 10 et 50 ans de période de retour du fait de précipitations plus intenses plus à l'Est et centrées sur Toulon (Le-Gapeau-à-Solliès-Pont plus à l'Est a réagi plus fortement que le Real Saint-Martin).

La pluie de 1978 a été centennale du point de vue de ses effets sur la plaine de la Garde, mais pas pour sa partie Toulonnaise où elle correspond à une occurrence moindre (SCE, 2007)
Il s'agit de la crue historique de référence sur le bassin versant de l'Eygoutier. Autant en amont qu'en aval du pont de La Clue. Le PER (Plan d'Exposition aux Risques) a été calé par rapport à cet évènement (TRI, 2013)
Le débit évacué vers Toulon a été de 15 m3/s pour un débit de 30 m3/s sous le tunnel de la Clue (SOGREAH, 2002, page 8).
Inondations près de La Garde (Var) en janvier 1978 (photos : DDE 83 (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Crues-en-Provence.html)
</td>
</tr>
</table>



- Précipitations 24h = 146 mm à Toulon La Mitre le 17/01/1976 soit entre 30 et 50 ans de période de retour. Les cumuls du 11 au 17 janvier sont très importants : 185.5 mm à Hyères et 225.2 à Toulon La Mitre (sources des données : http://www.meteociel.fr et http://www.infoclimat.fr).
- **Les intensités max sont de 140 mm (sur 6h) à Toulon (soit ~100 ans de période de retour -** Toulon la Mitre**) et plus faibles sur Hyères de 54 mm (sur 6h) soit entre 2 et 5 ans de temps de retour.** (http://www.meteociel.fr/climatologie).



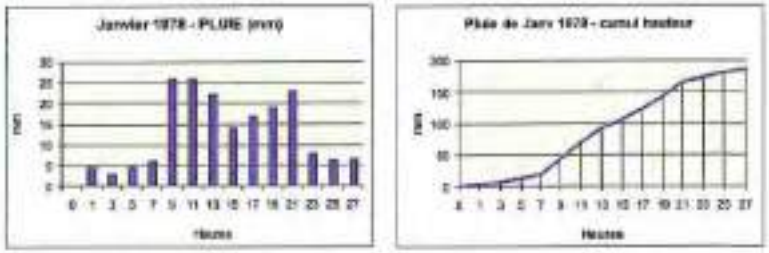


- La montée des eaux s'est effectuée dans la nuit du 16 au 17 janvier. Une estimation du **débit de pointe moyen** sur un intervalle de 4 heures a été effectuée par Coyne et Bélier : elle est de **185 m3/s** (Volume entrant dans la plaine?). Cette inondation a atteint les quartiers bas de la Garde... De nombreuses photographies aériennes existent sur la Plaine dans la journée du 17 janvier. On peut effectivement constater la formation d'un véritable lac de près de 500 ha.(Etude Sogreah/Daragon 2002).
- "Après une semaine de pluie (pluies sur 5 les jours antérieures, ayant saturé les sols), il tomba 130 millimètres d'eau en 24 heures, dans la nuit du 16 au 17, sous la forme d'une violente trombe de grêle, qui entraîna de nombreuses obstructions. L'Eygoutier se transforma en un torrent, et le tunnel du pont de la Clue devint vite insuffisant pour évacuer toute l'eau. Dans le Plan le niveau de l'eau atteignit jusqu'à 2.50 mètres; l'eau arriva à quelques dizaines de mètres de la mairie de La Garde, à la Campagne Panisse, il y eut 1 m d'eau boueuse. La durée de submersion varie selon les secteurs de la Plaine : - submersion résorbée dans la journée du 17 : cote supérieure à 25ngf. - submersion au-delà du 18 au matin : cote inférieure à 24ngf". **Une estimation du débit de pointe moyen sur un intervalle de 4 heures a été effectuée par Coyne et Bélier : elle est de 185 m3/s.** De nombreuses photographies aériennes existent sur la Plaine dans la journée du 17 janvier. On peut effectivement constater la formation d'un véritable lac de près de 500 ha. De nombreuses coupures de presse sont disponibles aux archives, certaines étant largement reproduites dans la bibliographie existante (notamment annexe 1 Etude SCE 2007, schéma aménagement 1994 SIB...) (GEORIVES)
- **Estimation, d'après la variation du niveau de la Plaine de la Garde, d'un débit maximum entrant dans la plaine de 185 m3/s en moyenne sur 4 heures pour un débit sortant maximum de 43 m3/s au pont de la Clue (Coyne et Bélier, 1979, cité par CETE, 2003).**
- **Coupure de presse (SIB, 1993)**

- SOGREAH, 2002 : cumul de 125 mm au 17/01. Les cumuls horaires à la Foux sont d'environ 25 mm soit **< 2 ans de temps de retour (statistiques Ingerop** Toulon la Mitre**).**
- 2002 - SOGREAH - Hydrau Tunnel La Clue

■ Crue des 16/17 et 18 Janvier 1978.

La pluie a été mesurée au poste de la Foux au centre de la Plaine. Elle est décrite par les courbes suivantes :



- Coyne et Belier, 1979 (cité par CETE, 2003) :

L'étude de Coyne et Bélier a également montré que la crue de 1978 a été provoquée par une pluie de période de retour de l'ordre de 10ans sur 24h, sans intensités notoires, mais précédée de pluies sur 5 jours antérieurs, ayant saturé les sols ruraux de la Plaine.

Crue de janvier 1978 :
Pluie antérieure de 64mm sur 5 j antérieurs. Précipitation de 178 mm en 24 h dont 78 en 6h. Volume sur 24 h de 9.5 Mm3, soit deux fois le volume de la Plaine inondée à la PHE 24NGF. Estime, d'après la variation du niveau dans la Plaine, le débit max. entrant dans la Plaine à 185 m3/s en moyenne sur 4h, pour un Qmax sortant à Pont de la Clue de 43 m3/s.
Remarques :

- *la loi QH au pont de la Clue, sommaire, intègre un débit écoulé vers Toulon déduit d'un calcul hydraulique très rapide avec un coefficient de Strickler étonnamment faible. Le prendre plus fort conduirait à surestimer les débits ruisselés.*
- *La tentative de reconstitution de la crue de janvier 1978 est faite en considérant la plaine comme un réservoir sans vertie, ce qui conduit à un débit de pointe de 200 à 250 m3/s soit une transformation intégrale de la pluie brute en pluie nette. Le débit spécifique "entrant" serait alors de 5 m3/s.km², valeur conséquente pour 50km².*

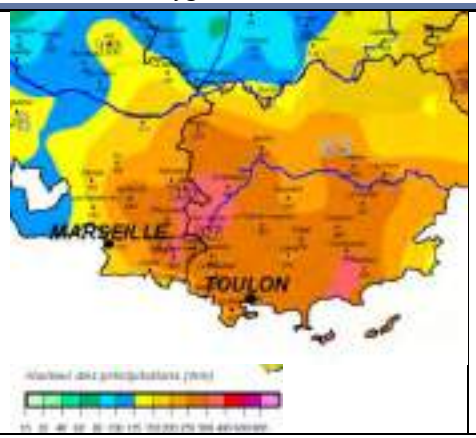
Durée	*Cumul*	**statistiques Ingerop** Toulon la Mitre**).**
P 24h	*178 mm*	*Entre 50 et 100 ans*
P 6 h	*78 mm*	*Entre 5 et 10 ans*

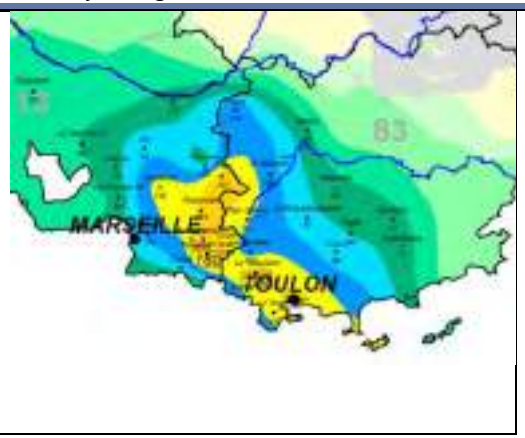
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 10 jours du 11 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 21 JANVIER à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 16 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 17 JANVIER à 6 h UTC

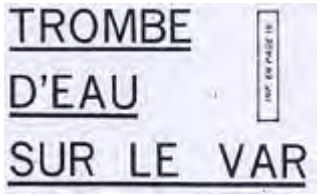

Var Matin
La Valette - La Garde - Le Pradet
INONDATIONS :
des milliers de sinistrés
NEIGE : PLAN ORSEC EN LOZÈRE
TROIS MORTS
LA PLAINE SOUS LES EAUX

- Une crue sur les deux cours d'eau de la région : la crue du Gapeau à Sollies-Pont est plus forte (Q20<Q<Q50) que celle du Real Martin à la Crau (Q10<Q<Q20) liée la répartition de la pluie plus à l'Est.

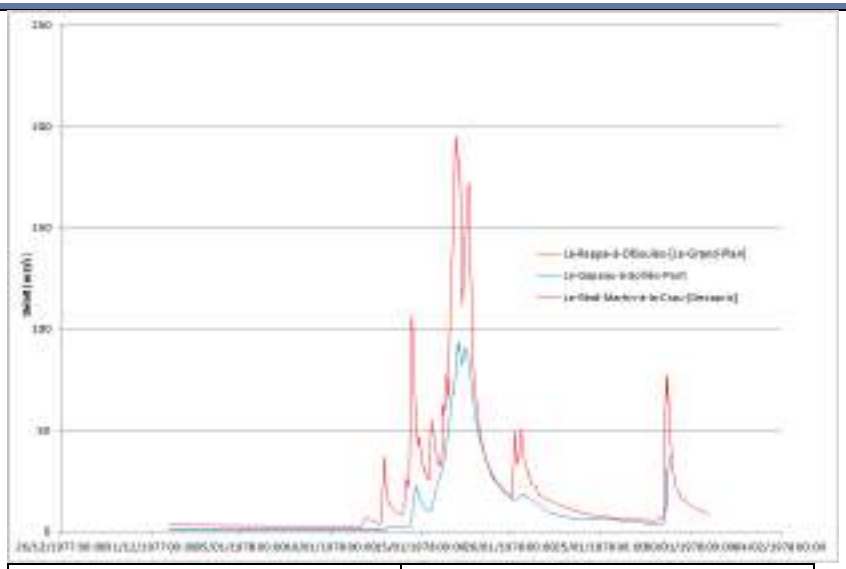




- Evénement mémorable (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Crues-en-Provence.html) :



Du 11 au 17 janvier un épisode de précipitations fortes et durables touche la Provence. Toutes les rivières du Var et des Bouches-du-Rhône connaissent des crues dévastatrices, notamment l'Arc à Aix en Provence et l'Huveaune à Marseille. Tout d'abord c'est un épisode de pluies très importantes en quantités puisque pour la seule journée du 16 les valeurs atteignent les 100 à 180 mm sur une grande aire géographique. D'autre part ces pluies se produisent en janvier, hors de la traditionnelle période automnale. Du **11 au 17 janvier, il pleut chaque jour, portant les totaux sur 7 jours à plus de 200 mm sur le Var (249 mm à Toulon, 289 mm à Hyères**, 275 mm au beausset) et plus 300 mm sur tout l'est des Bouches-du-Rhône (317 mm à Trets). Ce sont les 16 et en matinée du 17 janvier, sur des sols gorgés d'eau, par les 5 jours de pluies depuis le 11, que les plus fortes précipitations se produisent Enfin, c'est un épisode assez long puisqu'il dure 7 jours consécutifs !



Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
17/01/1978	93	**Q20<Q<Q50**	16/01/1978	195	Q10<Q<Q20

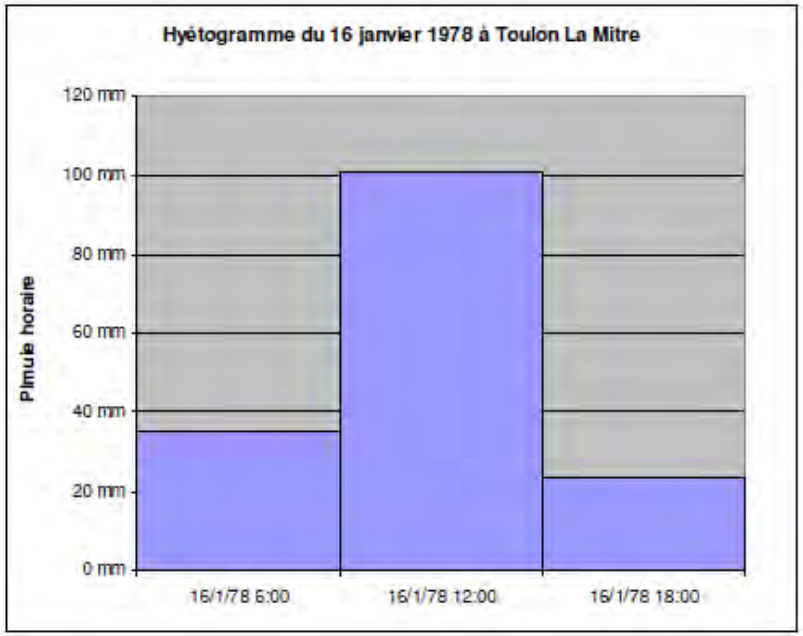
- Articles de presse : "le Gapeau a monté de 6 mètres" (SCE, 2007)

Précipitations quotidiennes relevées sur les Bouches du Rhône et le Var entre le 11 et le 17 janvier 1978 et cumuls supérieurs à 150 mm



Source : http://pluiesextremes.meteo.fr Email : pluiesextremes@meteo.fr

- **La pluie de janvier 1978 était une pluie longue sur des sols saturés. L'intensité maximale s'est produite sur une période d'environ 6 heures. Ainsi cette pluie a généré des volumes de crue importants, mais des pics de débit de moindre intensité sur les petits bassins versants (SCE, 2007)**
- **Pluviométrie du 16 janvier 1978 à Toulon La Mitre (SCE, 2007, p97) :**

<table>
<tr>
<td></td>
<td>


Pluie de 1978 de COYNE ET BELIER - 1979 (SCE / Mai 2007/ page 13 / 111)

Pluie de janvier 1978
<table>
<tr><th>Durée [heures]</th><th>Précipitation maximale [mm]</th><th>Période de retour [ans]</th></tr>
<tr><td>24</td><td>176</td><td>100</td></tr>
<tr><td>12</td><td>128</td><td>100</td></tr>
<tr><td>6</td><td>78</td><td>20</td></tr>
<tr><td>2</td><td>26</td><td>5</td></tr>
</table>
http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/IMG/sipex_pdf/1978_01_16_note_technique_SMM_deloffre_frasse.pdf
</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>26-27/10/1979</td>
<td>Type de pluie : Episode exceptionnelle par sa durée et son ampleur géographique mais centré plus à l'Est (la pluviométrie à Toulon La Mitre le 27/10/1979 n'est que de 29.2 mm en 24h)

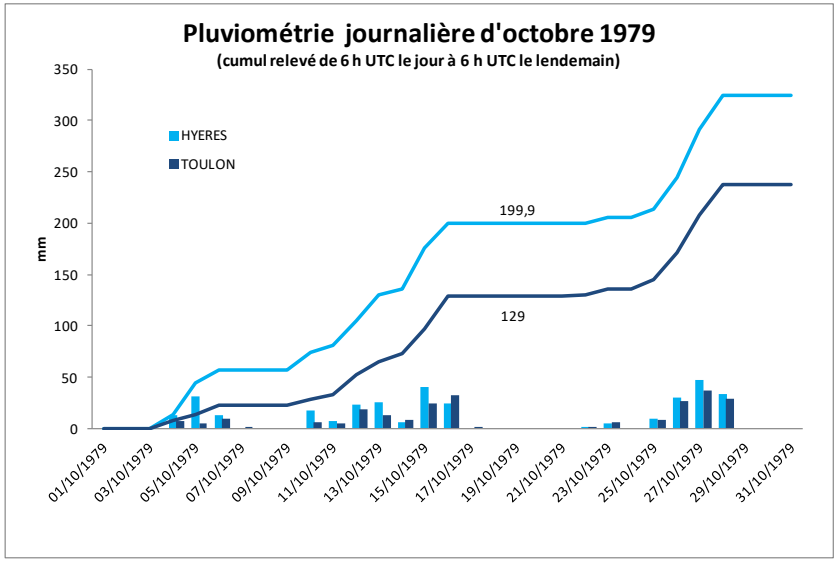
Précipitations 24h = 61.10 mm à Toulon La Mitre soit entre <<2 ans de période de retour. Cumul sur 4 jours important : 101.6 mm.

</td>
<td>Type de crue : Inondation localisée du Quartier du Plan du Pradet et de la Garde du fait de pluie peu intense sur des sols saturés. (<u>événement localisé Plaine de la Garde</u>)

26-27/10/1979 Nouvelles inondations du Quartier du Plan du Pradet et de la Garde, qui a permis d'apprécier à sa juste valeur le nouveau dispositif d'équilibrage (dévidoir à vanne installé près du pont de la Barry) des débits d'eau entre les cours d'eau de la plaine (l'Eygoutier et le nouveau canal). (GEORIVES-1442 W 84)

</td>
</tr>
</table>

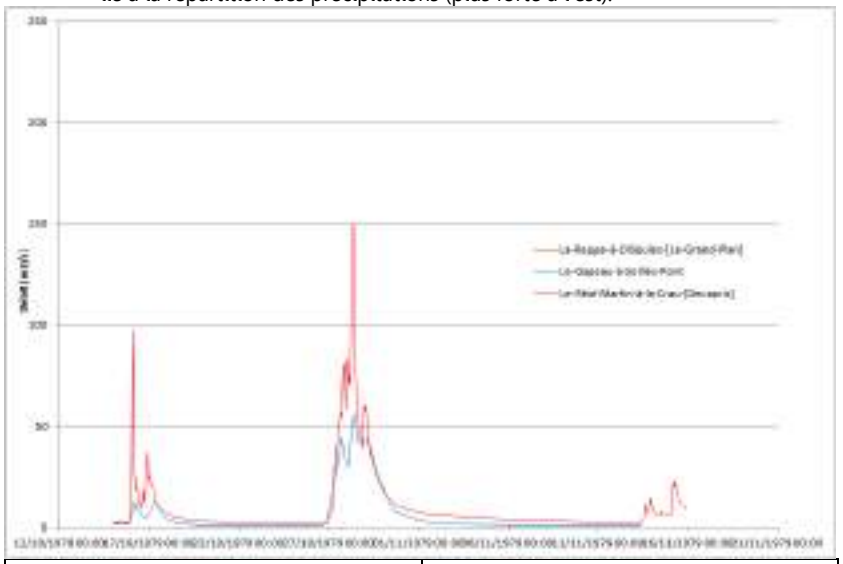
DATE	HYERES	TOULON
25/10/1979	9	8,8
26/10/1979	29,8	27,1
27/10/1979	47,7	36,5
28/10/1979	33,2	29,2



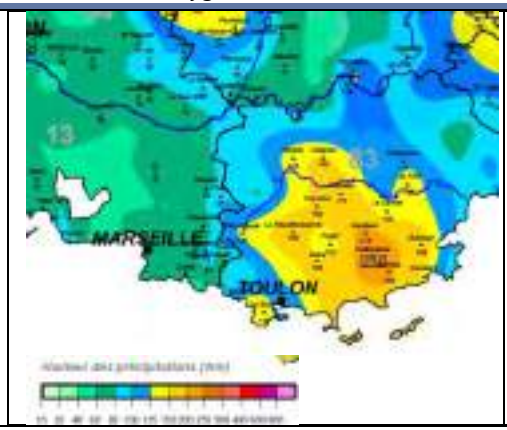
- Pluviométrie à Toulon La Mitre le 27/10/1979 : 42.9 mm en 24h soit < 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon). Les pluies sont plus fortes sur la station d'Hyères de 50 mm en 24 h mais les intensités max restent faibles (infoclimat). Les intensités max sont faibles de 22 mm (sur 6h) à Toulon et de 26 mm (sur 6h) à Hyères (Ban le Palyvestre).
- 22 mm (sur 6h) à Toulon, puis 13 mm (sur 6h) et 21 mm (sur 6h) soit < 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon).
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

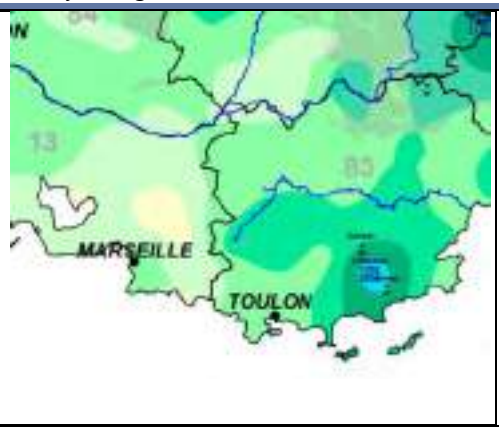
Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de **4 jours** du 25 OCTOBRE 1979 à 6 h UTC au 29 OCTOBRE à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 26 OCTOBRE 1979 à 6 h UTC au 27 OCTOBRE à 6 h UTC

- Une crue sur les deux cours d'eau de la région : la crue du Gapeau à Sollies-Pont est moins importante (Q2<Q<Q5) que celle du Real Martin à la Crau (Q5<Q<Q10) lié à la répartition des précipitations (plus forte à l'est).



Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
28/10/1979	55,5	Q2<Q<Q5	28/10/1979	150	Q5<Q<Q10

<table>
<tr>
<td></td>
<td>


</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>29 septembre 1982</td>
<td>Type de pluie : Orage localisé (?). A priori étendu au Bassin versant.

Précipitations 24h = 28 mm à Toulon La Mitre soit entre <<2 ans de période de retour et 77.8 mm à Hyères.

<table>
<tr><th>DATE</th><th>HYERES</th><th>TOULON</th></tr>
<tr><td>26/10/1979</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>27/10/1979</td><td>77,8</td><td>28</td></tr>
<tr><td>28/10/1979</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>

Le cumul des pluies P24h sur le 30/10 est de 27.9 mm à Toulon << 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon).. (http://www.meteociel.fr/climatologie). Les intensités max sont faibles de 9 mm (sur 3h) le 30/09/1982 à Toulon la Mitre.
Pas assez d'info sur les pluies au pas de temps court et très courts notamment.
Les pluies sur Toulon ne semblent pas représentative des dégâts.
</td>
<td>Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (7 communes du bassin). A priori inondations localisées et par ruissellement ayant atteint tout le bassin versant de l'Eygoutier.

29/09/1982 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur les communes de La Garde, Le Pradet, La-Valette-du-Var, La Crau, La Farlède, Toulon (prim.net)
Pas de crues notables sur les cours d'eau de la région.
</td>
</tr>
<tr>
<td>23-24 août 1983</td>
<td>Type de pluie : Orage très localisé (littorale)

<u>Record pluviométrique pour un mois d'aout</u> à Toulon La Mitre le 24/08/1983 : 59.5 mm en 24h (Météo-France) < 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon).
Cumul sur le mois d'aout de 177.7 mm (rapport de 7.6 à la normale 1950-2013 !)
Cumul sur deux jours important : 98.1 mm

<table>
<tr><th>DATE</th><th>HYERES</th><th>TOULON</th></tr>
<tr><td>22/08/1983</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table></td>
<td>Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (localisé au <u>bassin Toulonnais</u>). A priori inondations par ruissellement.

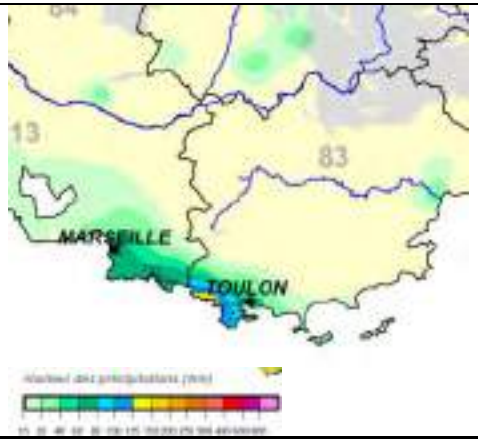
2 événements ! 23/08/21983 et 28/08/1983 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune de Toulon uniquement (prim.net)
Pas de crues notables sur les cours d'eau de la région.

<table>
<tr><th colspan="3">Le-Gapeau-à-Solliès-Pont</th><th colspan="3">Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]</th></tr>
<tr><th>Date</th><th>Qmax (m3/s)</th><th>Temps de retour</th><th>Date</th><th>Qmax (m3/s)</th><th>Temps de retour</th></tr>
<tr><td colspan="3">Pas de données</td><td>24/08/1983</td><td>30,3</td><td><<Q2</td></tr>
</table></td>
</tr>
</table>

23/08/1983	55,8	38,6
24/08/1983	12,7	59,5
25/08/1983	0,7	6,1

- P= 10mm/3h (http://www.meteociel.fr/climatologie) < 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon). Pas d'info sur les pas de temps court et très courts
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour le 24 AOUT 1983 à 6 h UTC au 25 AOUT à 6 h UTC



Maxi.	Dép.	Lieu
160 mm	83	BANDOL

13 octobre 1988

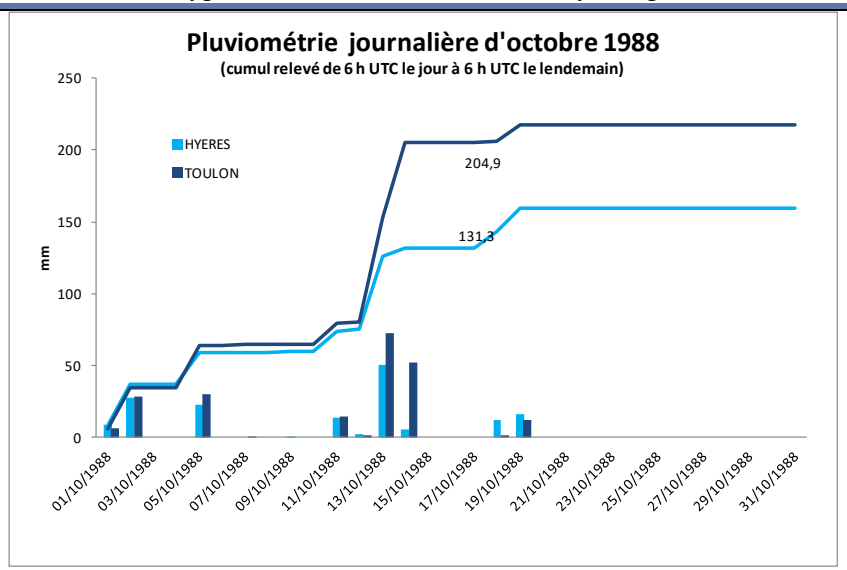
Type : Episode de grande extension spatiale, long mais peu intense (72.6 mm en 24h à Toulon La Mitre le 13/10/1988) sur des sols saturés.

- P24h à Toulon proche de 2 ans de temps de retour. Cumul sur deux jours important : 124.8 mm

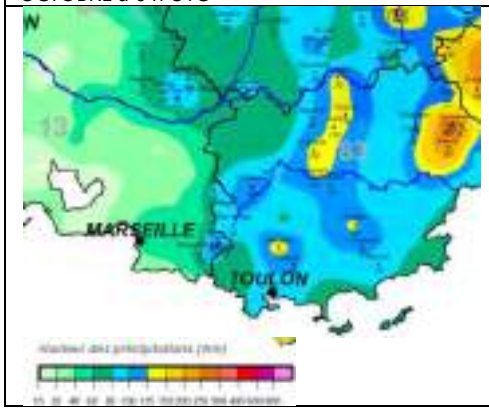
DATE	HYERES	TOULON
11/10/1988	13,8	14,4
12/10/1988	2	1,1
13/10/1988	50,7	72,6
14/10/1988	5,3	52,2

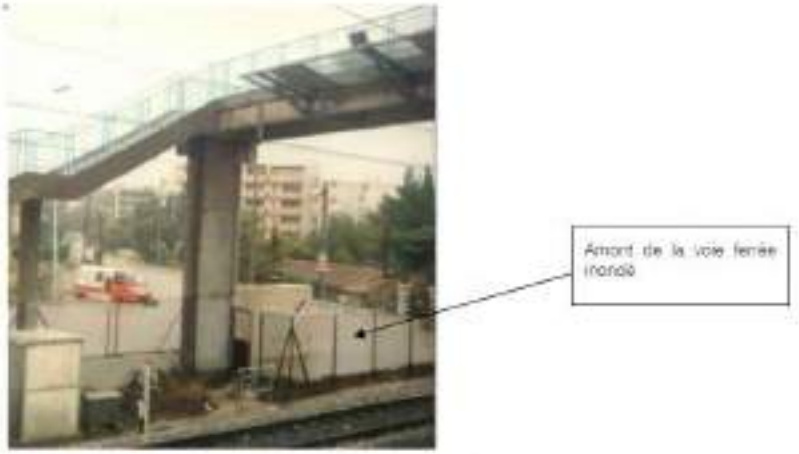
Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (4 communes, amont et aval pont de la Clue). A priori inondations par ruissellement. Crue du ruisseau de Sainte-Musse (bassin toulonnais). Crue remarquable mais faible (Q2<Q<Q5) sur le Gapeau à Solliès-Pont.

- 13/10/1988 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune de La Crau, La Garde, Carqueiranne et Toulon (prim.net)
- Photos (SCE, 2007) du 7 octobre 1988 :



- Pluviométrie à Toulon La Mitre le 13/10/1988 : 72.6 mm en 24h (SCE, 2007) soit ~ 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon).
- Le cumul des pluies P24h sur le 13/10 est de 55.1 mm à Toulon et 33 mm à Hyères. (http://www.meteociel.fr/climatologie). Les intensités max sont faibles de 7 mm (sur 3h) à Toulon) <<< 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon). Moindre à Hyères (max le 2/10).
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

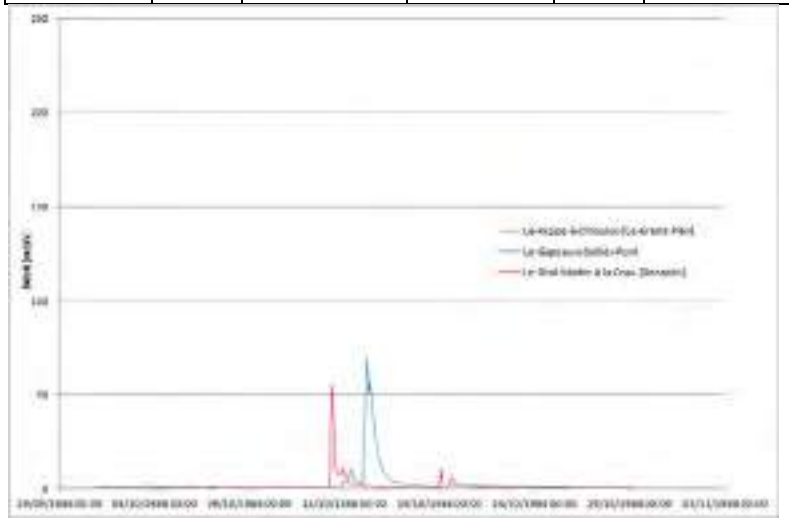
Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de **3 jours** du 11 OCTOBRE 1988 à 6 h UTC au 14 OCTOBRE à 6 h UTC	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 11 OCTOBRE 1988 à 6 h UTC au 12 OCTOBRE à 6 h UTC
	**NORD-EST du VAR** **Maxi.** **Dép.** **Lieu** 200 mm 83 TOURRETTES



Sainte Musse – Amont voie SNCF – 7 Octobre 1988

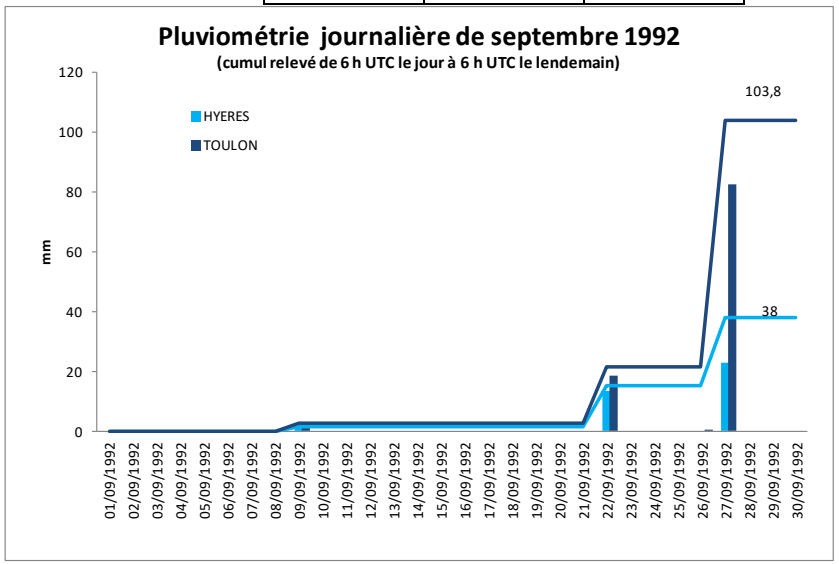
- Crue remarquable mais faible que sur le Gapeau à Solliès-Pont.

Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
15/10/1988	69,5	Q2<Q<Q5	13/10/1988	55,1	<Q2



<table>
<tr>
<td>26 septembre 1992</td>
<td>
Type : Orages très localisés (?)

Le cumul des pluies P24h sur le 27/09 est de 82.3 mm à Toulon (soit entre 2 et 5 ans de période de retour) et 23 mm à Hyères.

<table>
<tr><th>DATE</th><th>HYERES</th><th>TOULON</th></tr>
<tr><td>26/09/1992</td><td>0</td><td>0,2</td></tr>
<tr><td>27/09/1992</td><td>23</td><td>82,3</td></tr>
<tr><td>28/09/1992</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>


Des orages concernent notamment le ruisseau de Sainte-Musse (SCE, 2007)
Des intensités sans doute importantes. Pas d'information.
Cumul 24 h le 23/09 et 27/09/1992 à Hyères (13.5 mm et 20.1 mm en 24h) et 79 mm en 24 h au Cap Cepet le 27/09/1992 (http://www.meteociel.fr/climatologie). Pas de données sur Toulon. Intensité de 20 mm/3h à Hyères le 27/09/1992.

</td>
<td>
Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (<u>bassin versant toulonnais).</u> Pas de crue remarquables (Q<Q2) sur les autres cours d'eau.

26/09/1992 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur les communes de Toulon et Carqueiranne (prim.net)
"Probablement une crue marquante de l'Eygoutier. Les orages auraient surtout concernés le Sainte Musse" (GEORIVES - TRI)
Coupure de presse (SIB, 1994)



Pas de crues remarquables (Q<Q2)

</td>
</tr>
<tr>
<td>1994</td>
<td>Pas de précision sur le mois !</td>
<td>
Type de crue : Crue de la plaine et débordements localisés coté Toulon.

1994 En 1994, la Plaine s'est de nouveau submergée localement, sans gravité, mais barrant toutefois quelques voies communales.
1992 ou 1994 ??? Côté Toulon, un violent orage a provoqué le débordement du ruisseau de Ste Musse. Le courant a entraîné 3 enfants, qui ont été secourus à temps. Suite à cet événement, relaté par la presse locale, la ville de Toulon a engagé la réalisation d'un bassin de rétention de 11000m3 en limite de

</td>
</tr>
</table>

commune avec la ville de la Valette sur le cours de ce ruisseau. Depuis la mise en service de ce bassin, le ruisseau s'est apaisé, connaissant quelques débordements locaux, sans la gravité de ceux constatés auparavant. (GEORIVES-Etude sogreah/Daragon 2002, page 9)

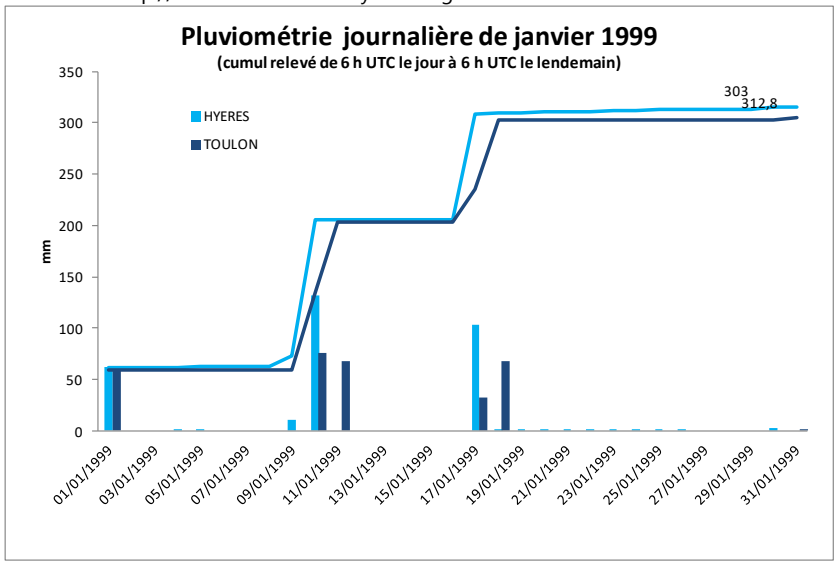
17 janvier 1999

Type de pluie : Episode exceptionnelle par son ampleur géographique mais centré plus au nord (épisode de pluie de 90.4 mm en 24h à Toulon La Mitre le 17/01/1999)

- Cumul mm en 24h 6h-6h sur HYERES (Météo-France), soit entre 10 et 20 ans de période de retour (statistiques METEOFRANCE, 2018)

Météo-France	Toulon La Mitre	Hyères	Cuers
17/01/1999	32*	103.2*	-
18/01/1999	68*	1.4*	149

* http://meteo-climat-bzh.dyndns.org



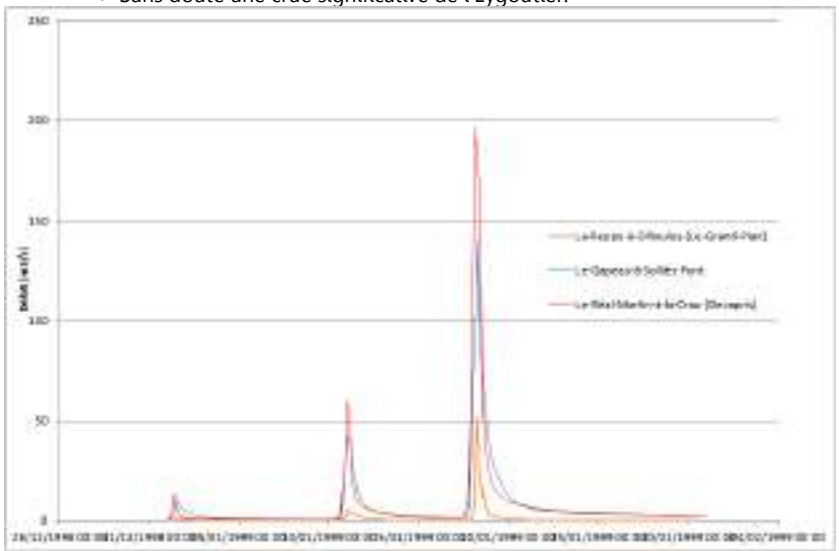
- 2 jours consécutifs pluies importantes : 100 mm sur Toulon et 104.6 mm sur Hyères.

DATE	HYERES	TOULON
16/01/1999	0	0
17/01/1999	103,2	32
18/01/1999	1,4	68
19/01/1999	0,4	0

Evénement marquant !

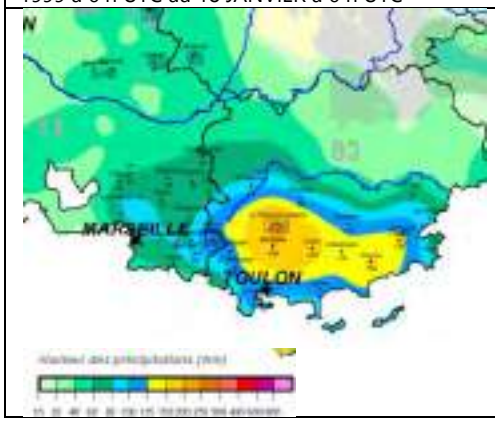
Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (5 communes du BV). Peu d'information sur les dégâts. Fortes crues quasi concomitantes le 18/01/1999 sur les trois cours d'eau de la région (Reppe, Gapeau et Réal). Crue généralisée sur les cours d'eau de la région.

- 17/01/1999 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune de La Valette du Var, La Farlède, Toulon La Crau, La Garde (prim.net)
- "orage très violent, évalué par les riverains du bassin de la Règue à 100 mm en 1h, qui a provoqué des écoulements en nappe d'ampleur inconnue des riverains, mais qui à l'échelle de la Plaine de la Garde n'a généré aucune submersion significative (GEORIVES- Etude sogreah/Daragon 2002)
- Des crues successives et quasi concomitantes sur les trois cours d'eau de la région (de la Reppe à au Gapeau). Celles du 18 janvier sont les plus fortes. Les crues du Reppe (Q20<Q<Q50) et Gapeau à Sollies-Pont sont importantes (Q>Q50) !
  => Sans doute une crue significative de l'Eygoutier.



La-Reppe-à-Ollioules-[Le-Grand-Plan]			Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
18/01/1999	52	Q20<Q<Q50	18/01/1999	141	Q>Q50	18/01/1999	197	Q10<Q<Q20

- 2 jours consécutifs pluie importantes au Cap Cepet le 10 et 11/01/1998 au Cap Cepet (73 et 72.6 mm en 24h (174.1 mm en 48h) et à Hyères (32 et 132.3 mm en 24h). (Pas de données sur Toulon).
- Averses les 17 et 18/01/1999 au Cap Cepet (87 et 87.1 mm en 24h) mais pas à Hyères (pb de fonctionnement ou de données ?) ! (http://www.meteociel.fr/climatologie). Des intensités de 11 mm/3 h à Hyères le 17/01/1999 à 19:00:00…
- P24=88 mm à la station Veolia du chemin de la Foux (HYDRATEC, 2008)
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 17 JANVIER 1999 à 6 h UTC au 18 JANVIER à 6 h UTC	
	

13/11/1999

Type de pluie : Episode intense très localisé

- Averses le 13/11/1999 a Toulon (39 mm en 24h) et à Hyères (43.6 mm en 24h). Et le 21/11/1999 à Toulon (51 mm en 24h)

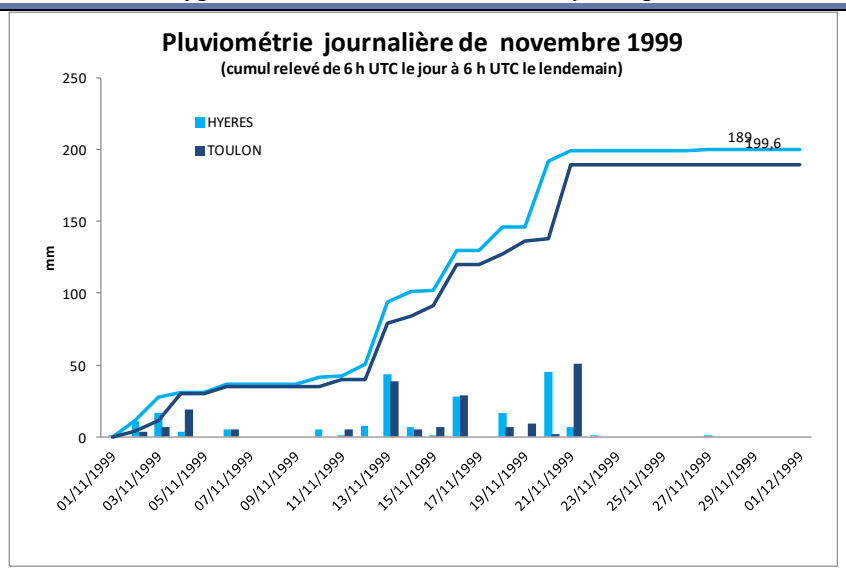
DATE	HYERES	TOULON
13/11/1999	43,8	39
…		
20/11/1999	45,6	2
21/11/1999	7,2	51

- Un mois de novembre très pluvieux : 189 mm (rapport à la normale de 2.3) et faisant suite à un mois d'octobre aussi très pluvieux : 259 mm (rapport à la normale de 2.6).

Type de crue : Episode de ruissellement très localisé (quartier d'Astouret à La Garde). Pas de crues remarquables des 3 cours d'eau de la région.

- "Inondation du quartier d'Astouret à La Garde après une violente précipitation très localisée de 120 mm d'eau en 2h30. 80 cm d'eau, routes coupées. "(GEORIVES- AIRE)
- SOGREAH (2002) : page 5

  Cependant, il faut noter un orage très violent les 13 et 14 novembre 1999, évalué par les riverains du bassin de la Régue à 100mm en 1h, qui a provoqué des écoulements en nappe d'ampleur inconnue des riverains, mais qui à l'échelle de la Plaine de la Garde n'a généré aucune submersion significative.
- Pas de crues remarquables des 3 cours d'eau de la région.



- Averses le 13/11/1999 au Cap Cepet (35.4 mm en 24h) et à Hyères (43.8 mm en 24h). (Pas de données sur Toulon).
- Avec intensité max le 13/11 4 mm/1h à Toulon et à Hyères le 13/11 de 8mm/1h et de 24 mm (sur 3h)) (http://www.meteociel.fr/climatologie). => les pluies enregistrées ne sont sans doute pas représentatives des intensités observées à la Garde.
- Pas d'info sur les pas de temps court et très courts

9 et 10 Octobre 2002

Type de pluie : Episode exceptionnel par sa longueur et son ampleur géographique ; avec deux épicentres l'un centré plus à l'Est, l'autre plus à l'Ouest. L'épisode de pluie est moins intense sur Toulon (81 mm en 24h à Toulon La Mitre le 10/10/2002).

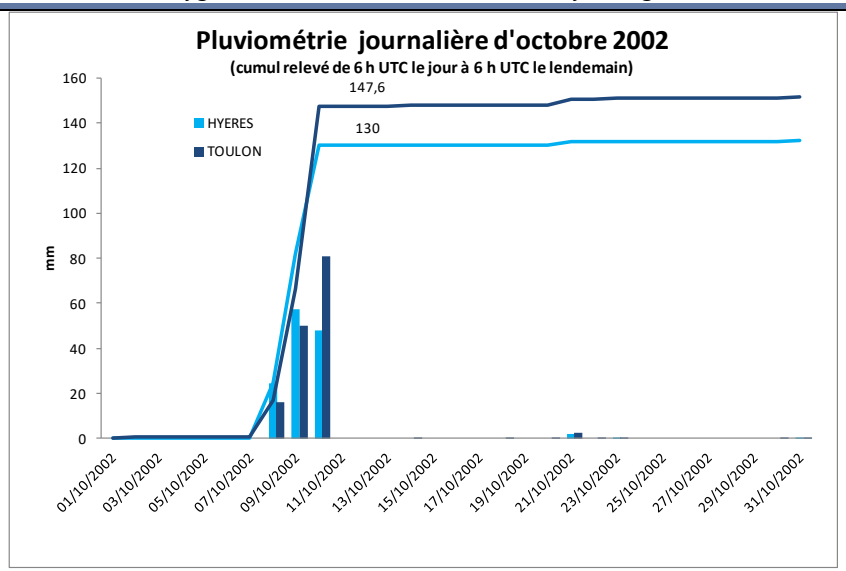
- Pluviométrie à Toulon La Mitre le 10/10/2002 : 81 mm en 24h soit ~ 2 ans de temps de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop Toulon).
- Cumul sur deux jours de 131 mm à Toulon La Mitre (9 et 10 /10/2002) et de 147 mm sur 3 jours.
- Antécédent pluviométrique à Toulon la Mitre de 66 mm en 2 jours (8 et 9/10/2002).

DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
08/10/2002	17,4	24,4	**16**
09/10/2002	57,6	57,4	**50**
10/10/2002	73,4	48	**81**

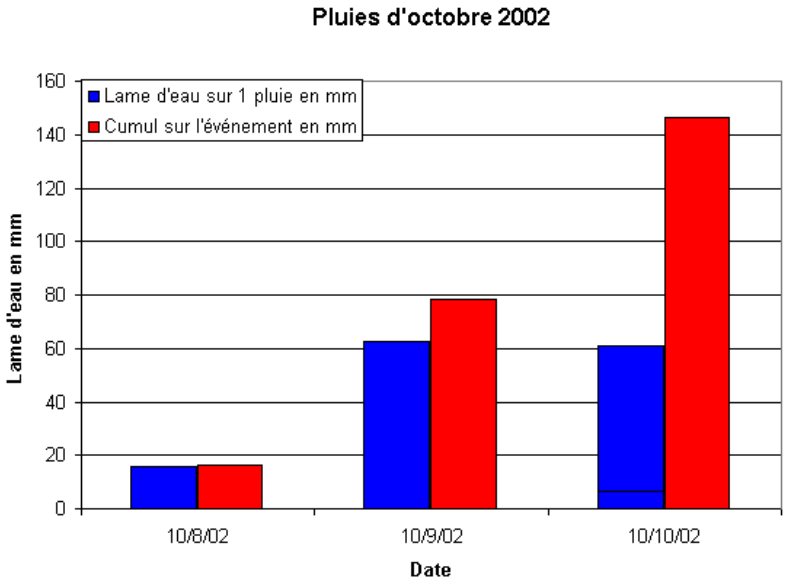
Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents. La crue importante de la Reppe s'explique par l'épicentre plus à l'Ouest.

- Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents alors que l'épisode pluviométrique est remarquable par sa longueur.
- Crue remarquable sur la Reppe (Q20<Q<Q50)

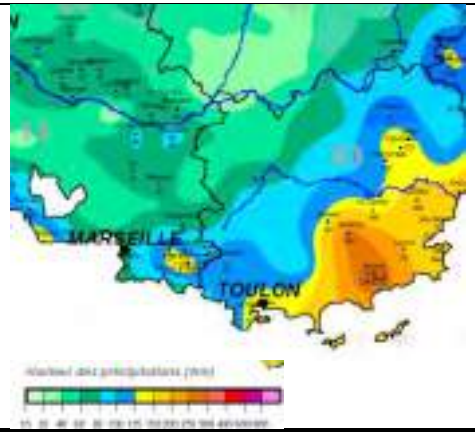
La-Reppe-à-Ollioules-[Le-Grand-Plan]			Le-Gapeau-à-Solliès-Pont			Le-Réal-Martin-à-la-Crau-[Decapris]		
Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour	Date	Qmax (m3/s)	Temps de retour
10/10/2002	39,2	Q20<Q<Q50	10/10/2002	20,6	<Q2	10/10/2002	53,1	<Q2



- Maximums des cumuls journaliers le 10/10/2002 au Cap Cepet (73.4 mm en 24h) et le 09/10/2002 à Hyères (57.4mm en 24h). (Pas de données sur Toulon). Cumuls sur 3 jours de 148.4 mm à Toulon et de 129 mm Hyères (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- Les cumuls observées à Toulon le 10/10/2008 à 17:00 (49 mm en 3h et 55 mm en 6h) sont remarquables - soit entre 2 et 5 ans de temps de retour - statistiques Toulon la Mitre, Ingerop 2017). A Hyères, les cumulms sont plus faibles : 29 mm/3h et 33 mm/6h (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- **Précipitations les 8-9-10 octobre 2002 à la station pluviométrique de Toulon Saint-Mitre** - SAFEGE, 2015. L'événement du 9 et 10 octobre 2002 correspond bien à un cas d'orage succédant à une pluie de longue durée.
  La pluie du 9 octobre a duré 19 heures sans interruption, avec une intensité maximale de 12 mm en 1 h : la pluie de cette journée correspond à une pluie longue. Le cumul est suffisant pour saturer partiellement le sol. La pluie du 10 octobre dure 7 heures en tout, pour un cumul total de 61 mm. Néanmoins, la durée intense de la pluie est de 2 h pendant lesquels 43 mm d'eau tombent. Cet événement correspond à un orage d'occurrence environ quinquennale.



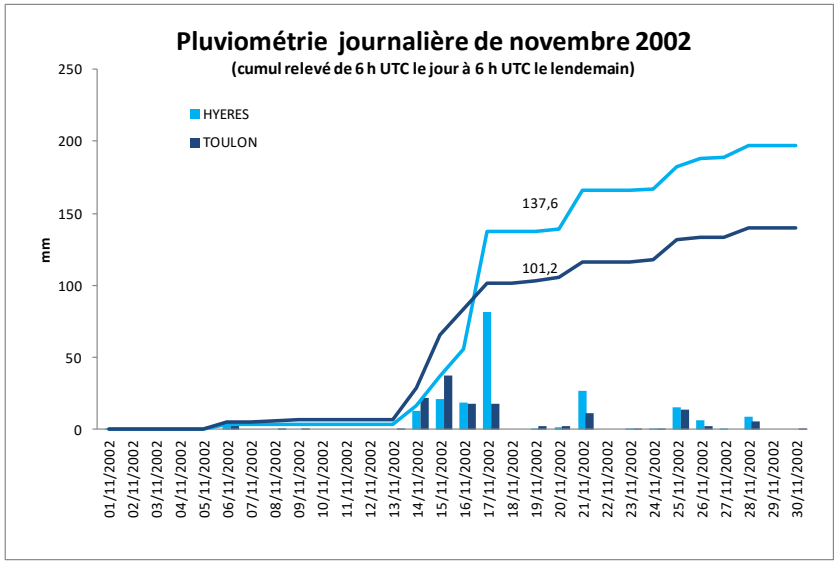
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 3 jours du 8 OCTOBRE 2002 à 6 h UTC au 11 OCTOBRE à 6 h UTC	
	

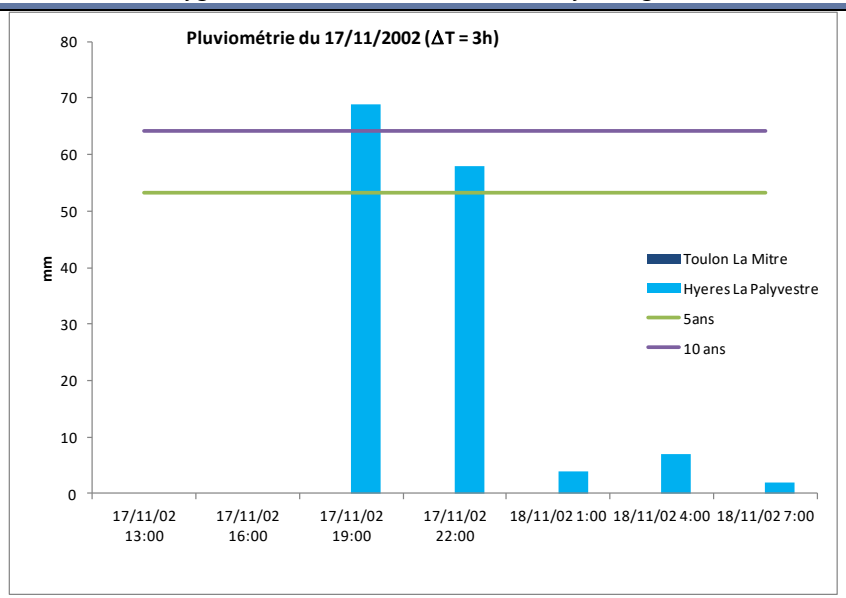
17/11/2002	**Type de pluie : Episode long avec des averses intenses très localisé (58 mm d'eau en 3h à Hyères).** • Pluviométrie à Hyères le 17/11/2002 : 81.8 mm en 24h soit < 2 ans de temps de retour (statistiques METEO FRANCE).	**Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (2 communes au centre du bassin). Episode de ruissellement très localisé ? Crue de la Planquette ? Pas de crues remarquables des 3 cours d'eau de la région.** • 17/11/2002 : Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune de La Valette du Var et la Garde (prim.net)

DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
14/11/2002	23	12,6	22
15/11/2002	38,8	20,8	37
16/11/2002	17	18,6	17,4
17/11/2002	21,6	81,8	18

- Cumul sur 4 jours de 133.8 mm à Hyères et de 94.4 mm sur Toulon du 14 au 17/11/2002).



- Maximums des cumuls journaliers le 15/11/2002 au Cap Cepet (38.8 mm en 24h) et le 17/11/2002 à Hyères (81.8mm en 24h). (Pas de données sur Toulon). Cumul important sur 5 jours de 195.8 mm à Hyères (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- Les intensités horaires maximums sont de 20 mm à Hyères. Le cumul sur 3 h est de 58 mm et sur 6 h est de 69 mm soit d'ordre de retour 5 ans (statistiques Hyères Ingerop 2017). (http://www.meteociel.fr/climatologie). Les intensités à Toulon sont plus faibles (21 mm en 3h).
- Pas de crues remarquables des 3 cours d'eau de la région.



- Pas d'information sur les faibles pas de temps (à partir de 2005 pour 6 min)

28 octobre 2004

Type de pluie : Episode exceptionnel par sa durée (cumul important sur 5 jours de 187.8 mm à Toulon) et son extension mais des intensités faibles. Centré sur le bassin versant.

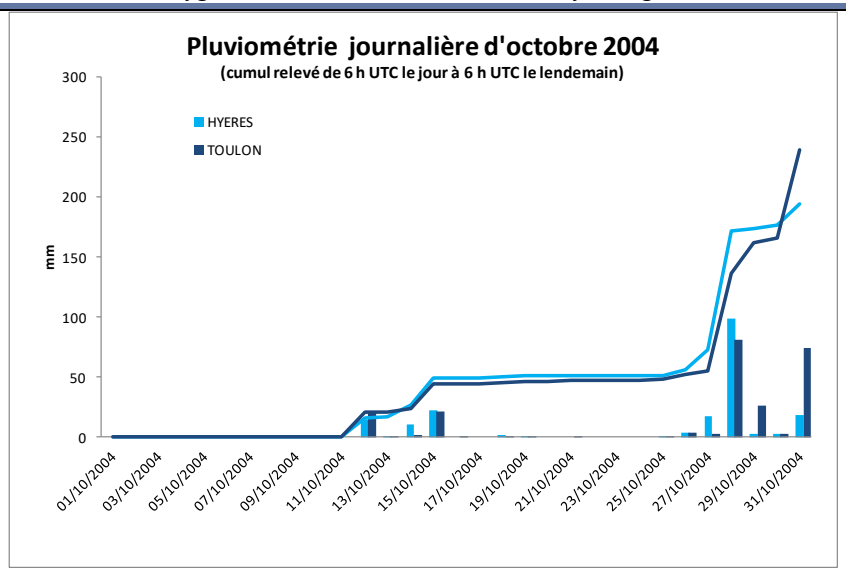
- Pluviométrie 24h sur Toulon de 81 mm en 24h, soit d'ordre entre 2 et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon, Ingerop 2017).

DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
25/10/2004	0	0,2	1
26/10/2004	0,2	4,2	4
27/10/2004	6	17	3,2
28/10/2004	91	98,6	81
29/10/2004	14	2,6	26,2
30/10/2004	4	2,8	3,2
31/10/2004	4,1	18	74

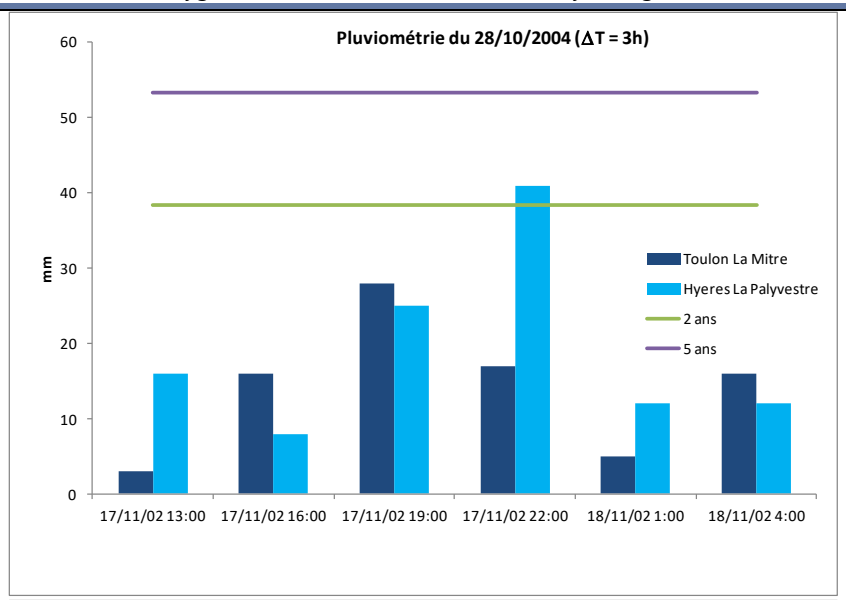
- Cumul important sur 6 jours de 191.6 mm à Toulon du 26 au 31/10/2004
- Cumul de 239.6 mm pour le mois d'octobre (rapport à la normal de 2.4)

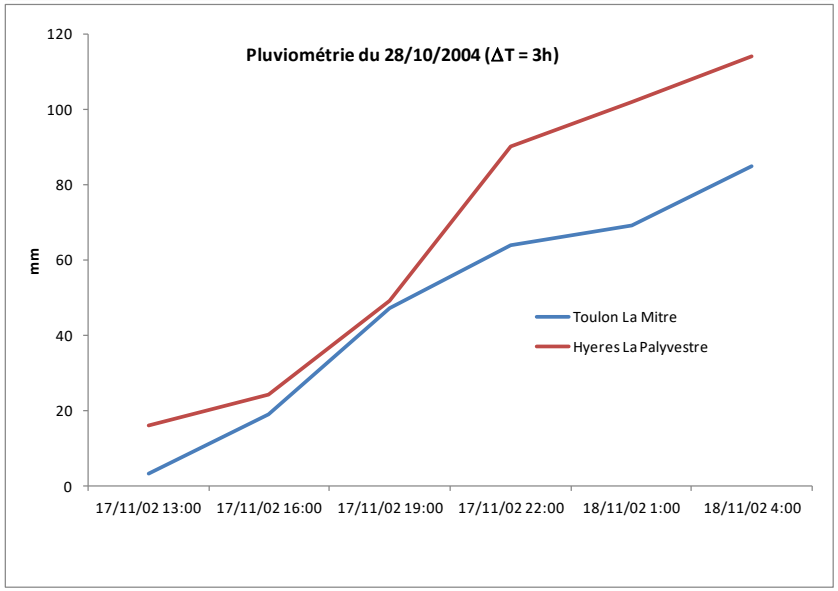
Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents. Pas de crues remarquables des 3 cours d'eau de la région.

- Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents alors que l'épisode pluviométrique est remarquable par sa longueur.



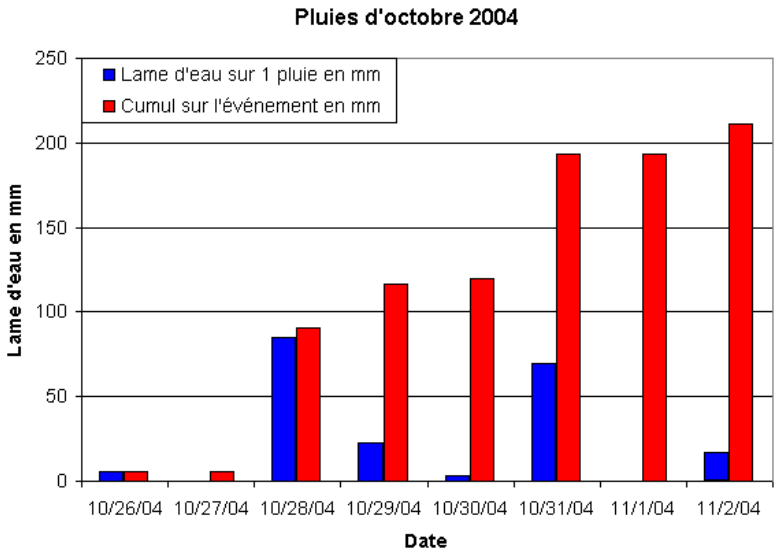
- Maximums des cumuls journaliers le 28/11/2002 au Cap Cepet (91 en 24h), à Toulon (81.6 mm en 24h) et Hyères (98.6 en 24h). Cumul important sur 5 jours de 187.8 mm à Toulon du 27 au 1er novembre (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- Les intensités horaires sont faibles (<10 mm/h) et les cumuls sur 3 h et 6 h à peine significatifs (mais < 2 ans de période de retour) : 28 mm/3h à Toulon le 28/10/2004 14:00 et 41 mm/3h à Hyères à 17:00. Le cumul sur 12 h à Toulon est de 66 mm/12h soit entre 2 et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).



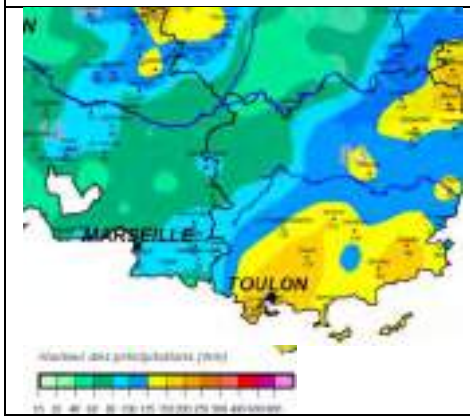


- P24=99 mm à la station Veolia du chemin de la Foux (HYDRACTEC, 2008)
- "Les pluies sont longues mais de faible intensité (moins de 10 mm/h à l'exception d'un pic à de 15 mm/h).La pluie du 31 octobre 2004 est plus intense, avec notamment un pic orageux de

32 mm en deux heures. Plusieurs pluies peuvent se succéder en un court intervalle de temps. " SAFEGE, 2015.



- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 5 jours du 27 OCTOBRE 2004 à 6 h UTC au 1er NOVEMBRE à 6 h UTC	
	

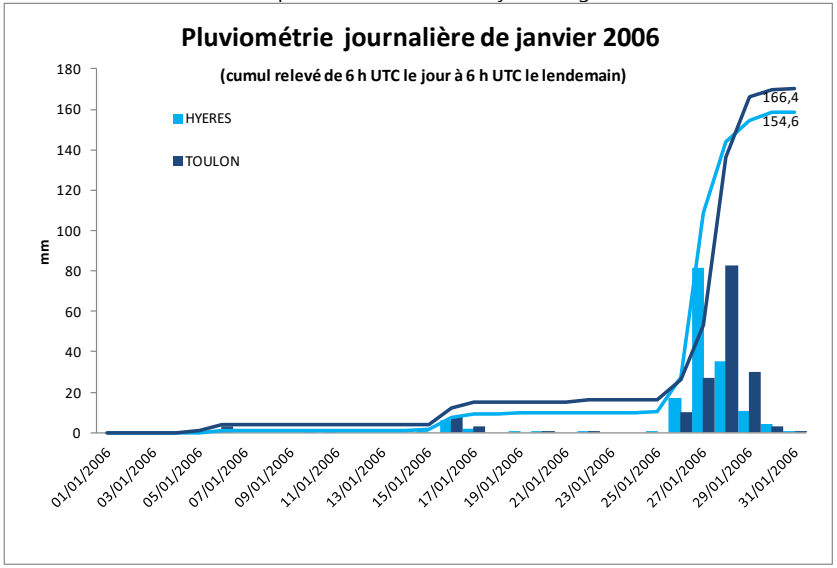
27 janvier 2006

Type de pluie : Episode exceptionnelle par son ampleur géographique et sa durée (épisode de 4 jours) mais centré plus au nord (épisode de pluie de 96 mm en 24h à Toulon La Mitre le 27/01/2006)

- Cumul de 83 mm en 24h à Toulon, soit entre 2 et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).
- Cumul sur 3 jours de 140 mm à Toulon.

DATE	HYERES	TOULON
26/01/2006	17	10
27/01/2006	81,6	27
28/01/2006	35,2	83
29/01/2006	10,6	30
30/01/2006	4	3

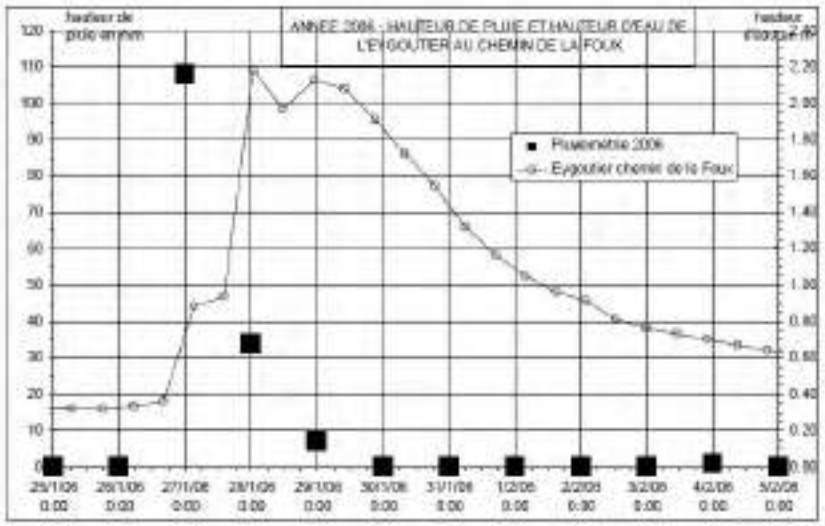
* http://meteo-climat-bzh.dyndns.org

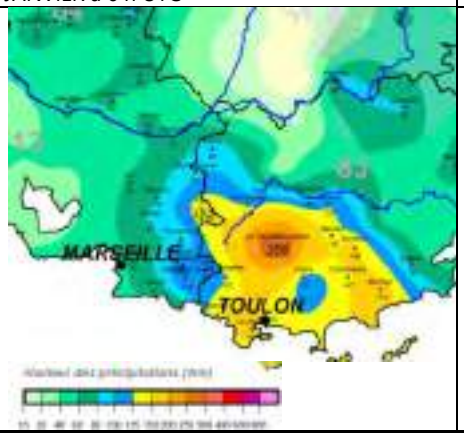


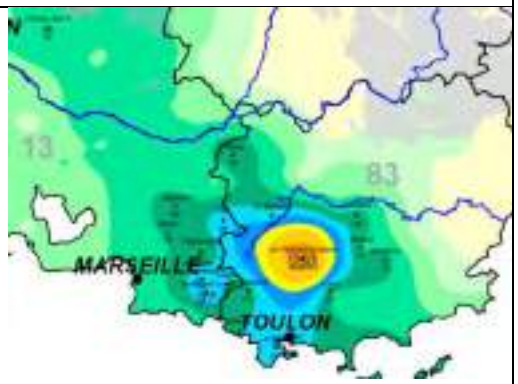
- Antécédent pluviométrique à Toulon la Mitre (cumul en mm) de 20 mm. SCE 2007.
- P24h= 108 mm à la station Véolia du chemin de la Foux (HYDRATEC, 2008).
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

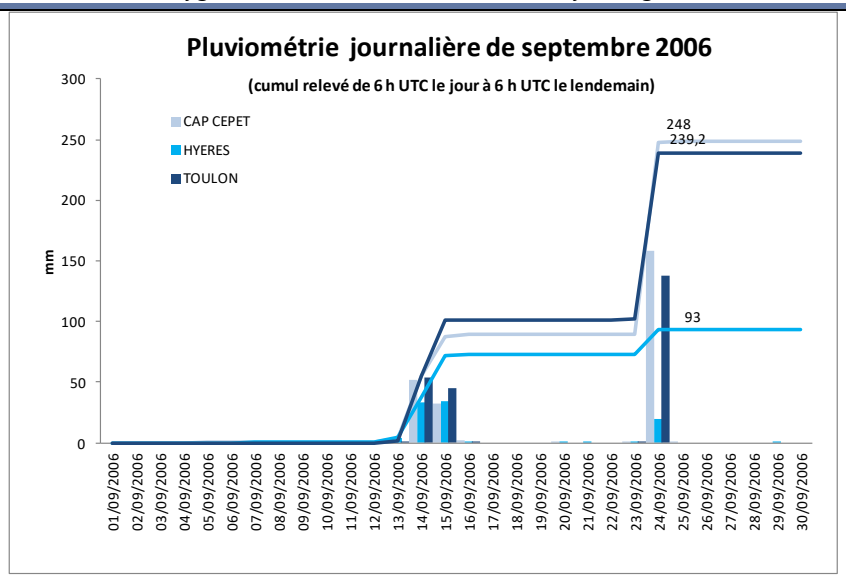
Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents. Pas de crues remarquables des 3 cours d'eau de la région.

- Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents alors que l'épisode pluviométrique est remarquable par sa longueur.
- Limnigramme caractéristique de la crue de janvier 2006 (HYDRATEC, 2008)



<table>
<tr><td></td><td>Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 4 jours du 26 JANVIER 2006 à 6 h UTC au 30 JANVIER à 6 h UTC


Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 27 JANVIER 2006 à 6 h UTC au 28 JANVIER à 6 h UTC

</td><td></td></tr>
<tr><td>24 Septembre 2006</td><td>Type de pluie : Evénement typique. Episode nettement localisé et sur un périmètre limité. Pluie courte (sur 3h) et très intense (plus que centennale de 6 min à 3h). Cumul 24h remarquable (entre 10 et 20 ans).
• Record pluviométrique à Toulon La Mitre le 24/09/2006 : 137.4 mm en 24h (Météo-France) soit entre 10 et 20 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Pas de pluies significatives à Hyères, ni à Cuers le 24/09/2006.
<table>
<tr><td>Météo-France</td><td>Toulon La Mitre</td><td>Hyères</td><td>Cuers</td></tr>
<tr><td>24/09/2006</td><td>137.4</td><td>19.8</td><td>37.5</td></tr>
</table>
• Mois de septembre très pluvieux avec 239.2 mm (rapport de 3,9 à Normale [1950 -2013].
• Pas de pluie pendant 6 jours. Pas d'antécédent pluviométrique.</td><td>Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (<u>3 communes dont Toulon</u>). Peu d'information sur les niveaux d'eau des cours d'eau mais a priori crue significative de l'Eygoutier dans sa <u>partie Toulonnaise</u> (T=30 ans). Des dégâts liés au ruissellement. Pas de crues significatives sur les 3 cours d'eau de la région.
• 24/09/2006 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune de Toulon, La Valette du Var et la Garde (prim.net)
• "Cet évènement reste cependant considérable, il est estimé à une occurrence tricennale en terme de débit par les services de la Ville de Toulon". (SCE, 2007)
• <u>http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Inondations-sur-Toulon.html</u> : "De fortes précipitations ont touché le sud-est de la France les 23, 24 et 25 septembre 2006 avec de fortes intensités sur la côte varoise. Dans la nuit du 24 au 25 des pluies très intenses se sont produites sur la région de Toulon causant de nombreuses inondations sur la ville."
• Coupure de presse (SAFEGE, 2015) et SCE (2007)</td></tr>
</table>



- P24=95 mm à la station Veolia du chemin de la Foux (HYDRATEC, 2008)
- Maximums des cumuls journaliers le 24/09/2006 au Cap Cepet (158.4 en 24h) et à Toulon (137.4 mm en 24h). (http://www.meteociel.fr/climatologie). Pas de cumul significatif sur Hyères.
- Les cumuls maximaux se sont produits dans la nuit du 24 au 25 : 80 mm/1h, 116 mm/2 h et 118 mm/3h à Toulon soit une période de retour de 100 ans pour ces durées (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Au Cap Cepet les intensités sont encore plus importantes avec 102 mm/1h et 130 mm en 2h. (http://www.meteociel.fr/climatologie).



Orages dans le Var : brutal réveil sous les eaux

PLUIES Les très fortes précipitations tombées sur le département ont occasionné de nc dégâts matériels notamment en Dracénie, à Fréjus-Saint-Raphaël et sur l'aire toulonnai

L'alerte Orange déclenchée par Météo-France dans le Var était à prendre au pied de la lettre dimanche soir. En effet, les trombes d'eau n'ont épargné aucune zone du département à l'exception de Saint-Tropez où les secours n'ont procédé à aucune intervention d'urgence.

Partout ailleurs, les missions se sont succédé jusqu'à hier matin sans discontinuer. Au total, 417 interventions ont été menées de Toulon à Draguignan et de La Seyne à Fréjus.

Ces intempéries ont entraîné des glissements de terrains, des inondations nocturnes dans les habitations et nécessité des mises en sécurité de personnes et de biens. Enfin, des secours routiers ont été opérés en urgence, notamment sur l'A 8 où un éboulement s'est produit, hier à l'aube, sans provoquer d'accident heureusement. Les dégâts les plus importants ont été localisés sur les communes de Montauroux, Fayence et Saint-Raphaël principalement.

Automobilistes sur le toit !

La zone qui a été la plus touchée est, sans conteste, Fréjus-Saint-Raphaël où le SDIS du Var a comptabilisé 210 interventions. Soixante-quinze missions ont concerné exclusivement des inondations dans les caves des maisons et, à cinquante-sept reprises dans la nuit, des personnes ont dû être placées en sécurité hors de chez elles.

Le service d'incendie et de secours du Var signale également que vingt-six maisons isolées dans ce même secteur ont nécessité une intervention rapide dans la nuit.

Quinze routes ont été barrées par les gendarmes pour cause de fortes crues rendant la circulation très dangereuse. Il faut dire que, dans la soirée, neuf véhicules coincés avaient dû être dégagés. Parfois, les automobilistes n'ont eu d'autre choix que de s'isoler sur le toit et attendre de l'aide.

170 interventions nocturnes à Toulon

Le grand Toulon, a été le second secteur le plus touché avec, au total, 170 interventions (associant La Garde et La Valette). Chaque fois, le scénario était le même : appel d'urgence pour une cave inondée, pompage dans les caves et nettoyage obligatoire.

Si plusieurs personnes seules ont été secourues par les pompiers, aucune d'elle n'était blessée. Seules quelques personnes âgées, choquées, ont été hospitalisées brièvement. Face aux trombes d'eau qui ne faiblissaient pas, l'A 57 a dû être fermée dans la nuit puis rouverte vers 5 heures du matin tandis que, sur l'A 8, un éboulement a paralysé le trafic.

Sur la zone de Brignoles, trois secours routiers ont été organisés à la hâte pour venir en aide à des usagers bloqués sur les axes. Le sauvetage d'une personne seule a également été nécessaire.

À La Seyne, sept interventions ont été effectuées dont deux pour des arbres tombés sur les voies. Cinq inondations sérieuses dans des habitations ont été répertoriées. À Hyères e ont dû faire face tions de caves mais tout est re en fin de matinée L'alerte météo a

A Toulon, une villa du lotissement Le Pélican, à La Serinette, a été complètement inond violentes précipitations qui se sont abattues sur la ville. (Photo

La Garde : archives inondées au centre hospitalier

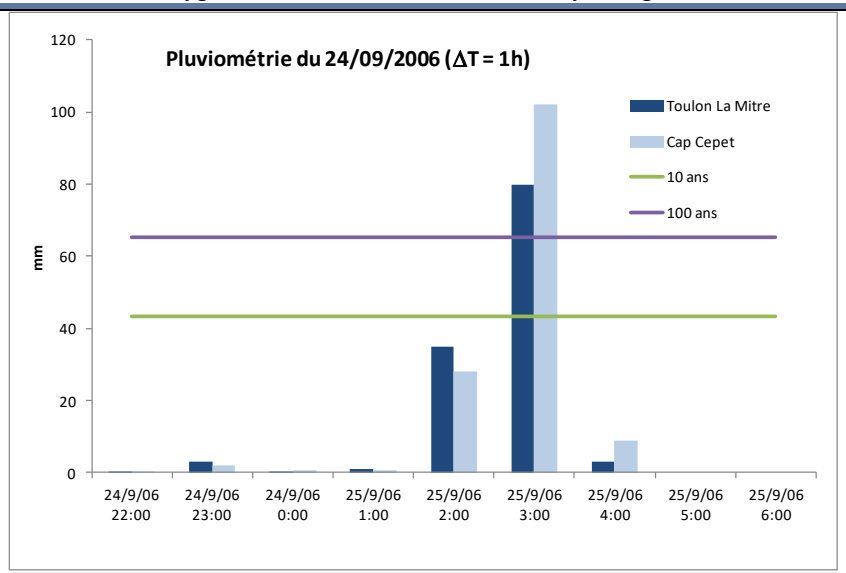
Les locaux techniques, abritant les archives administratives et médicales du centre hospitalier intercommunal de Toulon-La Seyne (implantées au sein de l'Institut de formation en soins dossiers. Des ventilateurs puissants pour réchauffer les pièces et les documents imbibés vont fonctionner dès ce matin.

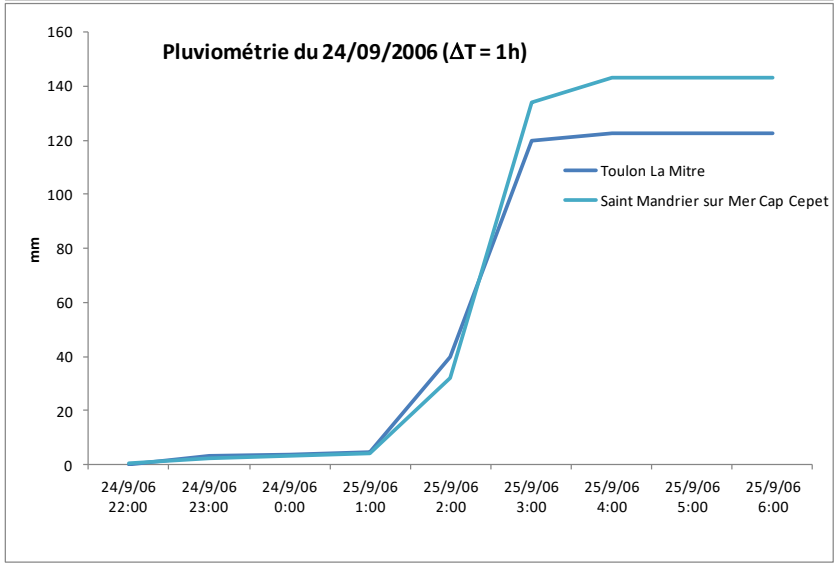
Le service des archives, à l'étage a été également for-

Le com de Tou

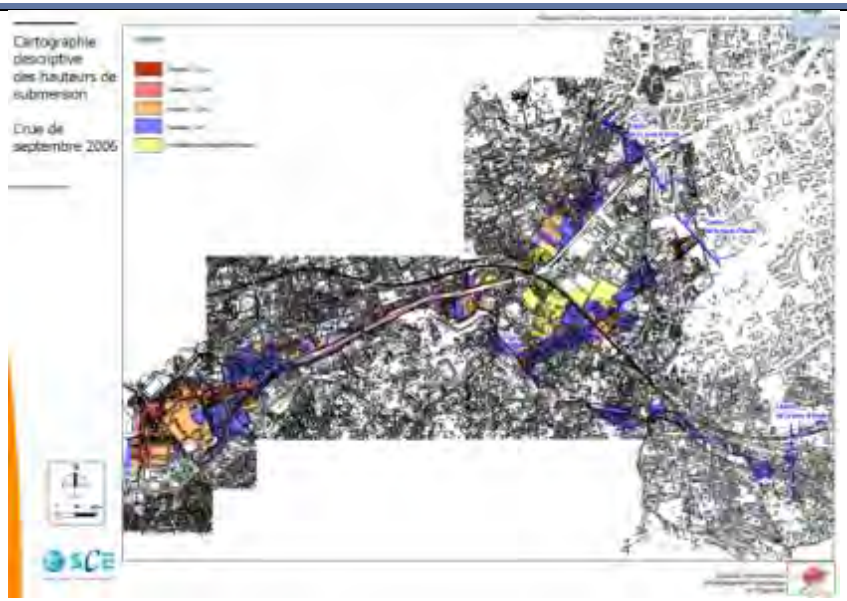
Mauvaise su matin, pour Toulon. Cert avaient reçu dans la nuit

- "Des pluies importantes ont lieu en septembre 2006, causant des débordements sur le bassin versant toulonnais de l'Eygoutier (SCE, 2007). De nombreux dégâts liés au ruissellement ont été observés sur l'est du secteur d'étude (Quartier Sainte Marguerite) et sur le centre de La Garde, témoignant également d'une forte intensité sur ce secteur d'étude."
- 24/09/2006 Crue violente 2015, Safege, Aménagement du Saint-Joseph
- Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur les communes de La Garde, La Valette du Var, Toulonprim.net
- SCE, 2007 - Modélisation de la pluie 2006

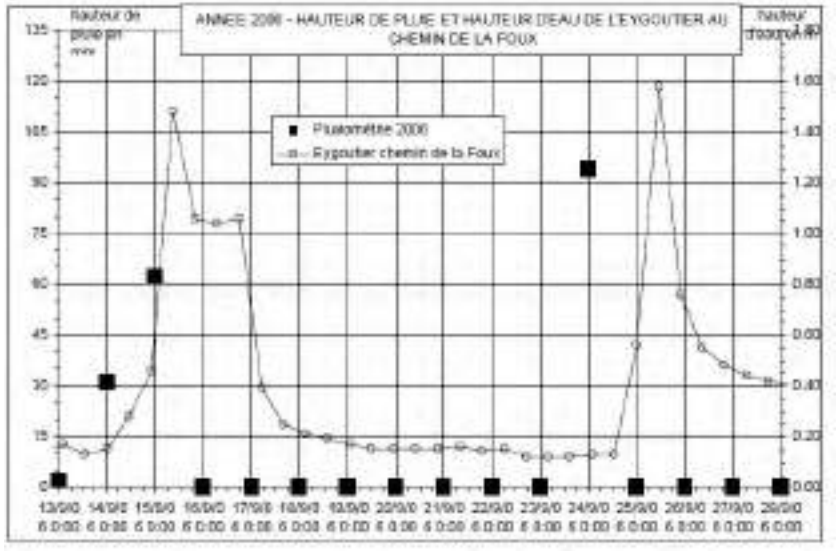




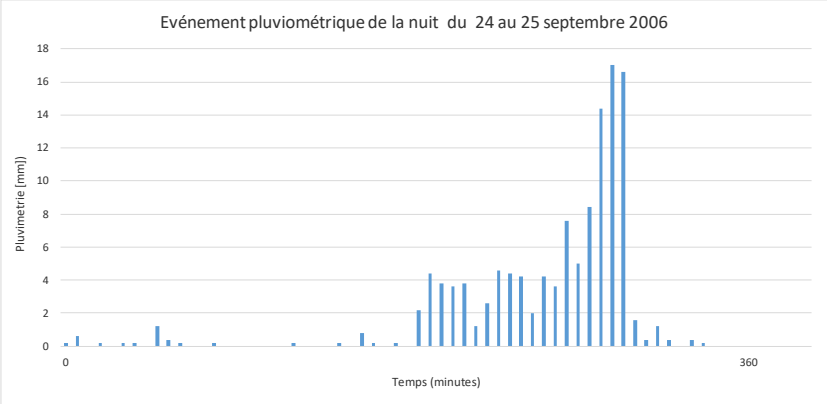
- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018). A Toulon, les cumuls sont remarquables de 6 min à 3 h (>100 ans!) et très important aussi sur 6h, 12 h et 24h ! (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).



- Crue significative sur l'Eygoutier au chemin de la Foux .

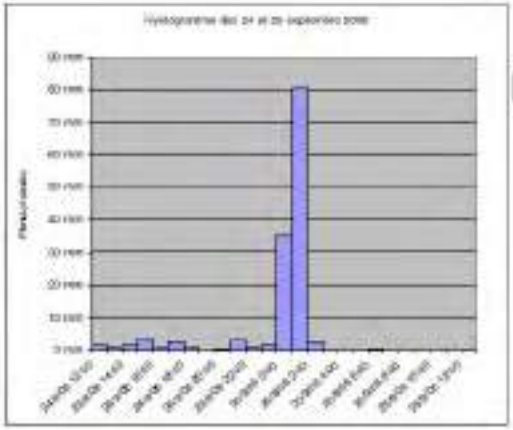


- Pas de crues significatives sur les 3 cours d'eau de la région



Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]
6 min	17	>100
30 min	61,4	>100
1h	83	>100
2h	115,2	>100
3h	118,8	>100
6h	122,6	30<T<50
12h	122,8	20<T<30
24 h	-	-

- "La pluie de septembre 2006 est une pluie courte et très intense. A la station de Toulon La Mitre le cumul a dépassé les 80mm en une heure, ce qui correspond à une occurrence plus que centennale. Cette pluie courte a été relativement homogène en intensité. Les cumuls à La Valette sont restés fort avec 60mm en une heure ce qui reste considérableLa pluie par contre, a été décalée dans le temps : les fortes précipitations ont commencé sur le secteur de Toulon à partir d'une heure du matin. L'intensité maximale a été enregistrée à La Valette une heure plus tard. Ce décalage a joué en faveur d'une limitation des débits de pointe sur l'Eygoutier, la zone aval ayant été pluvieuse avant la zone amont**.** " (SCE, 2007).

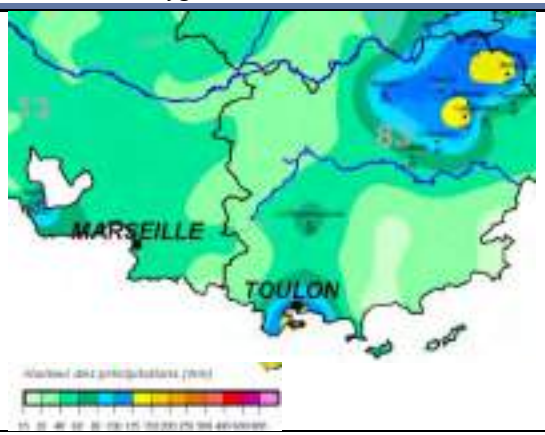


- Le site météo France sur les pluies extrêmes relève les intensités remarquables infra-horaires sur le Var pour cet épisode (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Inondations-sur-Toulon.html) :

	24 heures	1 h	30 min	15 min	6 min
station météorologique de Toulon	137,5 mm période de retour entre 10 et 20 ans	83,2 mm >période de retour de 100 ans	61,4 mm > période de retour de 100 ans	40,8 mm > période de retour de 100 ans	3 pointes de 14,4 mm, 16,6 mm et 17mm > période de retour de 100 ans
station automatique du sémaphore du cap Cépet à Saint-Mandrier	158,6 mm	102,2 mm	66,2 mm	38,4 mm	2 pointes de 14,4 mm et 17,6 mm

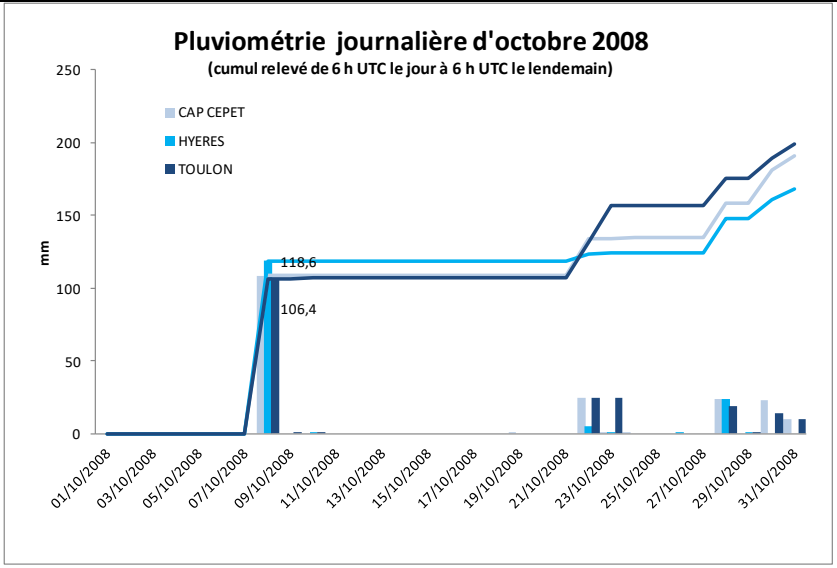
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 24 SEPTEMBRE 2006 à 6 h UTC au 25 SEPTEMBRE à 6 h UTC	



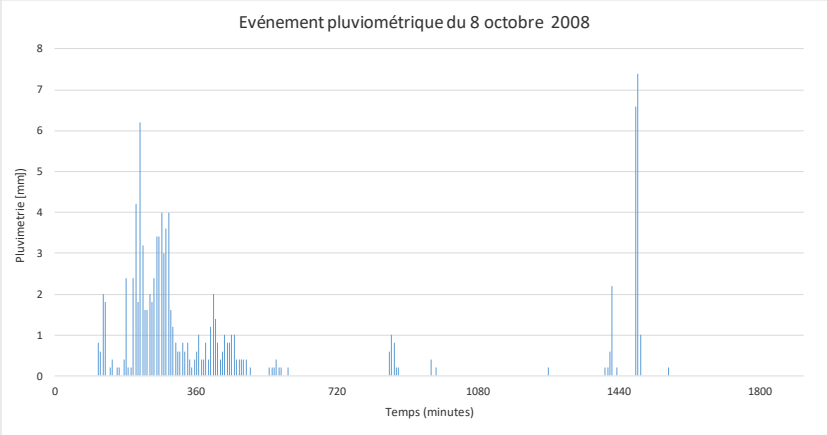
8 octobre 2008	**Type de pluie : Episode (centré plus au nord) relativement court (12h) et intense. Les intensités sont relativement faibles sur le bassin de l'Eygoutier. Episode de pluie de 106.4 mm en 24h à Toulon La Mitre le 8/10/2008 Météo-France, soit entre 5 et 10 ans de période de retour). Cumuls horaires sont d'ordre biennal à Toulon et entre 5 et 10 ans pour les durées entre 2 et 6h.** • Maximums des cumuls journaliers de 106.4 mm le 08/10/2008 soit entre 5 et 10 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Maximums des cumuls journaliers à Hyères (118.6 mm en 24h) soit entre 5 et 10 ans de période de retour (statistiques METEOFRANCE, 2018). • Pas de pluie antécédente.	**Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (1 commune partie toulonnaise). Des dégâts liés au ruissellement. Pas de crues significatives sur les 3 cours d'eau de la région.** • 08/10/2008 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune La Valette du Var (prim.net) • "De fortes pluies se sont produites sur le Var en milieu de journée du 8 octobre 2008 provoquant des inondations notamment sur l'agglomération toulonnaise" http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Fortes-pluies-sur-la-cote-varoise.html : • Pas de crues notables sur les cours d'eau de la région.

DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
08/10/2008	108,6	118,6	106,4



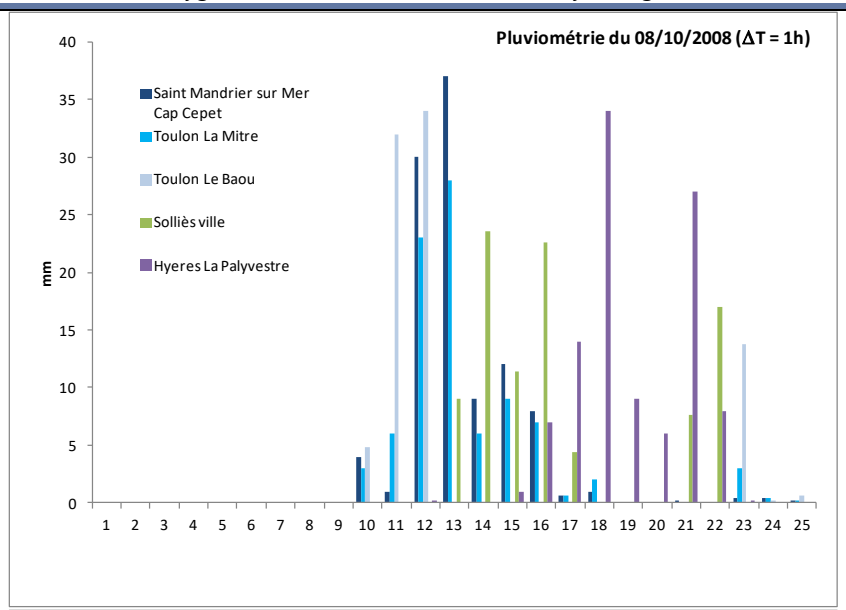
- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018). L'événement se produit sur environ 12 h. A Toulon, les cumuls sont remarquables sur 1h, 3h 6h, 12 h et 24h ! (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

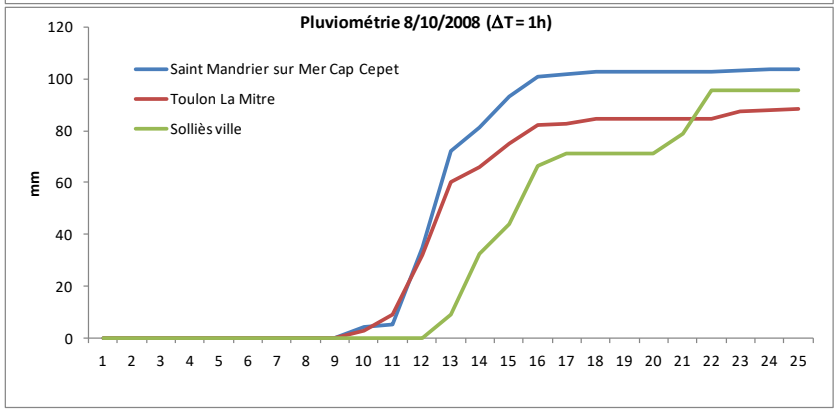
Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]
6 min	7,4	<2
30 min	18	<2
1h	29,6	2<T<5
2h	53	5<T<10
3h	59,4	5<T<10
6h	81	5<T<10
12h	84,4	2<T<5
24 h	106,4	5<T<10



- Les cumuls horaires sont d'ordre biennal à Toulon. Les cumuls sur 2h 3h 6 h sont entre 5 et 10 ans de période de retour. (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). A Hyères plus que 5 ans de période de retour (34 mm/1h). Données horaires info-climat. La pluie s'est décalée vers le Nord-ouest.

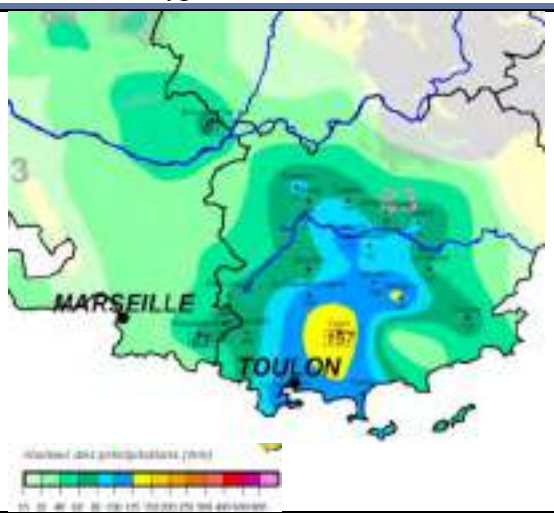
	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Hyeres
	Cap Cepet	La Mitre	La Palyvestre
CUMUL sur l'événement	103,8	88,2	106,4
1 h	**37**	**28**	**34**
2 h	67	51	48
3 h	76	57	Lacunes
6h	97	79	
12h	102,8	84,6	



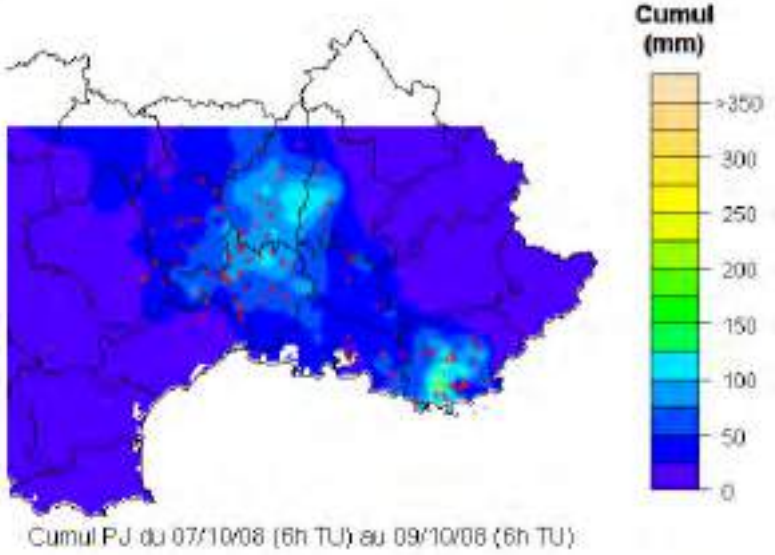


- De fortes pluies se sont produites sur le Var en milieu de journée du 8 octobre 2008 avec des intensités remarquables sur le Var (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Fortes-pluies-sur-la-cote-varoise.html) à la station automatique de Gonfaron qui a relevé 132 mm en 24 heures dont : - 102 mm en 12 h, - 92,5 mm en 6 h, - 71 mm en 3 h, - 41,7 mm en 1 h
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

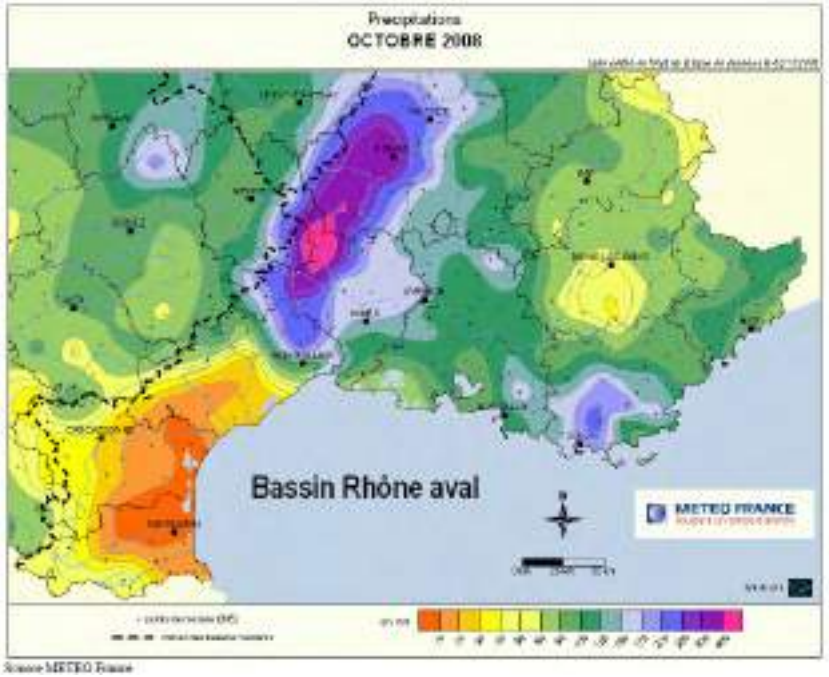
Quantité de pluie (mm) en 1 jour u 8 OCTOBRE 2008 à 6 h UTC au 9 OCTOBRE à 6 h UTC	



- Cumul lame radar (Thèse Fouchier)



- Données météorologiques : Précipitations du mois (http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/annee-2008-r395.html)



14 au 16 décembre 2008

Type de pluie : Episode remarquable par son extension géographique et sa durée (pluviométrie soutenue). Les intensités sont relativement faibles sur le bassin de l'Eygoutier (au sud de l'épisode).

- Pluviométrie 24h faible avec cumul de 57.4 mm à Toulon soit < 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Et 70.2 mm à Hyères.

DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
13/12/2008	3,8	4,2	4,2
14/12/2008	51,4	40,4	32
15/12/2008	67,6	70,2	57,4
16/12/2008	27,4	32,4	23,4

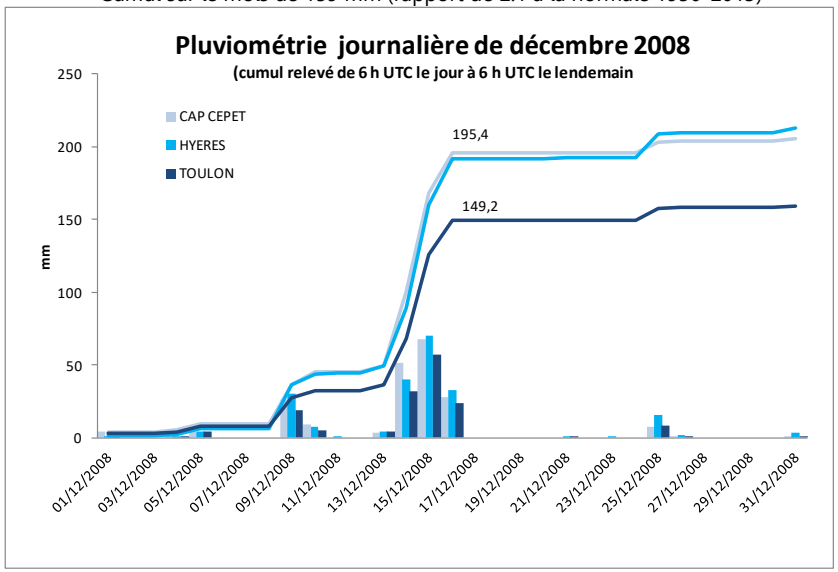
- Maximums des cumuls journaliers le 15/12/2008 au Cap Cepet (67.6 en 24h) (http://www.meteociel.fr/climatologie).
- Cumuls de 3 jours du 14 au 16 de 146,4 mm au Cap Cepet, de 143 mm à Toulon et de 112,8 mm à Hyères.

Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (<u>3 communes, dont 2 sur le bassin toulonnais</u>). Les cours d'eau de la région sont en crue (double pic). A priori crue généralisée.

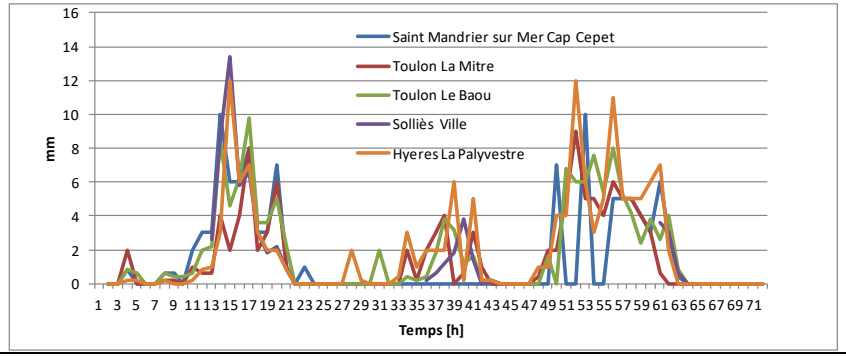
- 14 au 16/12/2008 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur la commune de La Valette du Var, Toulon et le Pradet (prim.net)
- Les cours d'eau de la région sont en crue (2 crues successives très rapprochées).

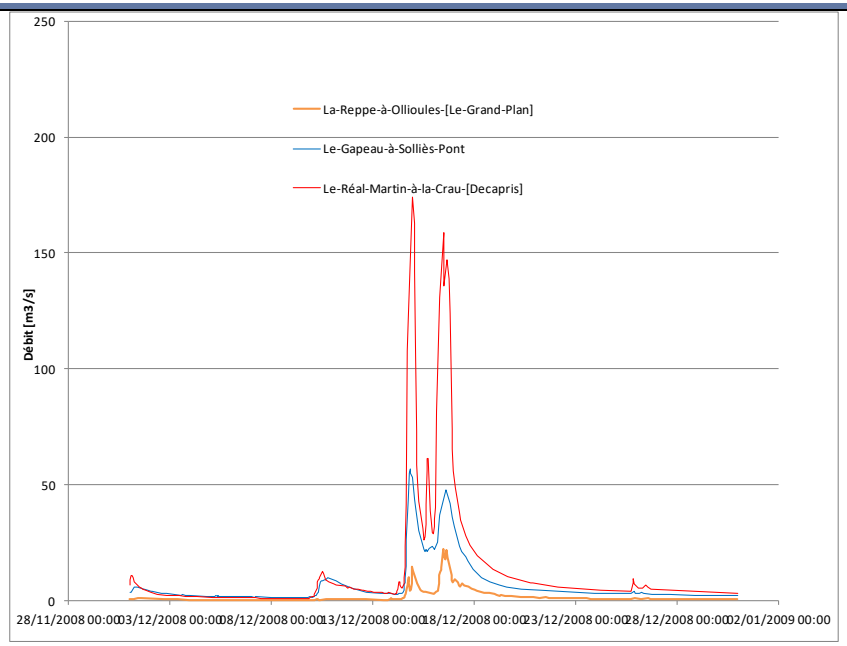
	Temps de retour sur les autres cours d'eau		
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	16/12/2008	14/12/2008	14/12/2008
Débit	22,3	56,8	174
temps de retour	Q2<Q<Q5	Q2<Q<Q5	Q5<Q<Q10

- Conditions antécédentes d'humidité défavorables.
- Cumul sur le mois de 159 mm (rapport de 2.1 à la normale 1950-2013)

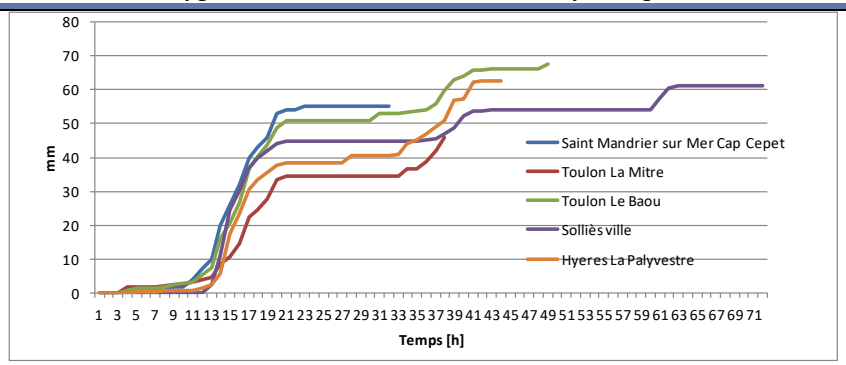


- Les cumuls horaires sont faibles (<15 mm/1h) et quasi concomitantes sur tous les postes. Pas de données fiables.

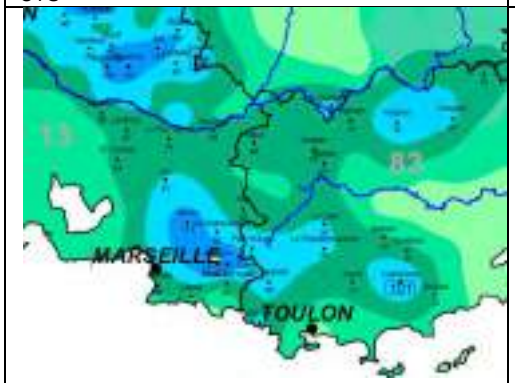
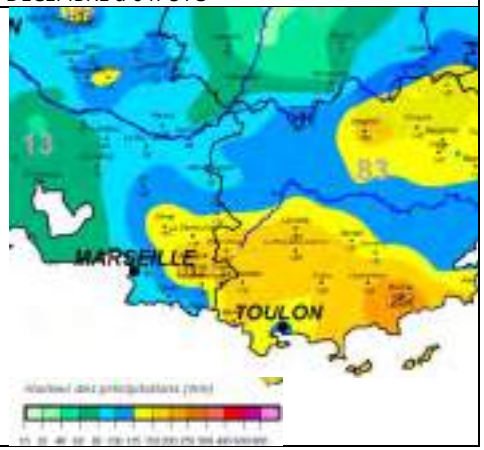




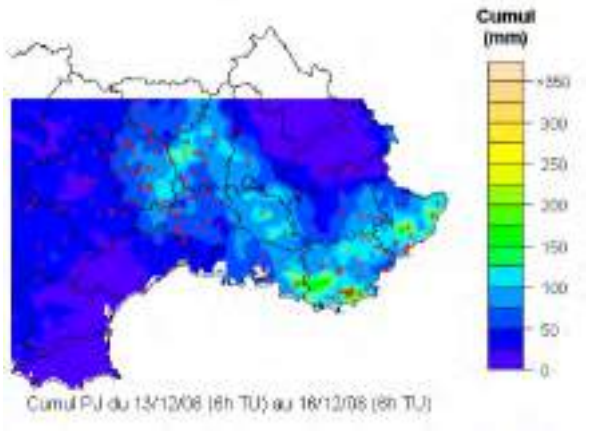
- Crue de l'Argens et du Cauron 15/12/08 - Inondation haut var (15 décembre 2008, après plusieurs jours d'une pluviométrie soutenue, l'Argens et le Cauron sont en crue, plusieurs plaines traversées par le fleuve sont inondées...)



- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 14 DECEMBRE 2008 à 6 h UTC au 16 DECEMBRE à 6 h UTC	Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 4 jours du 13 DECEMBRE 2008 à 6 h UTC au 17 DECEMBRE à 6 h UTC
	

These Fouchier



4-10 Novembre 2011

Type de pluie : Episode exceptionnelle par son ampleur géographique et sa durée (2 épisodes pluvieux successifs) mais centré plus au nord-est (épisode de pluie de 51.3 mm en 24h à Toulon La Mitre le 08/11/2011 - Météo-France). Le caractère exceptionnel de cet épisode réside à la fois dans son extension spatiale, les valeurs enregistrées (station nord-est) et sa durée (7 jours).

- Maximums des cumuls journaliers le 08/11/2011 à Toulon (51.3 mm en 24h) soit << 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

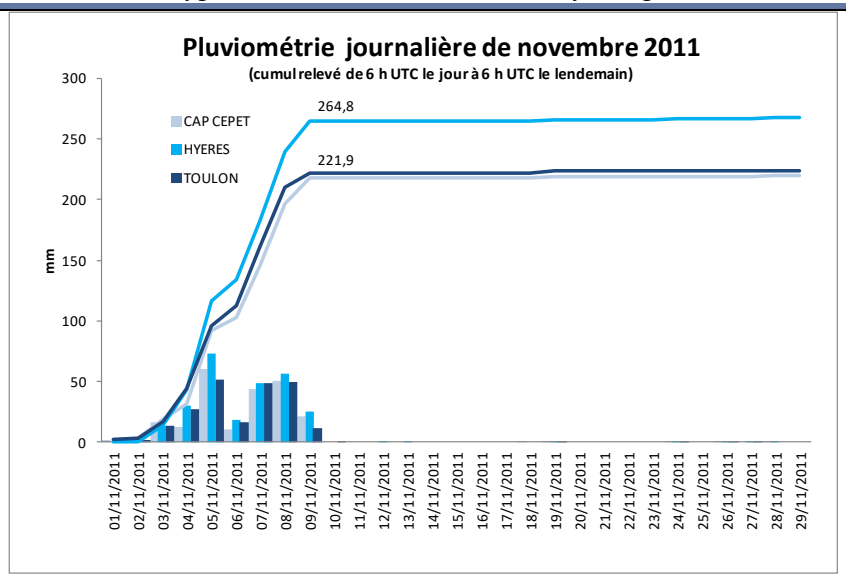
DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
01/11/2011	1,6	0	1,8
02/11/2011	1,2	0	1,4
03/11/2011	16	13,6	13,8
04/11/2011	12,8	29,8	27,2
05/11/2011	60,3	72,7	51,3
06/11/2011	10,6	18,1	16,6
07/11/2011	43,4	48,9	48,9
08/11/2011	50,2	56,2	49,4
09/11/2011	21,4	25,5	11,5

- Le mois de novembre présente un cumul de 224.3 (rapport à la normale de 2.8).

Evénement marquant !
Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (5 communes). Inondations observées lors de cet événement. La crue de l'Eygoutier serait importante. Tous les cours d'eau de la région sont en crue (double pic).

- 04 au 10/11/2011 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur les communes de La Garde, La Valette du Var, Toulon, le Pradet, Carqueiranne (GEORIVES)
- Coupure de presse (SAFEGE, 2015)
- " Cet événement est particulier dans le sens où il n'est nullement caractéristique des pluies observées dans la région. Toutefois, la durée importante associée à des cumuls conséquents (occurrence de l'ordre de 10 ans sur 96 heures), ont généré des inondations et des coulées de boues." (Ingerop, 2015)
- "Fortes pluies et crues du Gapeau (décennales), de la Reppe et de l'Eygoutier (vingtenale)" http://www.presseagence.fr/lettre-economique-politique-paca/2011/12/06/toulon-inondations-de-novembre-2011-point-de-situation-un-mois-apres/
- Les cours d'eau de la région sont en crue (2 crues successives rapprochées). La Reppe réagit plus fortement Q10<Q<Q20.

	Temps de retour sur les autres cours d'eau		
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	09/11/2011	05/11/2011	09/11/2011
Débit	35,9	66,7	166
temps de retour	Q10<Q<Q20	Q2<Q<Q5	Q5<Q<Q10

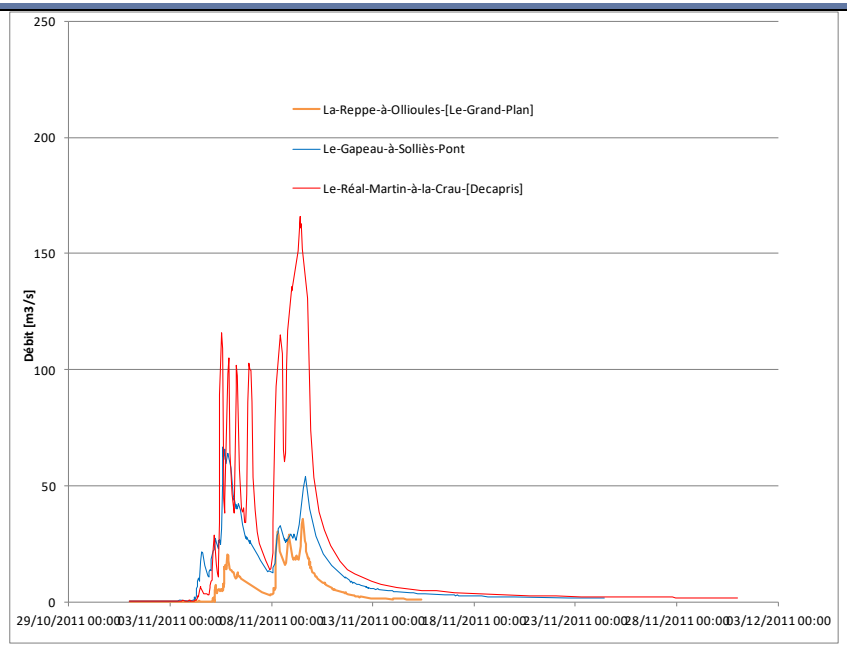


- Les cumuls sur 2 à 7 jours sont très importants et remarquables.

DATE	CAP CEPET	HYERES	TOULON
1 j	60,30	72,70	51,30
2 j	93,6	105,1	98,3
3 j	115	130,6	114,9
4 j	125,6	148,7	126,4
5 j	185,9	225,7	193,4
7j	214,7	264,8	218,7

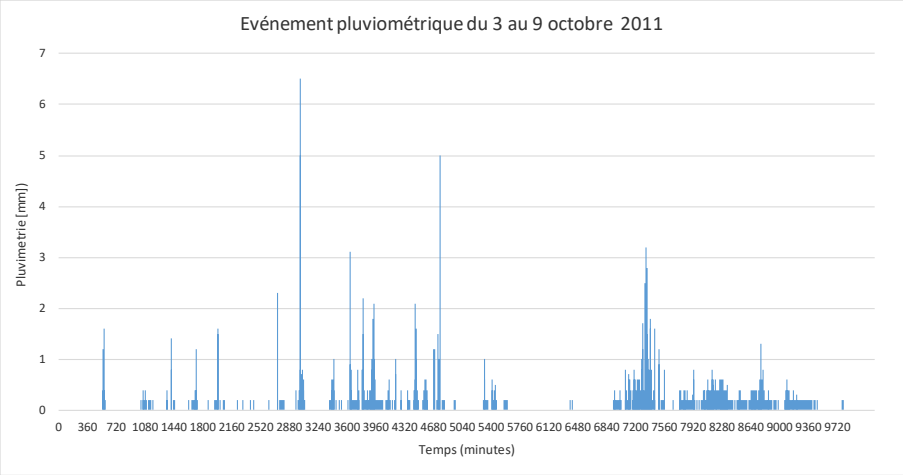
- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes du 3 au 9 octobre (HYDRETUDES, 2018). L'événement est quasi continu sur 7 jours avec plusieurs périodes intenses. A Toulon, les cumuls journalier et infra-journaliers ne sont pas remarquables sur 1h, 3h 6h, 12 h et 24h ! (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]

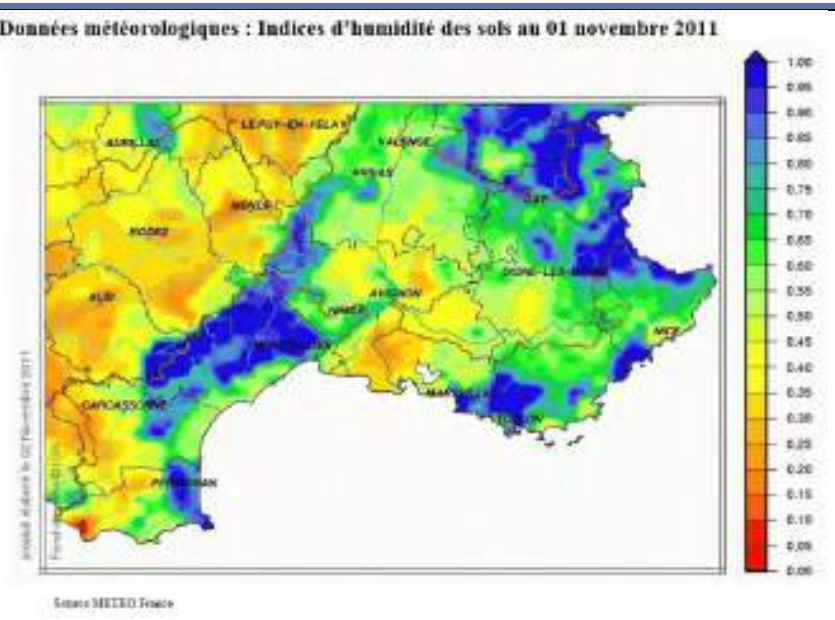


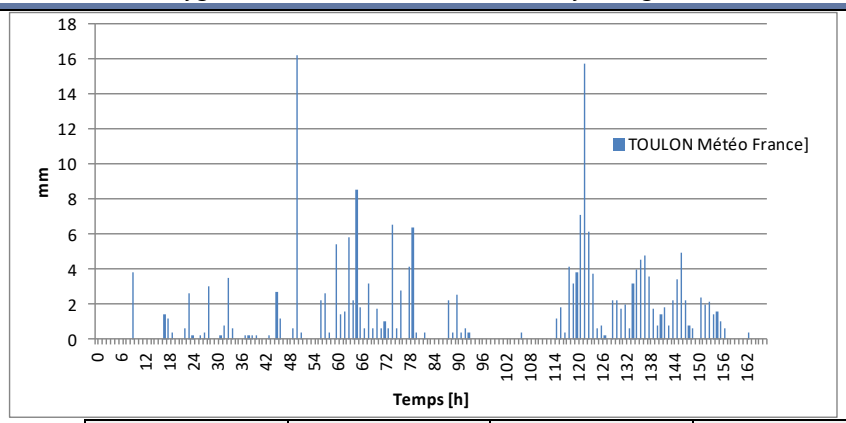
- http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Bull_octobre_2011_cle27979a-1.pdf

6 min	6,5	<2
30 min	13,6	<2
1h	16,2	<2
2h	25,4	<2
3h	30,5	<2
6h	40,8	<2
12h	48,5	<2
24 h	78,6	<2

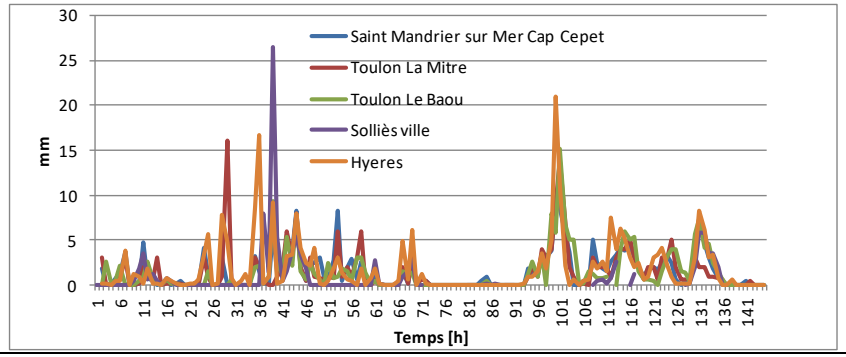


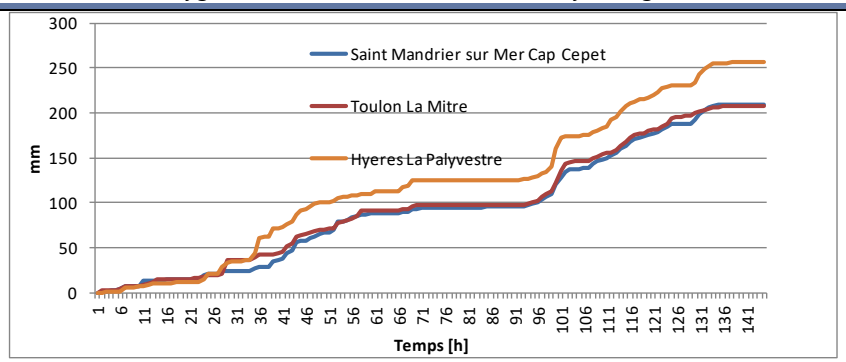
- Les cumuls horaires maximums sont entre 16 à Toulon et 26.4 mm à la station du Réseau StatIC de Solliès-Ville le 05/11/2011 13:00:00 UTC (soit proche de <2 ans statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017)



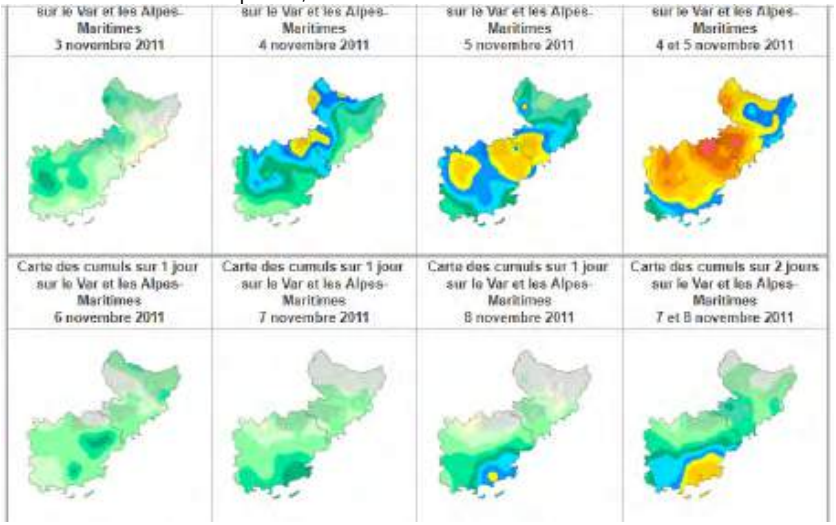


	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Toulon	Hyeres
	Cap Cepet	La Mitre	Le Baou	La Palyvestre
1h	9,8	16 (T<2 ans)	15,2	20,9
2h	18,3	23 (T<2 ans)	21	32
3 h	24	30 (T<2 ans)	27,8	37
6h	34,5	41 (T<2 ans)	40,8	44,5

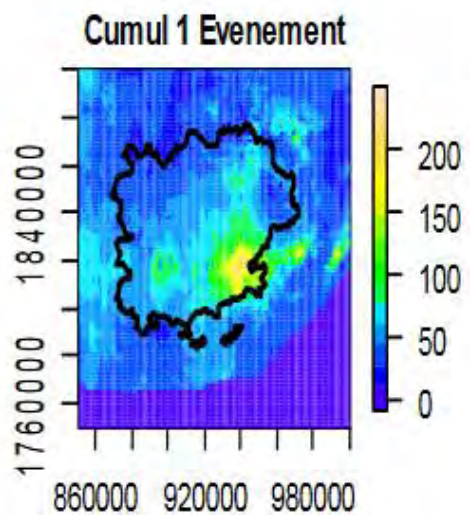


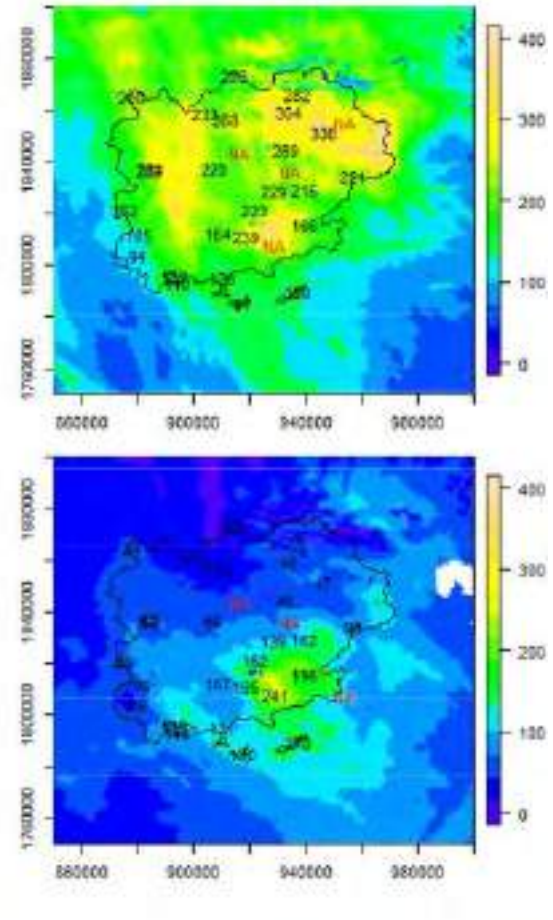


- Evénement remarquable (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Deluge-sur-le-Sud.html) :
  "Un épisode majeur touche les Cévennes en début de période. Mais à l'est du Rhône, l'ensemble des départements connaissent des inondations dont les plus graves touchent à nouveau le département du Var, déjà durement frappé en juin 2010. Le caractère exceptionnel de cet épisode réside à la fois dans son extension spatiale, les valeurs enregistrées et sa durée. Enfin, les vents ont soufflé en tempête en Méditerranée, levant une forte houle qui a provoqué de nombreux dégâts sur les côtes. "
- Voir Animation des cumuls quotidiens sur le sud de la France du 31 octobre au 9 novembre 2011 : "Dans la nuit du 7 au 8 et le 8 c'est la côte varoise qui va être le plus éprouvée : au total sur ce nouvel épisode, les cumuls atteindront 207 mm à Bormes les mimosas."



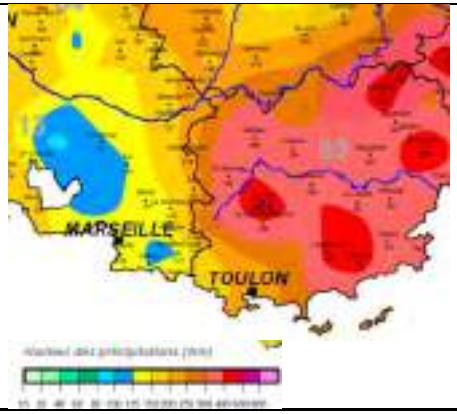
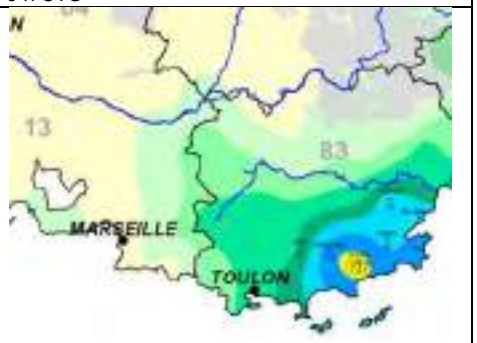
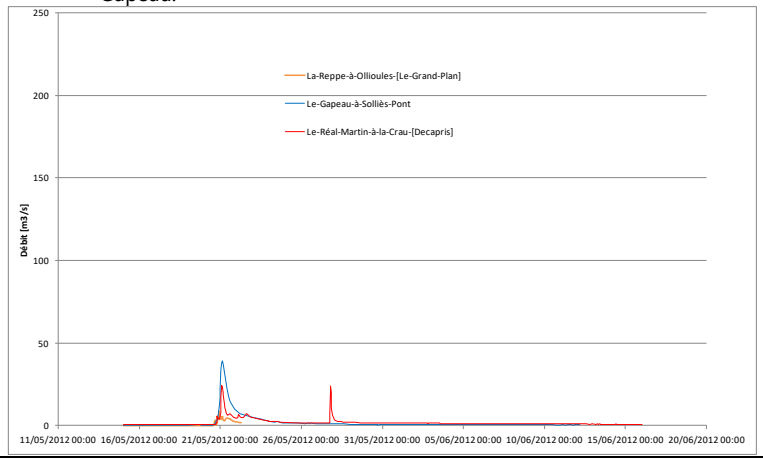
- Cartes de cumul pluviométrique radar (mm) événement sélectionné dans le département du Var (les durées des événements varient) https://webgr.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/11/manuscrit_these_CASERI_format_ADUM.pdf

	Début de l'événement : 2009/10/21/ 14h Fin de l'événement 2009/10/22 23h - 34 - Cumul radar pixel maximum (mm) 200 	

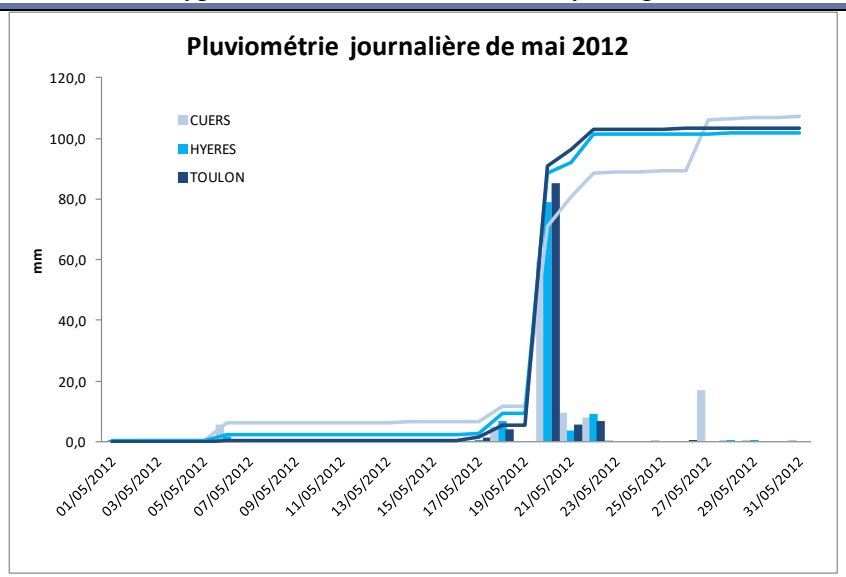


03 nov
embre 2011 (centre) et 07 novembre 2011 (en
bas). Radar météorologique PANTHERE

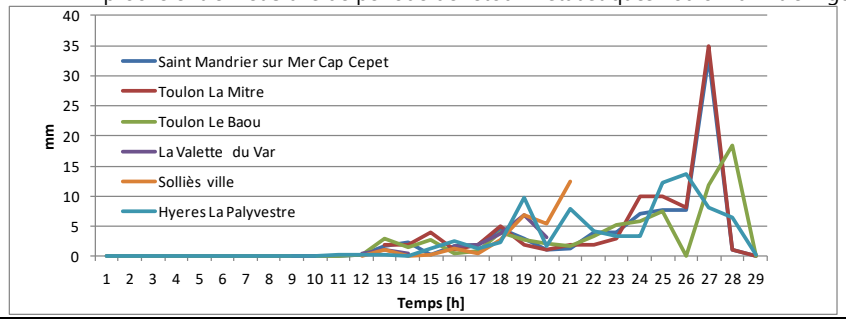
- "Le Var a connu, du 3 au 10 novembre, un épisode pluvio-orageux d'une exceptionnelle intensité et durée. L'ensemble du département a reçu un cumul de précipitations compris entre 300 à 500 mm (jusqu'à 200 mm en 24H) accompagnés de vents violents (maximum de 140 km/h sur l'île de Porquerolles) et de deux épisodes de sur-cote marine. Les prévisions de Météo France et du Service de Prévision des Crues (SPC) ont été d'une exceptionnelle fiabilité." http://www.presseagence.fr/lettre-economique-politique-paca/2011/12/06/toulon-inondations-de-novembre-2011-point-de-situation-un-mois-apres/
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

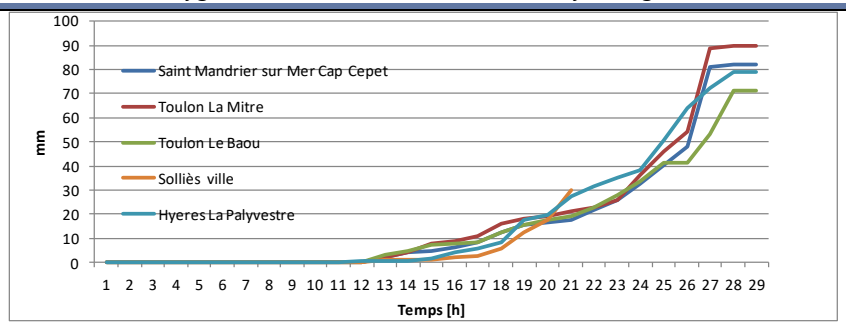
	Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 7 jours du 3 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 10 NOVEMBRE à 6 h UTC 	Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 8 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 9 NOVEMBRE à 6 h UTC 	
20/05/2012	**Type de pluie : Episode relativement intense et étendu (épicentre plus l'Ouest). Record pluviométrique à Toulon La Mitre pour un mois de mai à Toulon La Mitre.** • Record pluviométrique à Toulon La Mitre le 20/05/2012 :85.3 mm en 24h (Météo-France) soit entre 2 ans et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). • Pas d'antécédent pluviométrique à Toulon la Mitre (cumul en mm)		**Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents.** • De faibles crues sur les cours d'eau de la région. Le-Gapeau-à-Solliès-Pont que le Gapeau. 

DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
20/05/2012	82,1	59,4	79,0	77,7	104,5	**85,3**

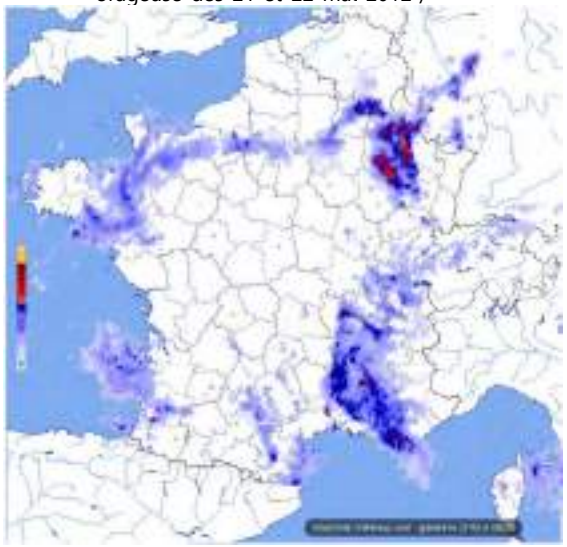


- Les cumuls horaires maximums sont de 35 mm à Toulon le 21/05/2012 à 02:00 (soit proche entre 2 et 5 ans de période de retour - statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017) et que de 13.6 mm à la station de Hyères, 12.4 à Solliès-Ville et 18.4 mm à Toulon le Baou (2 stations réseau Static). Les cumuls sont importants avec 53 mm en 3h, 68 mm en 6h à Toulon (soit proche entre 2 et 5 ans de période de retour - statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).



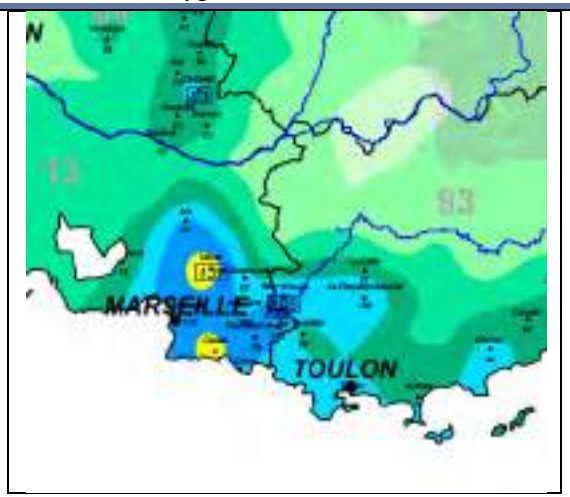


- Evénement marquant (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Fortes-pluies-sur-Marseille-et-Ajaccio.html) Un épisode de fortes pluies touche la région Sud-Est les 20 et 21 mai 2012.
- "Une vaste zone de précipitations concerne toujours la Provence et la Vallée du Rhône jusqu'à Lyon. Les cumuls sont parfois importants : 85 mm en 24h dont 68 mm en 6h et 53 mm en 3h à Toulon (83). " En savoir plus : https://meteo6867alsace.webnode.fr/degradation-pluvio-orageuse-des-21-et-22-mai-2012-/



- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 20 MAI 2012 à 6 h UTC au 21 MAI à 6 h UTC



11/10/2012

Type de pluie : Episode orageux nettement localisé et court. Des intensités modérées (remarquables uniquement avec 23.6 mm en 30 min - soit entre 5 et 10 ans de période de retour)

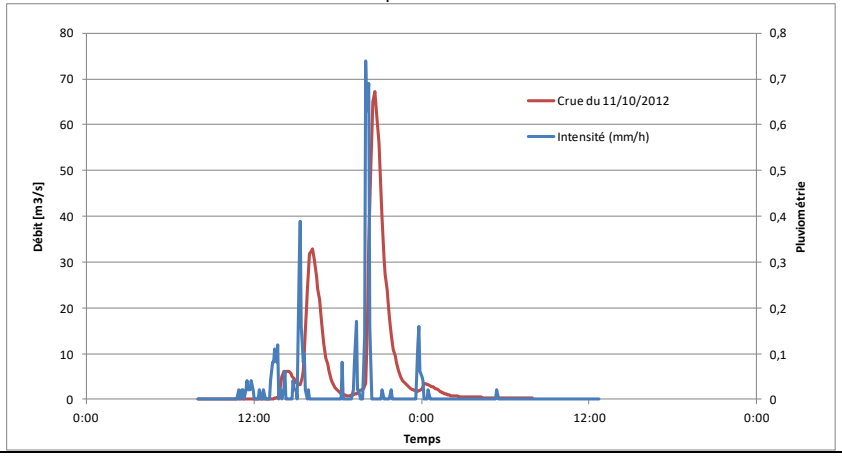
- Cumul journalier à Toulon La Mitre et Hyères le 11/10/2012 : 52.7 mm en 24h et 52.3 en 24 h à Hyères (Météo-France) soit << 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

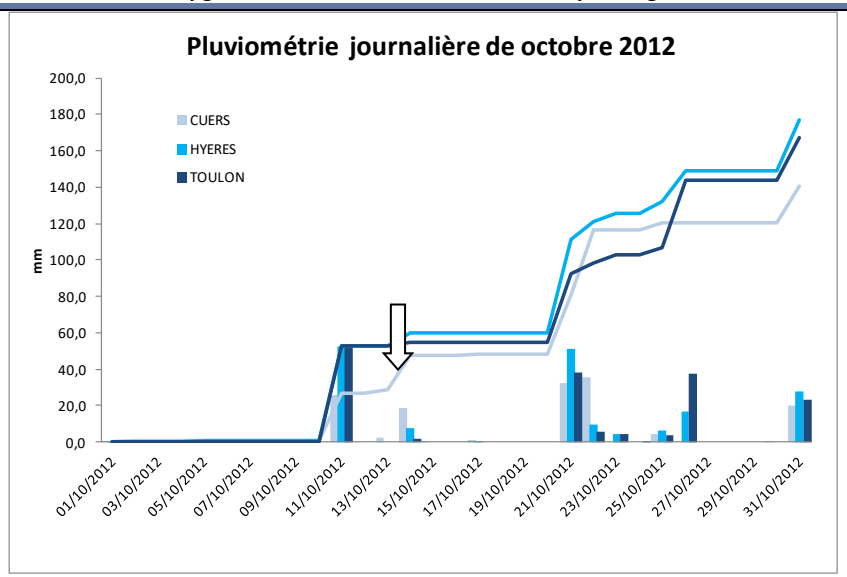
DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
11/10/2012	29,6	25,6	52,3	27,3	24,5	52,7

- Pas d'antécédent pluviométrique (cumul en mm)

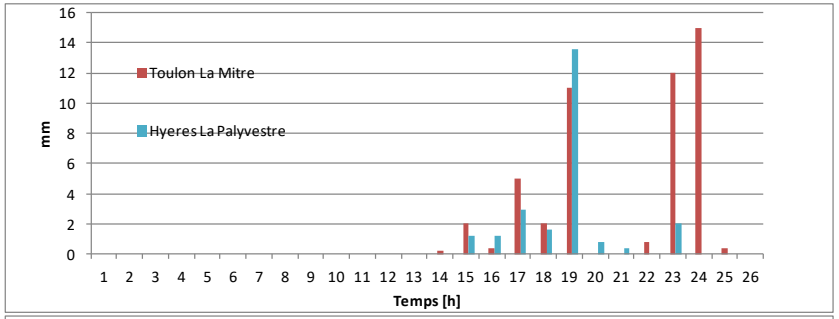
Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents. Données de débit. Crue localisée rapide et intense sur l'Eygoutier (Qmax = 67.1 m36/s au pont de Bazeille). Pas de crues significatives sur les autres cours d'eau.

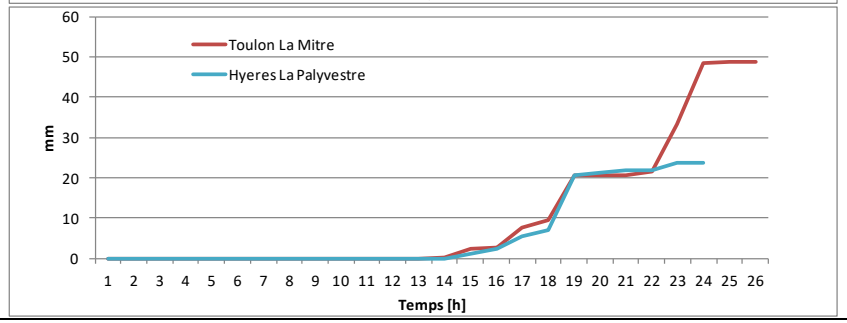
- Crue non répertoriée comme remarquable par la phase 1.
- Crue n°2 avec Qmax = 159.85 m3/s au pont de Bazeille (Dufresne & Ducros, 2014) => **67 m3/s au pont de Bazeille (nouvelle estimation HYDRETUDES).**
- Crue de l'Eygoutier (2 pic) avec montée très brutale des débits (DS=65 min). Une réaction très rapide de 52 et 40 min au deux pics de pluie (ΔT=6 min). Les cumuls écoulés suivent les cumuls de pluie.

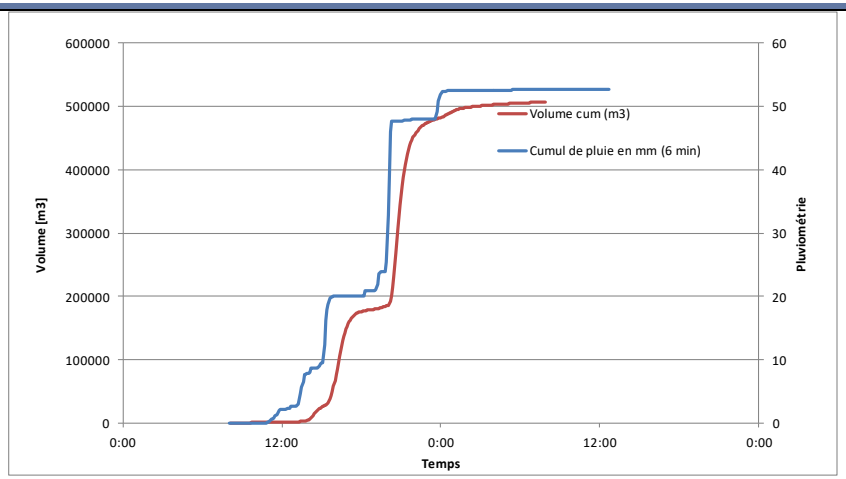




- Les intensités sont similaires à Hyères (pas de données sur le deuxième pic de pluie!) - données horaires infoclimat.

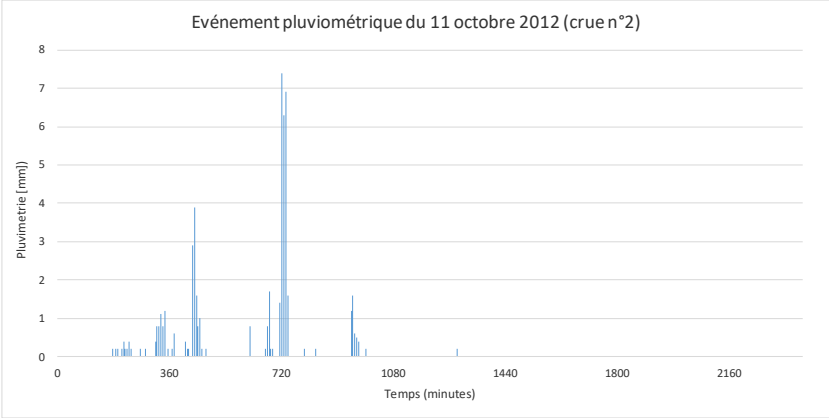






- Pas de crues significatives sur les autres cours d'eau.

- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018). A Toulon, les cumuls sont remarquables uniquement sur 30 min avec 23.6 mm (soit entre 2 et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).



Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]
6 min	7,4	<2
30 min	23,6	2<T<5 ans
1h	24,1	<2
2h	26,7	<2
3h	27,7	<2
6h	38,9	<2
12h	49,7	<2
24 h	52,7	<2

- Pluie de 24h=52.7 mm (Ducros, 2014). Pas d'antécédent pluviométrique.

N°des crues	Date de début	Date de fin	Hauteur de pluie totale (mm)	Intensité Maximale en 6 min (mm)	Intensité Maximale horaire (mm/h)
2	**11/10/2012 08:00**	**12/10/2012 08:00**	**52,7**	**7,4**	**22,2**

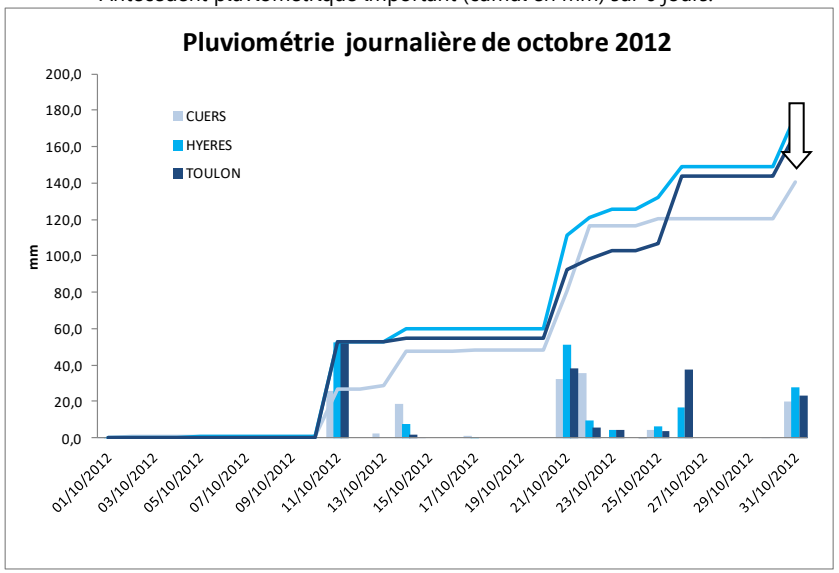
26 octobre 2012

Type de pluie : Episode orageux nettement localisé, intense et court. Des intensités modérées enregistrées aux stations mais des cumuls radar très importants (total de pluie de 65 mm tombés en 2 heures - soit entre 10 et 20 ans de période de retour). L'antécédent pluviométrique est à noter sans être remarquable.

- Cumul journalier à Toulon La Mitre et Hyères le 26/10/2012 : 37.2 mm en 24h et 16.8 en 24 h à Hyères (Météo-France) soit << 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
26/10/2012	44,6	-	16,8	28,1	23,5	37,2

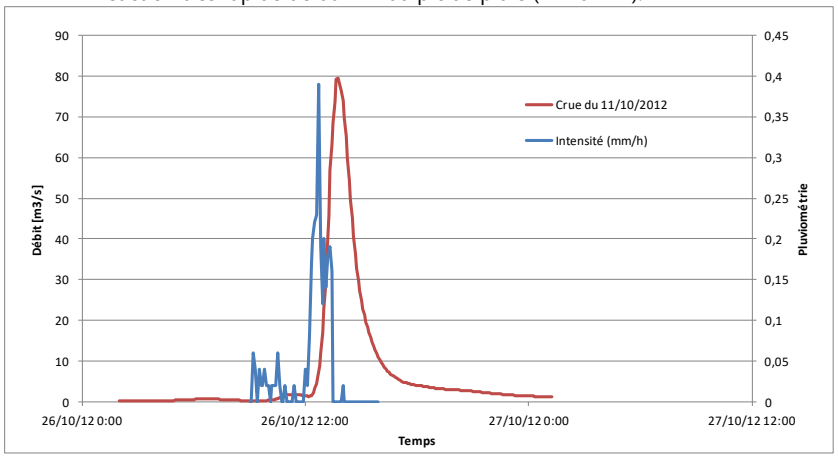
- Antécédent pluviométrique important (cumul en mm) sur 6 jours.

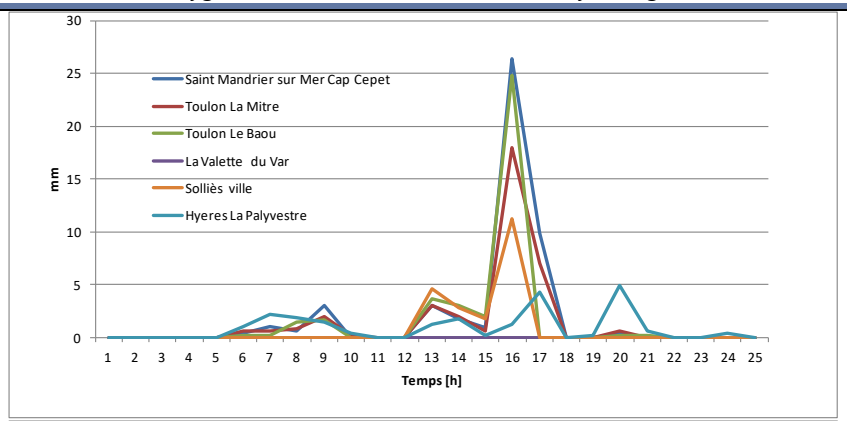


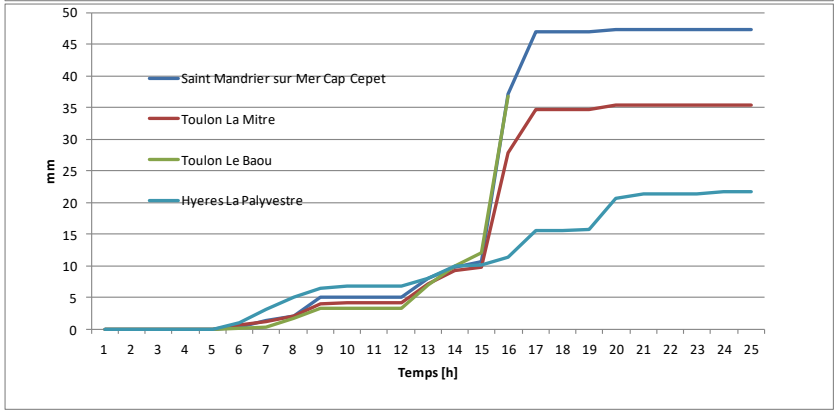
- Les cumuls horaires sont plus importants au Cap Cepet et à Toulon le Baou (26.4 mm et 24.8 mm) mais très faibles à Hyères (4.9 mm/1h) - données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie)

Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (3 communes dont 2 sur le bassin Toulonnais). Evénement remarquable (décès des deux étudiants à la Garde). Crue localisée rapide et intense sur l'Eygoutier aval (Qmax = 79.5 m3/s au pont de Bazeille), estimée entre 10 et 50 ans de période de retour par IRSTEA. **La crue uniquement significative sur Le-Réal-Martin-à-la-Crau montre que l'orage était localisé et s'est déplacé vers le nord-est.**

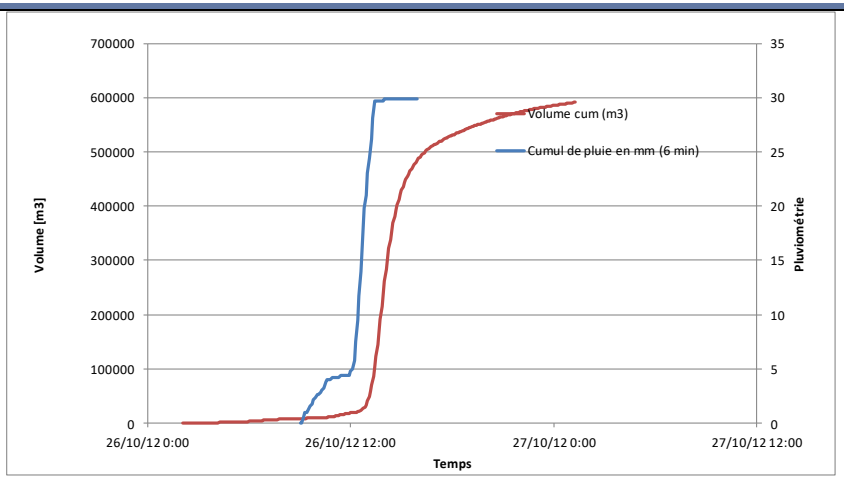
- 26 octobre 2012 - Arrêté de catastrophe naturelle pour inondations et coulées de boue sur la commune de La Garde, Le Pradet, Toulon (prim-net).
- Crue n°4 avec Qmax = 189.4 m3/s au pont de Bazeille (Dufresne & Ducros, 2014) => **79.5 m3/s au pont de Bazeille (nouvelle estimation HYDRETUDES). Limite de capacité a priori.**
- Crue de l'Eygoutier avec montée très brutale des débits (DS=85 min). Une réaction très rapide de 60 min au pic de pluie (ΔT=6 min).







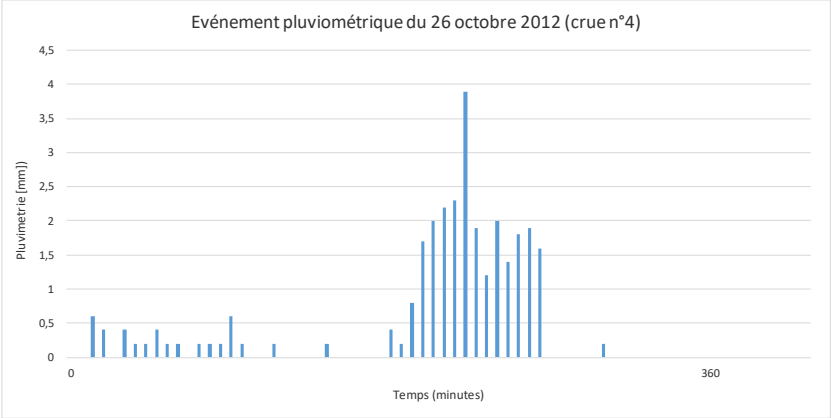
- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (INGEROP, 2017). La période intense est d'une heure et demie (25.3 mm). A Toulon la Mitre, les cumuls horaires et infra-horaire ne sont pas non plus remarquables, proche d'une occurrence biennale (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).
- **ATTENTION : La pluviométrie au poste de Toulon n'est pas représentative**



- Article de Presse repris dans http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf

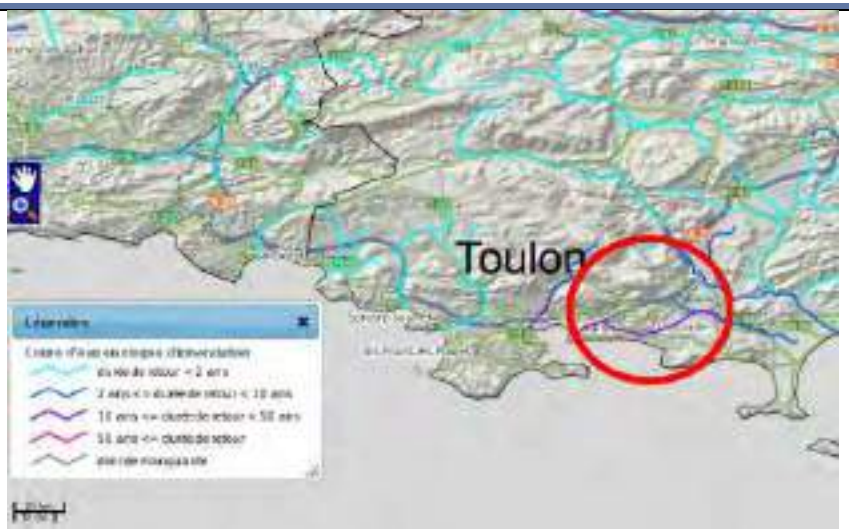


- Crue de l'Eygoutier estimée entre 10 et 50 ans de période de retour (http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf et http://www.set-revue.fr/mises-en-oeuvre-operationnelles-de-la-methode-aiga-pour-anticiper-les-crues-sur-les-cours-deau-non/prin)



Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]
6 min	3,9	<2
30 min	12,3	<2
1h	20,6	<2
2h	25,3	<2
3h	26,5	<2
6h	29,9	<2
12h	29,9	<2
24 h	29,9	<2

- D'après l'enquête administrative ayant fait suite à l'accident survenu sur le Campus de l'Université, « le cumul est compris entre 30 mm et 50 mm sur l'ouest du bassin versant de l'Eygoutier et proche de 60 mm sur l'est de l'agglomération, dans le secteur précisément de La Garde ». Ainsi, la pluviométrie acquise au niveau du poste de Toulon La Mitre ne représente pas la pluie réelle tombée sur le campus de La Garde le 26 octobre 2012, puisque ce poste est situé à près de 10 km à l'ouest de la zone d'étude. Par ailleurs, toujours selon le rapport d'enquête administrative, « le maximum enregistré fait état d'une intensité moyenne de précipitation de 50 à 70 mm/h, voire supérieures localement à 80 mm/h ».Ainsi, de manière à se rapprocher de la pluviométrie réelle de l'événement du 26 octobre 2012 sur le campus de La Garde, un facteur multiplicatif de 2 a été appliqué par Ingerop (2017) sur la pluie du poste de Toulon La Mitre. Ce facteur permet de s'approcher du cumul relevé (60 mm) et de l'intensité maximale observée (80 mm/h) au niveau de l'université. Ainsi, l'événement reconstitué sur le secteur de La Garde semble plutôt d'occurrence décennale.



- **Photo (Ingerop, 2017)**



- Une crue significative Le-Réal-Martin-à-la-Crau (Q2<Q<Q5) mais pas la Reppe (contrairement aux prévisions).

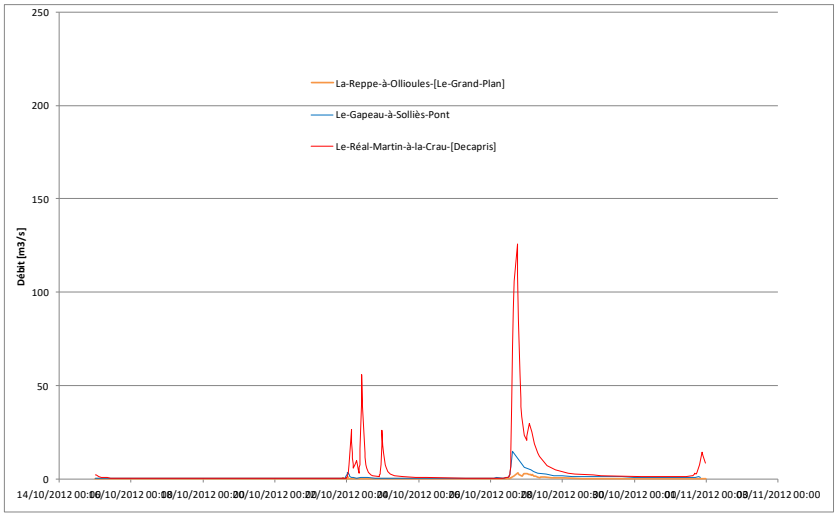
Temps de retour sur les autres cours d'eau

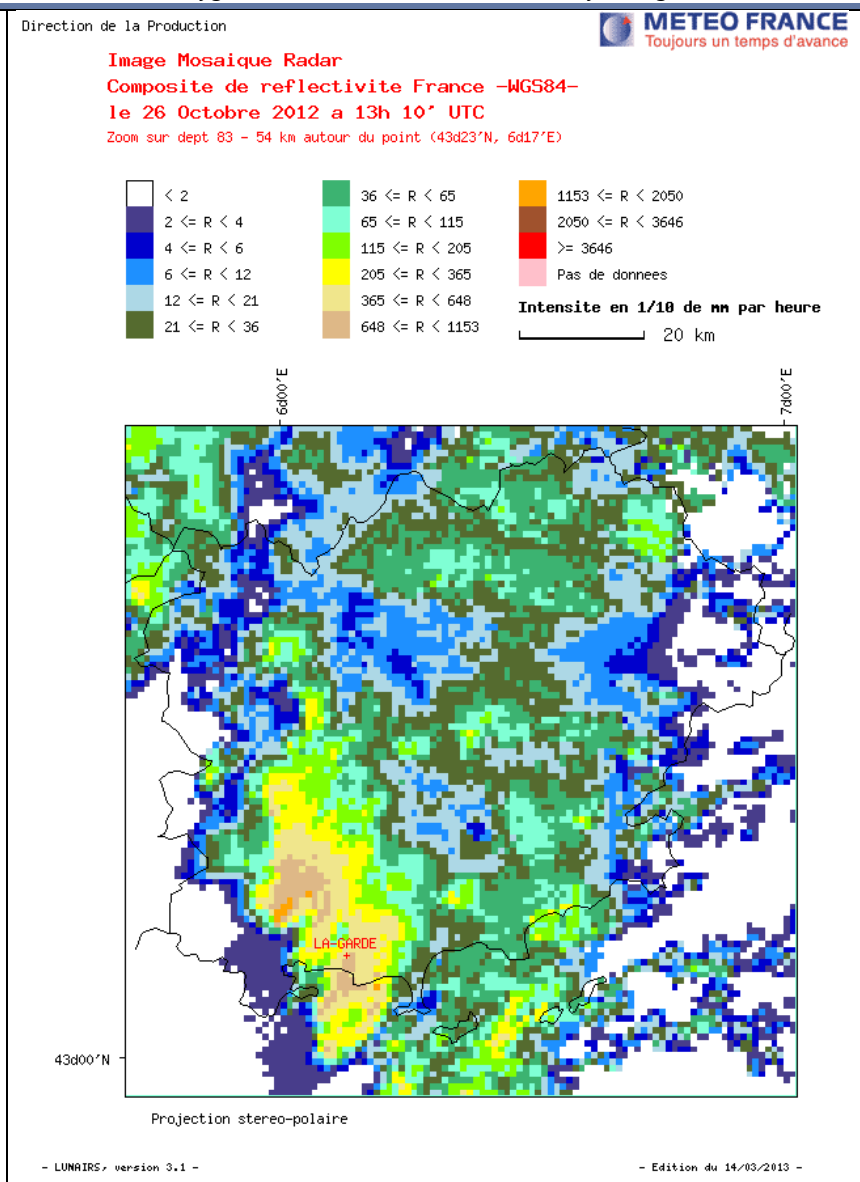
- SAFEGE (2015). Données sur la **station des Serres**. "Concernant la pluie d'octobre 2012, deux orages de 2 h de durées et de 30 mm de cumuls chacun se sont succédés avec une accalmie de 2 h entre. L'intensité à la fin de l'événement (qui correspond à la pente de la courbe du cumul) est comparable à celle de la pluie de septembre 2013. Cette pluie montre que deux évènements d'occurrence entre 1 et 5 ans peuvent se succéder. Le second orage est donc tombé sur un sol bien plus humide."
- SAFEGE (2015). Données sur la station du pont de La Clue." L'événement s'est déroulé de façon similaire sur les deux sites."



- **Evénement remarquable du 26 octobre 2012 Violents orages sur le Var et les Alpes-Maritimes** :(http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Violents-orages-sur-le-Var-et-les-Alpes-Maritimes.html) : "De nombreux orages localement très intenses ont touché le Var et les Alpes-Maritimes le 14, puis du 21 au 23 enfin le 26 octobre 2012, où l'événement provoque 2 victimes à La Garde près de Toulon. Les pluies du 26 octobre 2012 sur la côte varoise et la Côte d'Azur ne sont pas exceptionnelles en quantité mais très intenses (de l'ordre de 40 mm en 1 heure). On relève sur l'est de la zone : 107 mm aux Arcs, 145 mm à Mandelieu. La station météorologique de Toulon a relevé 37 mm dont 20 mm sont tombés en 1 heure. **A La Garde, située à 10 km à l'est, les observations du radar permettent d'estimer un total de pluie de 65 mm tombés en 2 heures."** Soit entre 10 et 20 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).
- Image de réflectivité radar du 26/10/2012 à 13H10 UTC. Les pluies les plus intenses se produisent sur La Garde.(http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/IMG/sipex_gif/2012_10_26_image_radar.gif)

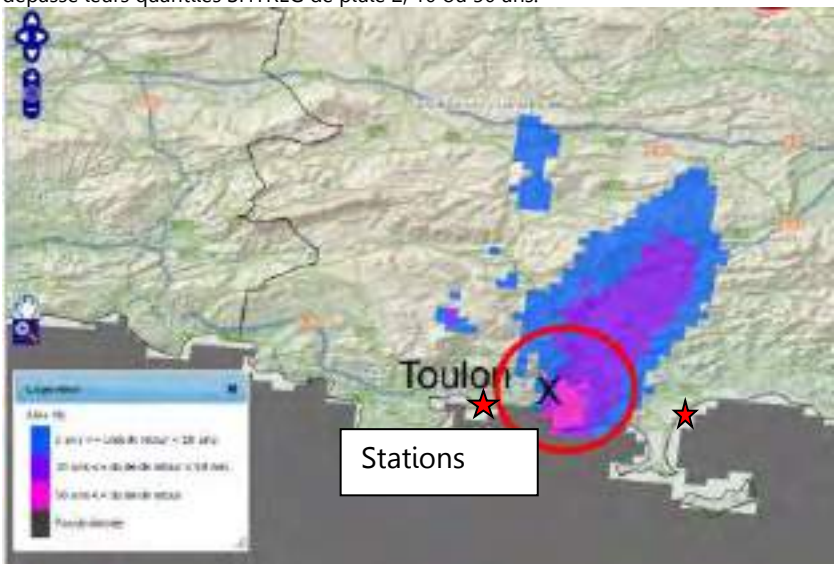
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	26/10/2012	26/10/2012	26/10/2012
Débit	3,08	14,9	126
temps de retour	<<	<<	Q2<Q<Q5



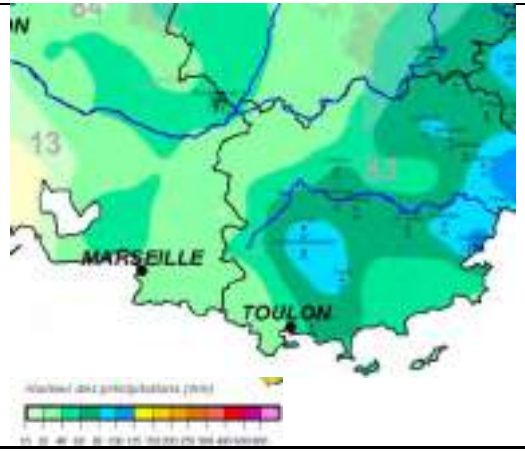


- **Qualification pluviométrique par IRSTEA** (http://www.cypres.org/wp-content/uploads/presentation-RHYTMME-CYPRES-27102015.pdf)

Cartographies AIGA produites à 16h00 le 26/10/2012 lors d'un épisode orageux sur la région de Toulon. Périodes de retour de la pluie radar de durée 1 heure de plus de 50 ans à l'Est de Toulon (période retour basée sur pixel SHYREG –pluie). La gravité de l'aléa pluviométrique est affichée à la maille du km2 par coloration des pixels où la valeur de pluie radar temps réel dépasse leurs quantiles SHYREG de pluie 2, 10 ou 50 ans.



- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

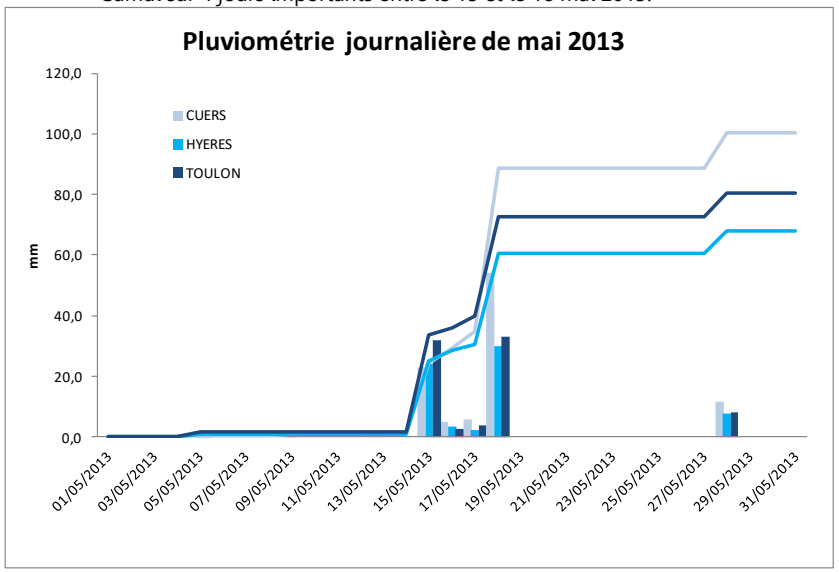
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 26 OCTOBRE 2012 à 6 h UTC au 27 OCTOBRE à 6 h UTC	
	

18/05/2013	**Type de pluie : Evénement peu intense mais long (cumuls sur 6 heures commencent à être significatifs ~ 2 ans de période de retour) et centré sur l'ouest du bassin.**	**Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (1 commune). A priori ruissellement. Crue peu intense mais longue sur l'Eygoutier aval (Qmax = 10 m3/s au pont de**

- Cumul journalier à Toulon La Mitre le 15/05/2013 : 32 mm en 24h et le 18/05/2013 : 32.9 mm en 24 h (Météo-France) soit <<< 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
15/05/2013	39,8	23,0	24,0	26,6	52,5	32,0
18/05/2013	34,5	53,9	29,9	48,3	45,0	32,9

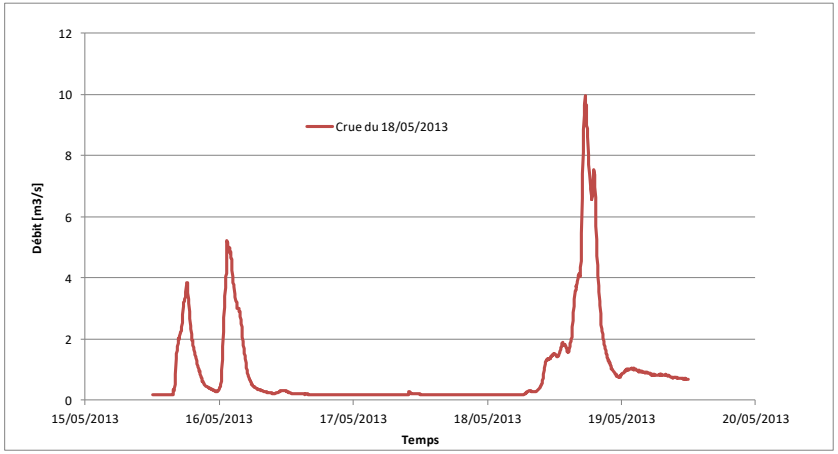
- Cumul sur 4 jours importants entre le 15 et le 18 mai 2013.



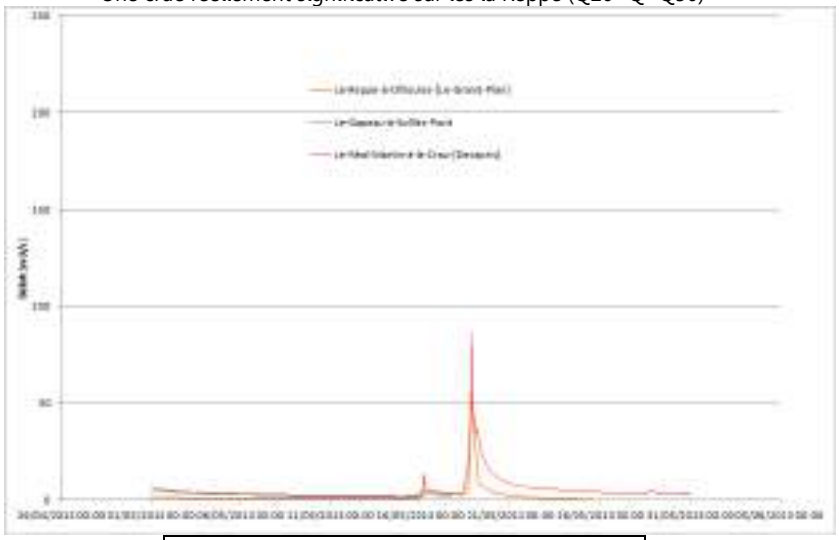
- Les cumuls horaires sont peu importants mais les cumuls sur 6 heures commencent à être significatifs ~ 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie)

Bazeille et Ds = 165 min). La crue uniquement significative sur La Reppe montre que l'orage était localisé vers l'Ouest.

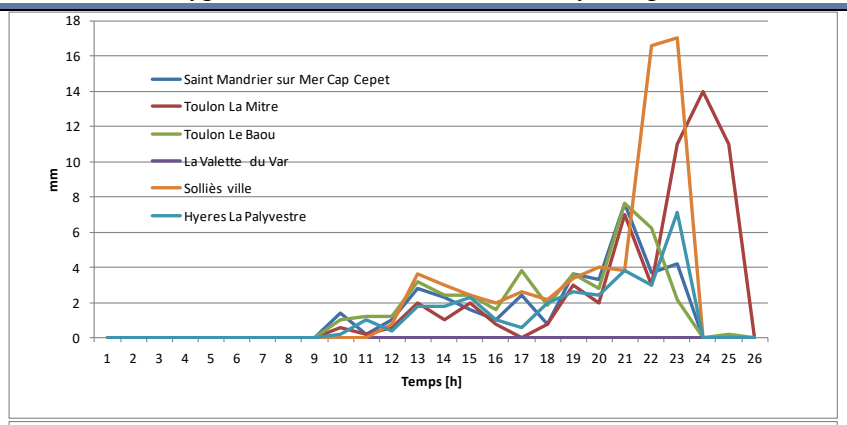
- 18/05/2013 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur les communes de Le Pradet (prim.net)
- Crue n°20 (deux pics) : 15/5/13 12:00 et 18/5/13 12:00 avec Qmax = 23,69 m3/s (Ducros, 2014) => 10 m3/s (HYDRETUDES, 2018)

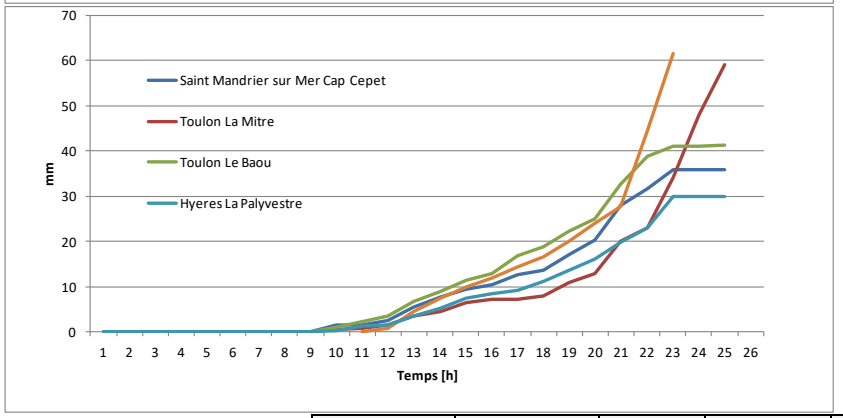


- Une crue réellement significative sur les la Reppe (Q20<Q<Q50)



Temps de retour sur les autres cours d'eau





	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Toulon	Solliès	Hyères
	Cap Cepet	La Mitre	Le Baou	ville	La Palyvestre
CUMUL sur l'événement	35,9	59	41,28	61,4	30
1 h	**7,6**	**14**	**7,6**	**17**	**7,1**
2 h	11,3	25	13,8	33,6	10,1
3 h	15,5	36	16,6	37,4	13,9
6h	23,2	**48**	24,28	**47**	20,9
12h	34,5	**57,6**	40,08	**61,4**	29,8
24h	35,9	59	41,28	61,4	30

	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	**18/05/2013**	18/05/2013	18/05/2013
Débit	**56**	50.8	86.8
temps de retour	**Q20<Q<Q50**	Q2<Q<Q5	<<

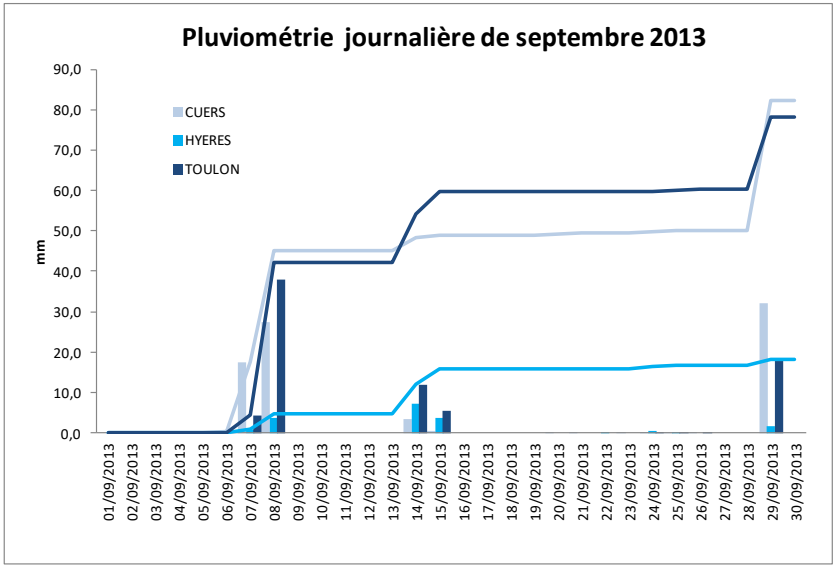
8/9/2013

Type de pluie : Episode orageux localisé et court avec des intensités très fortes sur Toulon (période de retour : sur 6 min et 30 min entre 10 et 20 ans et sur 1 h entre 5 et 10 ans. Sur 24 h <<2 ans)

- Cumul journalier à Toulon La Mitre le 08/09/2013 : 37.9 mm en 24h (Météo-France) soit <<< 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Très faible pluie à Hyères.

DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
07/09/2013	4,6	17,3	0,8	73,3	65,5	4,4
08/09/2013	5,9	27,5	3,8	7,1	20,0	**37,9**

- Pluie provenant de l'Ouest (cumul de 73.3 mm en 24h le 07/09/2014 au Castellet). Pas de pluie antécédente sur Toulon.



- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (INGEROP, 2017). L'événement es court et intense. Il s'est produit sur 60 min (cumul de 37.9 mm/1h) avec des cumuls remarquables sur 6 min, 30 min. Période de retour : sur 6 min et 30 min entre 10 et 20 ans et sur 1 h entre 5 et 10 ans. Sur 24 h <<2 ans.

Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour (ans)

Type de crue : Crues sur <u>tout le bassin</u> mais pas de dégâts (pas d'arrêté CAT NAT). Sans débordements pour l'Eygoutier mais quelques débordements Planquette. Les inondations de la plaine de la Garde sont essentiellement liées au ruissellement urbain. Crue localisée rapide et intense sur l'Eygoutier aval (montée et décrue très rapides avec Ds =65 min) sur le bassin Toulonnais (Qmax = 84.6 m3/s au pont de Bazeille). Pas de crue significative sur les autres cours d'eau.

- Coupure de presse (SAFEGE, 2015)
- Témoignage : orage violent entre 7 et 10 heures ayant entrainé des débordements de la Planquette, comme le montre plusieurs photographies (http://une-vie-un-instant.e-monsite.com/pages/nature/meteorologie/pluie-inondations/orage-diurne-a-la-garde-83-08-septembre-2013.html)

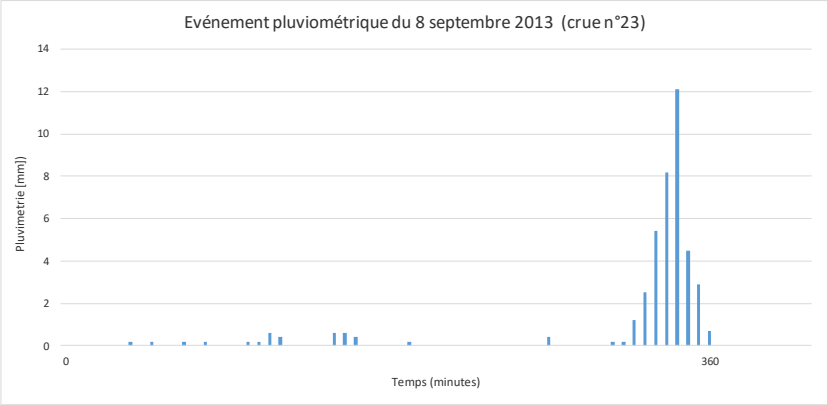


La Planquette aval



Chemin de Rabasson
(http://une-vie-un-instant.e-monsite.com/pages/nature/meteorologie/pluie-inondations/orage-diurne-a-la-garde-83-08-septembre-2013.html)

6 min	12,1	10<T<20
30 min	33,1	10<T<20
1h	37,9	5<T<10
2h	38,3	2<T<5
3h	38,5	2<T<5
6h	42,3	<2
12h	42,3	<2
24 h	42,3	<2

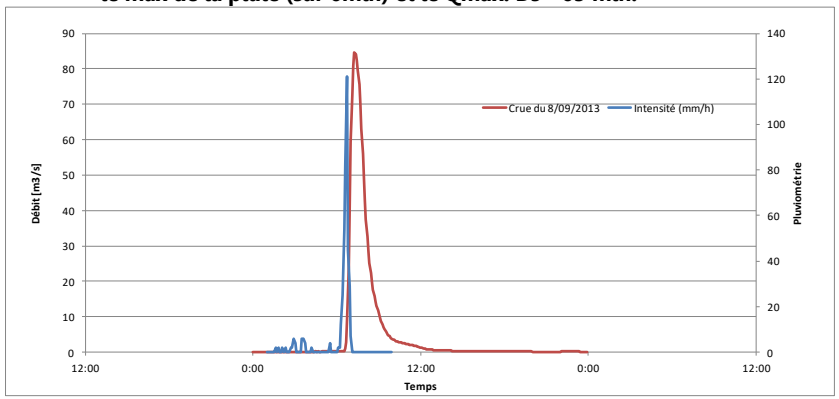


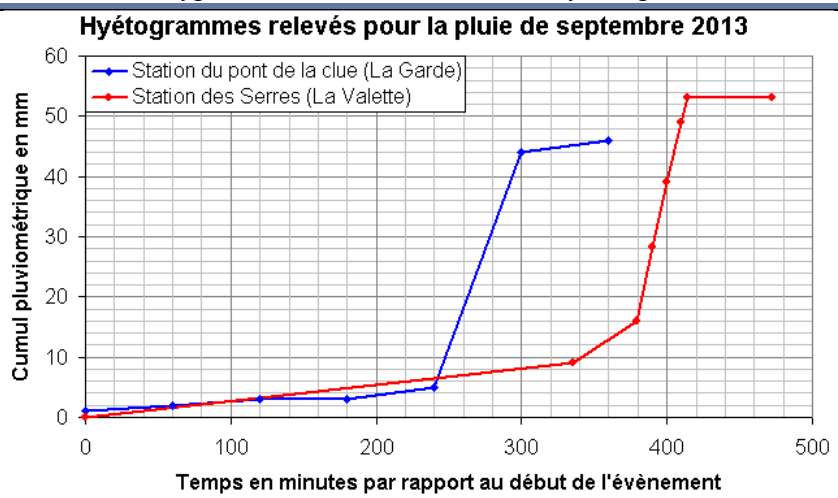
- Les cumuls horaires sur les autres stations sont faibles sauf à la station de la Crau du réseau STATIC : 62 mm/1 h le 08/09/2013 à 10:00 (Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie) - Indication d' Orage violent !
- Données pluviométriques pour cette pluie (les relevés des stations des Serres et du pont de La Clue) - (SAFEGE, 2015). "La pluie de septembre 2013 présente un cumul très important de 30 mm en 30 minutes environ, le reste de la pluie se répartissant sur une plage horaire bien plus longue. Une intensité aussi forte sur cette durée correspond, si l'on compare aux données de la station MétéoFrance de Toulon, à une occurrence plus que centennale, ce qui paraît aberrant au vu des dommages causés par cette pluie. Cet exercice montre que pour des évènements de type orageux, selon le positionnement des stations par rapport aux orages, les cumuls mesurés peuvent varier grandement. Par exemple, si les cumuls mesurés à la station des Serres étaient tombés de façon homogène sur tout le bassin versant du Saint-Joseph, les dommages observés auraient put être bien plus importants. Il faut donc être prudent sur l'utilisation des données pluviométriques d'orages."



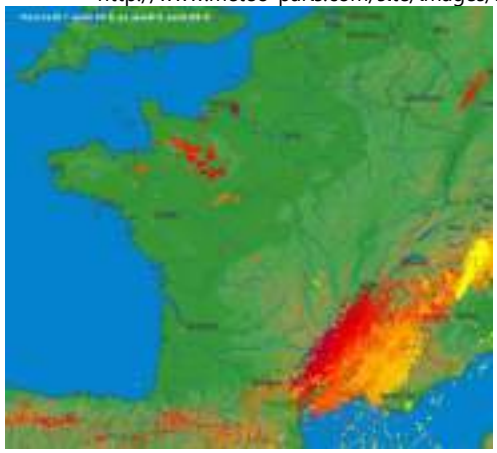
Avenue Jean Moulin au Pradet (http://cpln.over-blog.com/inondations-au-pradet-du-8-septembre-m%C3%AAme-la-route-de-la-garonne-enti%C3%A8rement-refaite-est-sous-les-eaux)

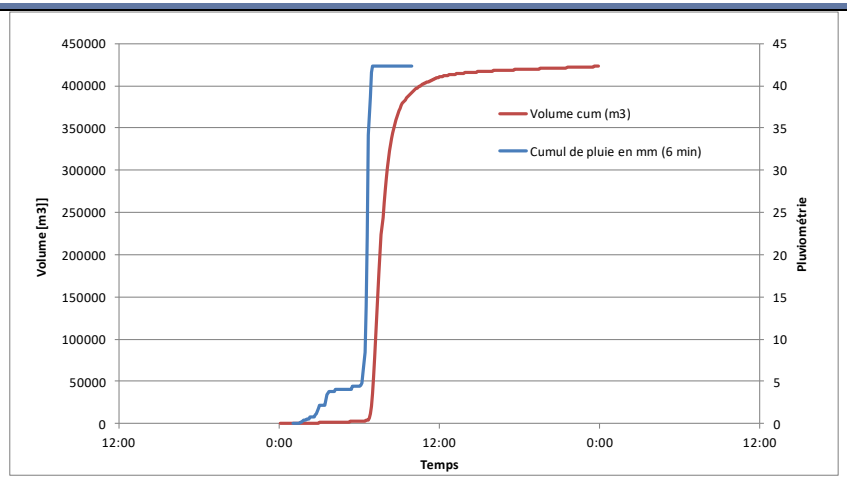
- Crue significative sur l'Eygoutier aval le 8/9/13 à 7 :20 avec Qmax =201.44 m3/s (Durcros, 2014) => **estimation HYDRETUDES Qmax =84.6 m3/s. 33 min entre le max de la pluie (sur 6min) et le Qmax. Ds= 65 min.**





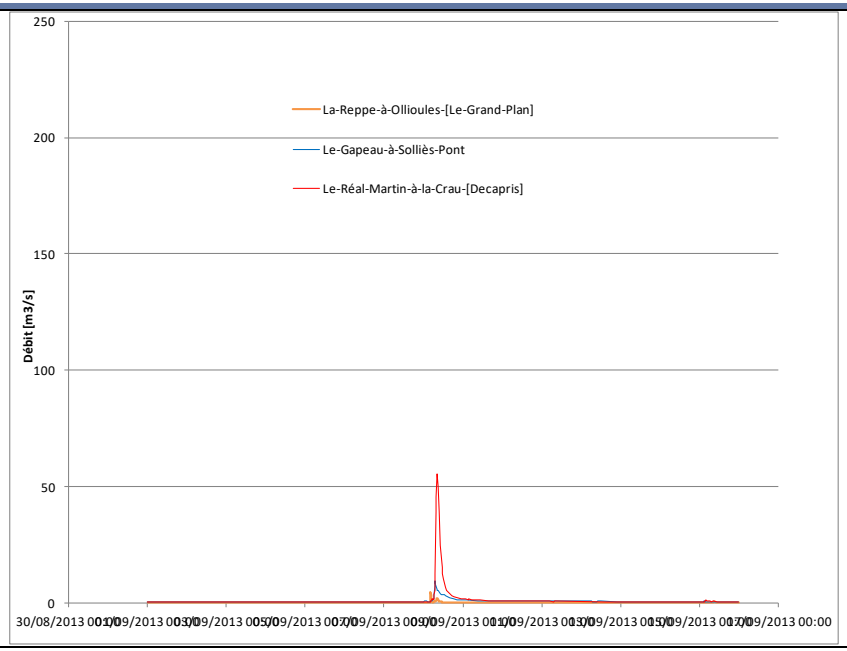
- "De fortes précipitations ont touché la zone du Beausset, St Cyr-sur-Mer et la Ciotat. Les orages, annoncés par les services de météorologie, se sont avérés violents, entre 4h et 7h ce matin. Il est tombé en trois heures l'équivalent d'un mois de septembre. https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/2013/09/08/gros-orages-sur-la-cote-entre-les-bouches-du-rhone-et-le-var-314225.html "
- http://www.meteo-paris.com/site/images/foudre_7_aout_2013.jpg





- Pas de crues significatives sur les 3 cours d'eau de la région. Le Le-Réal-Martin-à-la-Crau a plus réagit que les deux autres cours d'eau.

	Temps de retour sur les autres cours d'eau		
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	08/09/2013	08/09/2013	08/09/2013
Débit	4,41	9,27	55,4
temps de retour	< Q2	< Q2	< Q2



4/10/2013

Type de pluie : Pluie localisée, tres courte (1h) et peu intense (proche de 2 ans de période de retour sur 1h).

- Pas de données sur Toulon, cumul de 23.5 mm à Hyeres en 24h (Météo-France) soit <<< 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

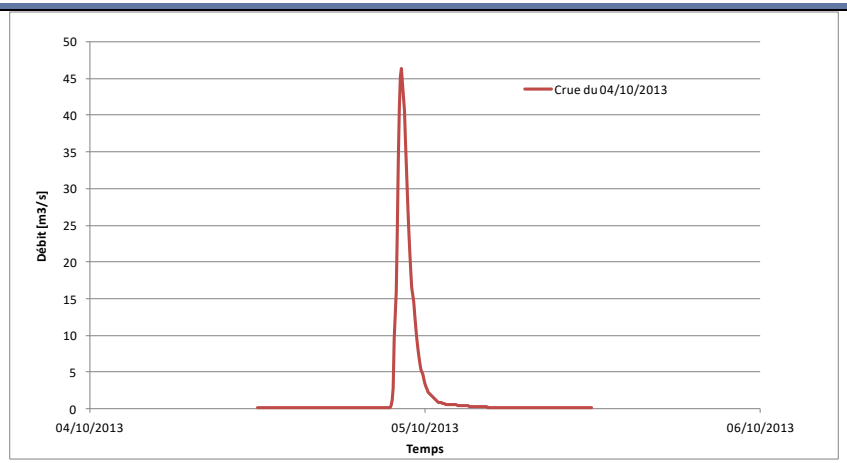
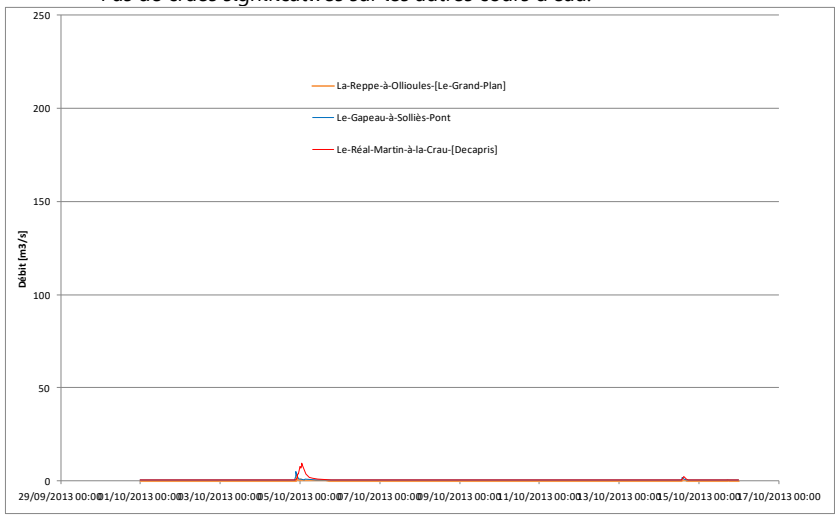
DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
04/10/2013	-	17,6	23,5	23,7	9,5	-

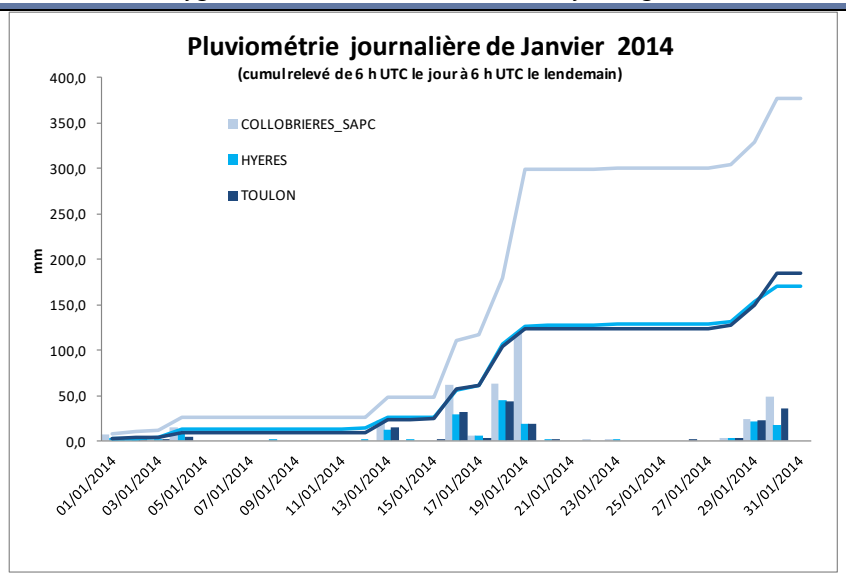
- Les cumuls horaires sur Toulon et Hyères sont de 26 mm/1h et 22.3 mm/1h le 04/10/2013 à 00:00. soit proche de 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).
- Pluie de 24h=26.2 mm (Ducros, 2014).

N°des crues	Date de début	Date de fin	Hauteur de pluie totale (mm)	Intensité Maximale en 6 min (mm)	Intensité Maximale horaire (mm/h)
26	**04/10/2013 00:00**	**05/10/2013 00:00**	**26,2**	**7,2**	**25,8**

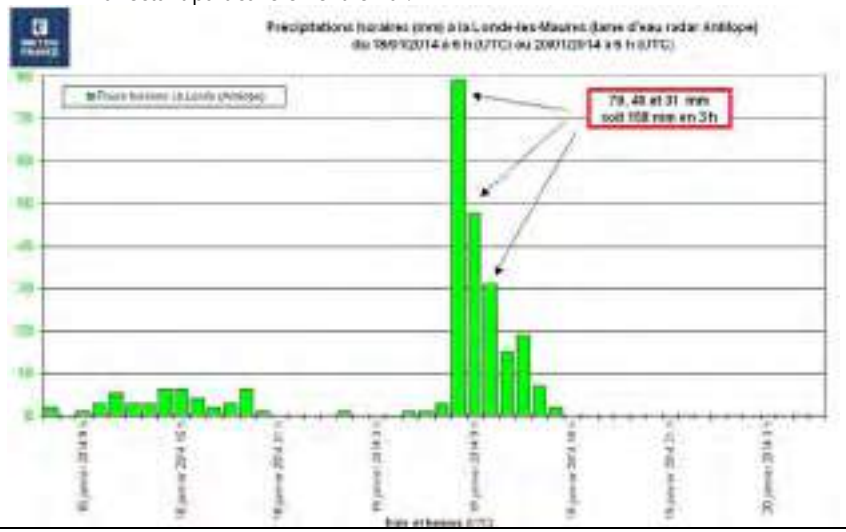
Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents. Crue éclaire (avec Qmax =46.3 m3/s et Ds= 55 min). De faibles crues sur les cours d'eau de la région.

- Crue non répertoriée comme remarquable
- Crue significative sur l'Eygoutier aval le 04/10/2013 à 22:20:00 avec Qmax = 110.3 m3/s (Crue n°26 - Durcros, 2014) => **estimation HYDRETUDES Qmax =46.3 m3/s. Ds= 55 min.**

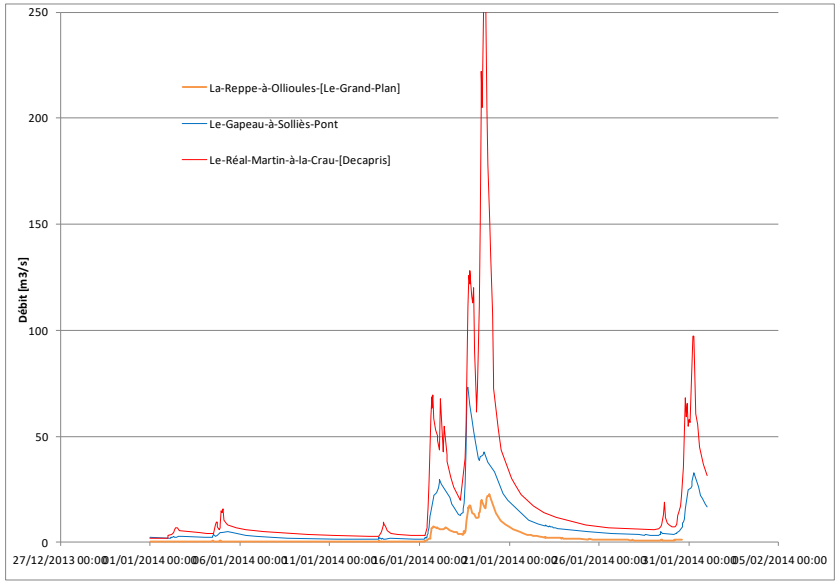
		 • Pas de crues significatives sur les autres cours d'eau. 
18 Janvier 2014	**Type de pluie : Episode exceptionnelle par son ampleur géographique et sa durée (4 jours d'épisodes pluvieux successifs) mais centré plus au nord-est (épisode de pluie de 43.0 mm en 24h à Toulon La Mitre le 18/01/2014 - Météo-France).** • Du 16 et 19 janvier 2014 de violents orages accompagnés de fortes précipitations s'abattent sur les Alpes-Maritimes et le Var où La-Londe-les-Maures et Hyères sont gravement touchées. • Les cumuls journaliers sont faibles sur Toulon et Hyères.	**Type de crue : Aucun événement remarquable signalé sur l'Eygoutier et ses affluents. Tous les cours d'eau de la région sont en crue mais seul le Le-Réal-Martin-à-la-Crau dont le bassin est plus à l'Est est réellement touché par cet événement de pluie exceptionnel.** • Deux crues successives sur les 3 cours d'eau de la région dont les plus importantes sont le 18/0 ou 19/01/2014, notamment sur le Le-Réal-Martin-à-la-Crau (Q >Q50) !

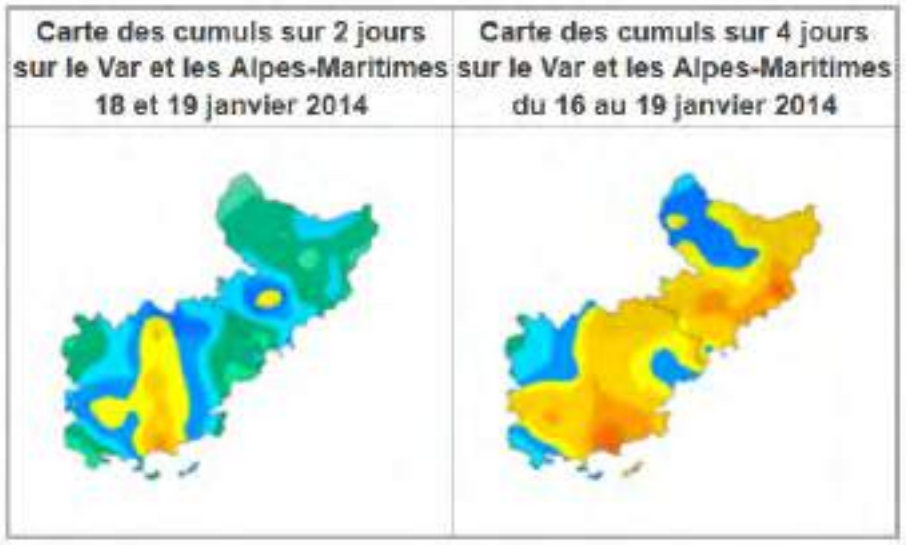


- Evénement remarquable: http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Inondations-dans-le-Var-et-les-Alpes-Maritimes.html : "Les fortes pluies ont débuté le 16 janvier 2014 apportant 50 à plus de 150 mm sur le Var (110 mm à Bormes-les-Mimosas) et les Alpes-Maritimes (173 mm à Peille et 146 mm à La Trinité). Après une accalmie le 17, elles reprennent les 18 et 19 affectant particulièrement le Var."



	Temps de retour sur les autres cours d'eau		
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	19/01/2014	18/01/2014	19/01/2014
Débit	22,6	72,9	298
temps de retour	Q2<Q<Q5	Q2<Q<Q5	**Q>Q50**



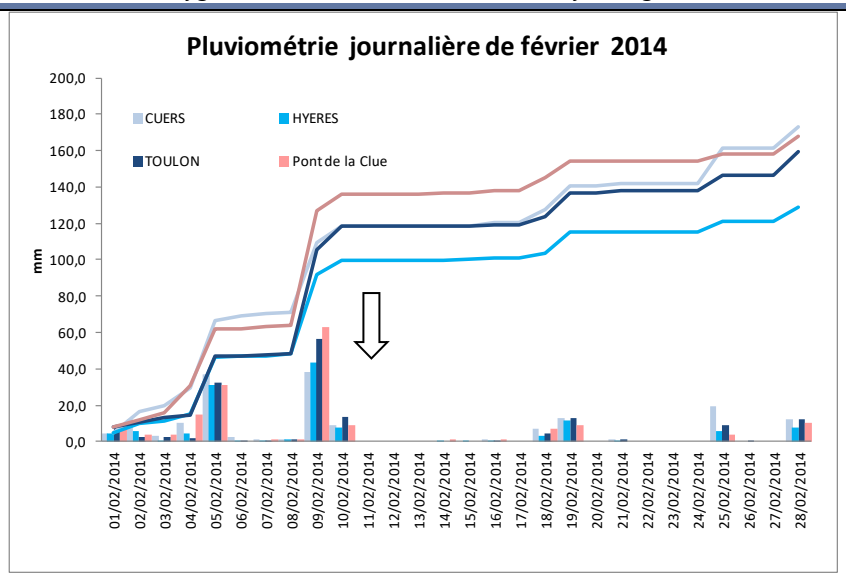
<table>
<tr>
<td></td>
<td>
</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>5 au 10 février 2014</td>
<td>Type de pluie : Episode relativement peu intense et étendu (cumuls sur 3, 6 et 12 heures commencent à être significatifs ~ 2 ans de période de retour). L'antécédent pluviométrique sur 5 jours est à noter sans être remarquable.

Cumul journalier à Toulon La Mitre le 09/02/2014 : 56.6 mm en 24h (Météo-France) soit < 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017).

<table>
<tr><th>DATE</th><th>CAP CEPET</th><th>CUERS</th><th>HYERES</th><th>LE CASTELLET</th><th>LE CASTELLET-PL</th><th>TOULON</th></tr>
<tr><td>05/02/2014</td><td>30,3</td><td>36,9</td><td>31,1</td><td>39,0</td><td>46,0</td><td>32,3</td></tr>
<tr><td>09/02/2014</td><td>63,5</td><td>38,3</td><td>43,6</td><td>25,2</td><td>35,5</td><td>56,6</td></tr>
</table>

P24h=63 mm au pont de la Clue (Ingerop, 2017).
Cumul sur 5 jours importants entre le 05 et le 09 février 2014 sur toutes les stations.
</td>
<td>Type de crue : Pas de dégâts (pas d'arrêté CAT NAT). Inondations de la <u>plaine de la Garde.</u> Deux crues successives sur les 3 cours d'eau de la région. Les plus importantes sont le 5/02, notamment sur la Reppe (Q20<Q<Q50)

10 février 2014 : inondation faisant suite à une période pluvieuse ayant entrainé une saturation des sols. Les inondations concernent la partie au sud de la voie ferrée (Ingerop, 2015).
Témoignage : https://forums.infoclimat.fr/f/topic/4840-le-plan-de-la-garde-submerg%C3%A9/.
"le lundi 10 Février 2014, un nouvel épisode pluvieux passe sur le Var, surtout sur le Sud entre Toulon et Hyères. Cet épisode a permis de cumuler en général 50-70mm sur la matinée, toujours entre Toulon et Hyères " En ville (à La Garde), pas d'accumulations d'eau, le cours d'eau la Planquette passant par la FAC est monté mais de manière habituelle, de même pour le Régana passant devant Castorama et traversant le Chemin de Rabasson. En fin de matinée la pluie se calme, donc à 12h, on effectue un tour de La Garde pour voir s'il y aurait eu des inondations.
En partant de la FAC, je longe la Planquette qui reste à une hauteur banale jusqu'à côté de la caserne des pompiers.
J'effectue un passage rapide en haut du Rocher de La Garde pour voir comment est le Plan de La Garde avant d'y aller tout en sachant que c'est une zone inondable. 1. Arrivé en haut, on se rend compte que la piscine de La Garde est ouverte ! 2. Je redescends et vais en direction du chemin de La Foux. Avant d'accéder au pont, il y a deux barrières. 3. Par endroits, les routes sont, elles aussi, submergées. Les fossés sont remplis à ras bord et débordent. 6. Plus loin c'est carrément l'Eygoutier qui a débordé (3e pont, toujours sur le chemin de la Foux) !
</td>
</tr>
</table>



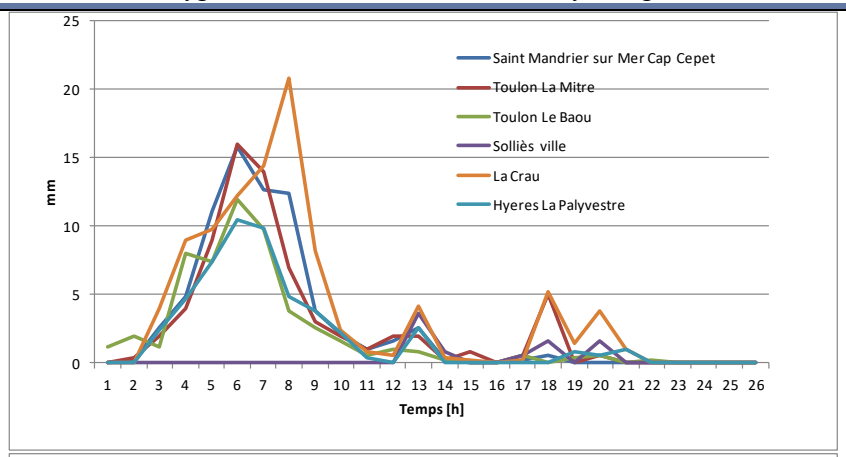
- L'antécédent sur le mois de janvier est important (184.9 mm soit 2.5 fois la normale 1950-2013).
- Les cumuls horaires sont peu importants mais les cumuls sur 3, 6 et 12 heures commencent à être significatifs ~ 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie). Toutes les stations sont concernées. La station de La Crau du réseau STATIC montre les plus forts cumuls.

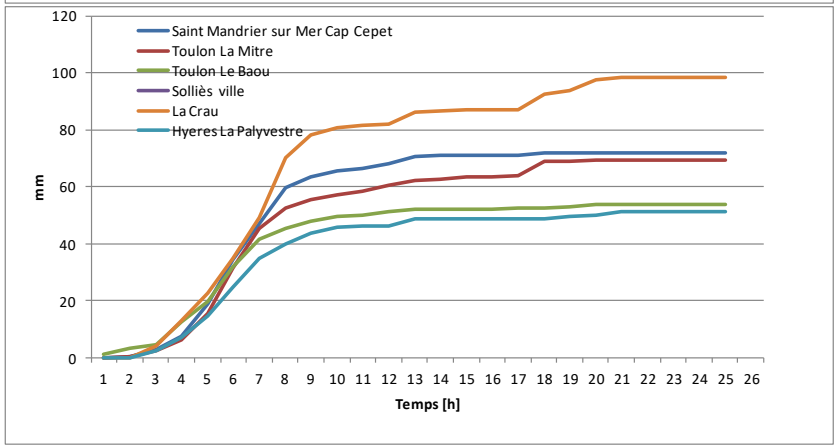
	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Toulon	La	Hyeres
	Cap Cepet	La Mitre	Le Baou	Crau	La Palyvestre
CUMUL sur l'événement	71,8	69,6	54	98,6	51,2
1 h	15,8	16	12	20,8	10,5
2 h	28,5	30	21,8	35,2	20,4
3 h	40,9	39	29,2	47,4	27,8
6h	60,7	**53**	43,6	74,4	41,2
12h	71	62,6	51	87	48,8



- Deux crues successives sur les 3 cours d'eau de la région. Les plus importantes sont le 5/02, notamment sur la Reppe.

	Temps de retour sur les autres cours d'eau		
2 crues successives significatives	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau

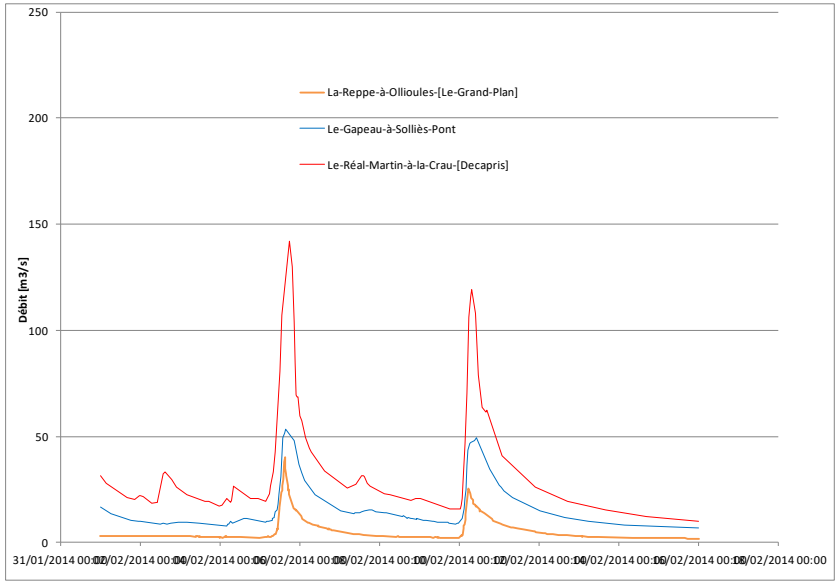




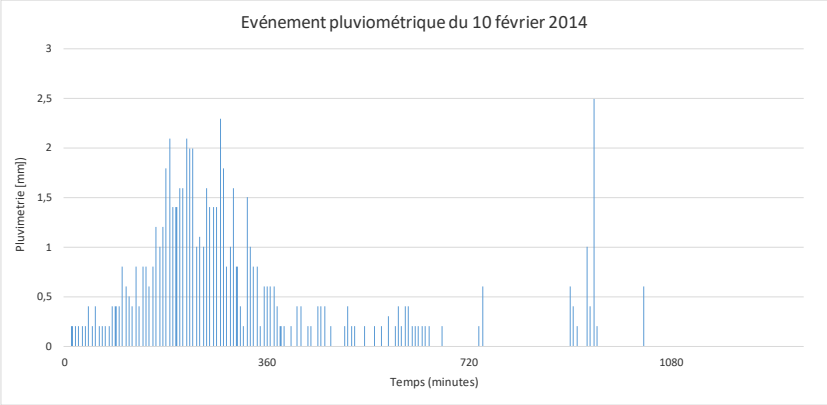
- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018). L'événement du 10 février est relativement long et peu intense (54.5 mm en 6h) soit entre 2 et 5 ans de période de retour .

Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour (ans)
6 min	2,5	<2
30 min	9,3	<2
1h	17,2	<2
2h	31,2	<2

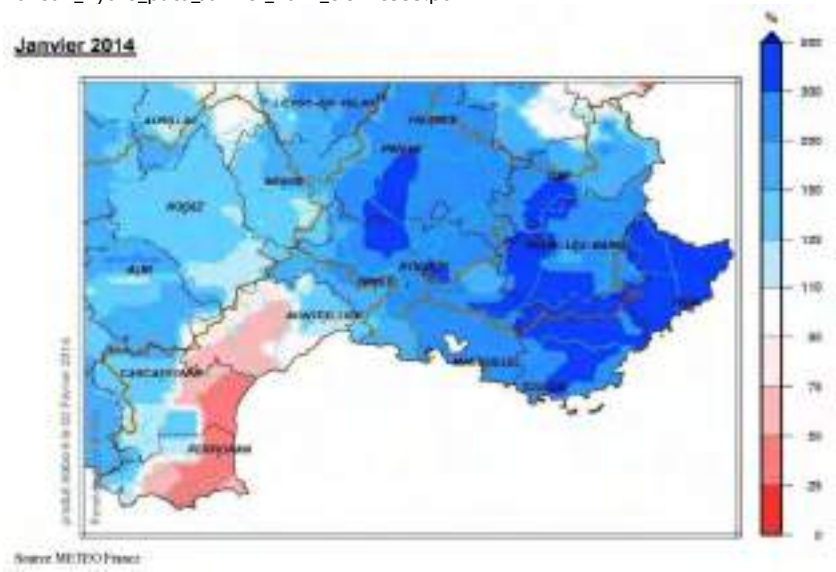
Date	05/02/2014	05/02/2014	05/02/2014
Débit	40	53.5	142
temps de retour	**Q20<Q<Q50**	**Q2<Q<Q5**	**Q2<Q<Q5**
Date	10/02/2014	10/02/2014	10/02/2014
Débit	25.3	49.3	119
temps de retour	**Q5<Q<Q10**	**Q2<Q<Q5**	**Q2<Q<Q5**



3h	40,5	2<T<5
6h	54,4	2<T<5
12h	62,7	<2
24 h	69,6	<2



- Les cumuls depuis le 1er janvier sont très importants/normale. Les rapports à la normale du mois de janvier, sont excédentaires jusqu'à 300 % sur la Côte d'Azur. Bulletin_hydro_paca_Janvier_2014_cle71e535.pdf



	• Indices d'humidité des sols au 01 Février 2014 (Bulletin_hydro_paca_Janvier_2014_cle71e535.pdf)  • Evolution du niveau des nappes par rapport au mois précédent. Bulletin_hydro_paca_Janvier_2014_cle71e535.pdf	

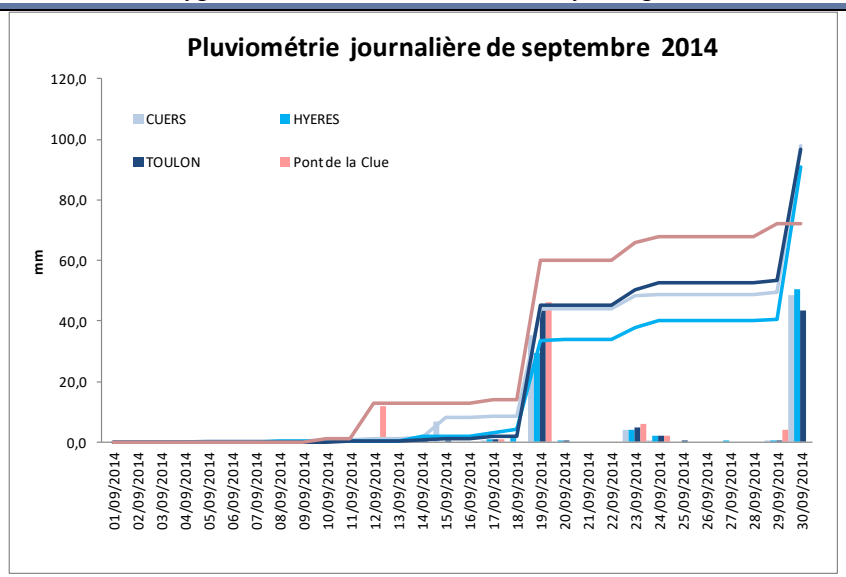
<table>
<tr>
<td></td>
<td>
</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>19 septembre 2014</td>
<td>Type de pluie : Episode court (<1h), intense et localisé (entre 5 et 10 ans de période de retour sur 1h).

Cumul journalier à Toulon La Mitre le 19/09/2014 : 43.3 mm en 24h (Météo-France) soit <<< 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Sur toutes les stations.

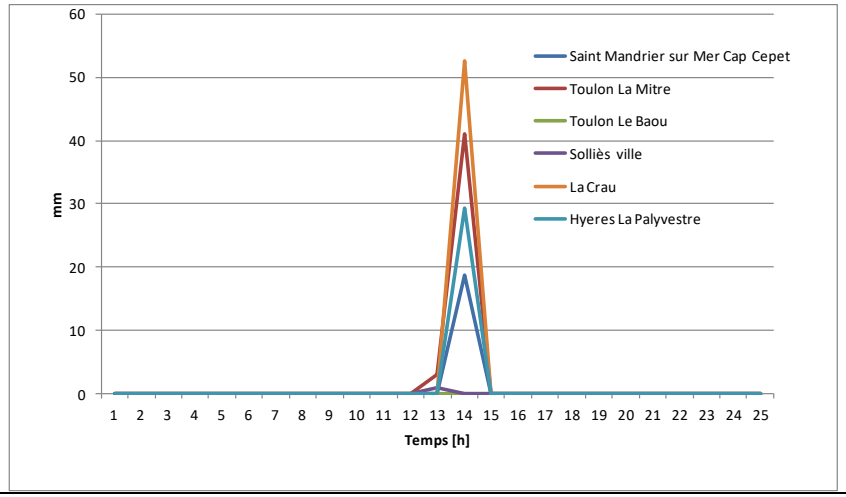
<table>
<tr><th>DATE</th><th>CAP CEPET</th><th>CUERS</th><th>HYERES</th><th>LE CASTELLET</th><th>LE CASTELLET -PL</th><th>TOULON</th></tr>
<tr><td>19/09/2014</td><td>18,8</td><td>35,3</td><td>29,3</td><td>24,6</td><td>52,0</td><td>43,3</td></tr>
<tr><td>30/09/2014</td><td>52,0</td><td>48,5</td><td>50,3</td><td>41,8</td><td>58,0</td><td>43,6</td></tr>
</table>

P24h=46 mm au pont de la Clue (Ingerop, 2017).
Pas de pluie antécédente.
</td>
<td>Evénement marquant !
Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (5 communes). Inondation de la Plaine de la Garde liée au ruissellement. Une crue significative uniquement sur la Reppe (Q2<Q<Q5) car la cellule orageuse est arrivée par l'Ouest.

19 septembre 2014 : Arrêté de catastrophe naturelle pour inondations et coulées de boue sur la commune de La Garde, Toulon, La Valette du Var, Le Pradet et la Crau (prim net)
Témoignage : "La Planquette a bien gonflé ! et débordée" Selon un habitant, l'eau est monté jusqu'à 63cm ! https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3622-orage-supercellulaire-sur-la-garde83/?tab=comments#comment-2422523
</td>
</tr>
</table>



- L'événement s'est produit sur une tres courte durée (1h). Les cumuls horaires sont importants à Toulon la Mitre : 41 mm/1h soit entre 5 et 10 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017. Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie). Toutes les stations sont concernées avec des intensités variables. La station de La Crau du réseau STATIC montre les plus forts cumuls horaires avec 52.6 mm/1h, la station de Hyères 29.3 mm/1h (< 5 ans).



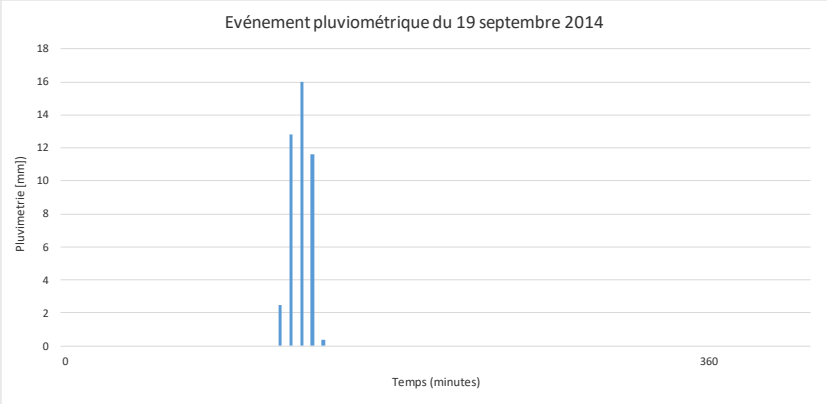


- Pas de crues significatives sur les 2 cours d'eau mais une crue sur la Reppe (Q2<Q<Q5) car la cellule est arrivée par l'Ouest.

	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	19/09/2014	19/09/2014	19/09/2014
Débit	21.1	6.72	14.5
temps de retour	Q2<Q<Q5	<<	<<

- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018). L'événement est TRES court et intense. Il s'est produit sur 24 min (cumul de 43.3 mm) avec des cumuls remarquables sur 6 min, 30 min. Période de retour : sur 6 min > 100 ans et 30 min entre 50 et 100 ans. Sur 24 h <<<2 ans.

Durée	Cumul de pluie [mm]	Période de retour [an]
6 min	16	>100
30 min	43,3	50<T<100
1h	43,3	5<T<10
2h	43,3	2<T<5
3h	43,3	2<T<5
6h	43,3	<2
12h	42,3	<2
24 h	42,3	<2



- Témoignage : " Vendredi 19 septembre en fin de matinée, un orage en V initialement formé au large des Bouches-du-Rhônes se décale vers l'Est après avoir effectué un split. C'est ainsi qu'en fin de matinée, peu avant midi que l'orage violent à caractère supercellulaire HP (High Precipitation) arrive sur l'ouest du Var et en une vingtaine de minutes ravage tout sur son passage !" https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3622-orage-supercellulaire-sur-la-garde83/?tab=comments#comment-2422523



- Evénement marquant du 16 au 19 septembre 2014 : Fortes pluies sur les Cévennes (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Fortes-pluies-sur-les-Cevennes.html) : Du 16 au 19 septembre 2014 des précipitations diluviennes touchent les départements cévenols provoquant des inondations, des coulées de boue et la disparition de 5 personnes.

7 et 11 octobre 2014

Type de pluie : Episode relativement intense (cumuls sur 3 h à Toulon entre 2 ans et 5 ans de période de retour) et étendu (centré sur le littoral et déplacement d'Est en Ouest). Cet épisode est particulier du fait de 8 jours de pluie consécutive (sol saturé).

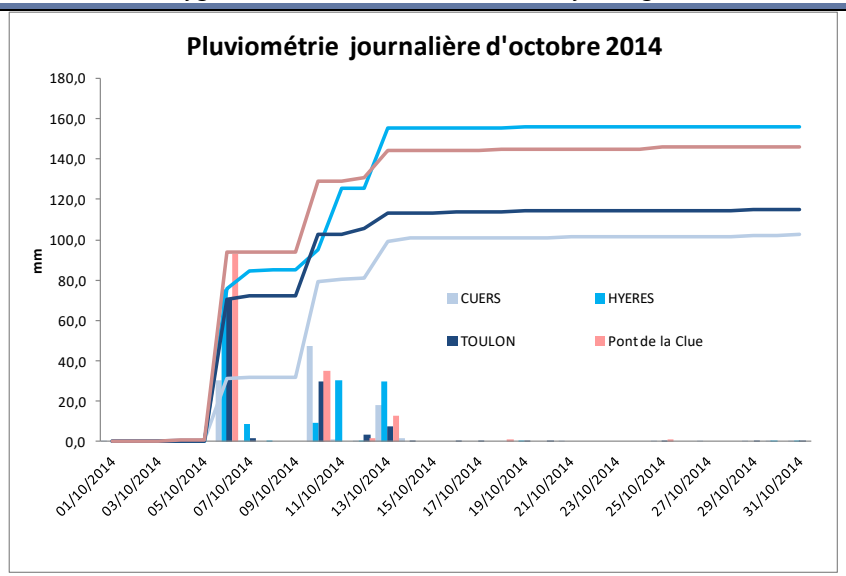
- Cumul journalier à Toulon La Mitre le 19/09/2014 : 70.2 mm en 24h (Météo-France) soit proche de 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Hyères est aussi touché.

DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET -PL	TOULON
06/10/2014	85,5	30,2	75,3	2,8	4,5	70,2
10/10/2014	26,7	47,6	9,6	25,0	19,0	30,1

- P24h=93 mm le 06/10/2014 et 35mm le 10/10/2014au pont de la Clue (Ingerop, 2017).
- Mois de septembre 2014 pluvieux (96.9 mm soit rapport à la normale de 1.6).
- Cumul sur 5 jours importants entre le 06 et le 10 octobre 2014 sur toutes les stations.

Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (2 communes du sud de la plaine). Inondation de la Plaine de la Garde liée au ruissellement. Pas de crue significative sur les autres cours d'eau.

- 07/10/2014 - Arrêté de catastrophe naturelle pour inondations et coulées de boue sur la commune de La Garde et Carqueiranne (prim net)
- 7 octobre 2014 : un orage d'un cumul de précipitation d'environ 70 mm s'abat sur La Garde et la plaine au sud de la voie ferrée est inondée. Le 11 octobre, un second orage s'abat et des inondations se produisent à nouveau compte-tenu de la saturation des sols (Ingerop, 2015).
- "L'événement du 11 octobre 2014 est particulier dans la mesure où cet événement est d'une occurrence fréquente, mais qu'il survient 4 jours après un événement d'occurrence supérieure. Bien qu'il y ait eu une accalmie sur les 3 jours précédant la pluie du 11 octobre, les sols étaient encore saturés par l'événement important du 7 octobre. Cela explique les inondations observées lors de cet événement pourtant fréquent" (Ingerop, 2015).
- Témoignage : "le Plan de La Garde qui a pris l'eau mais rien d'exceptionnel (les cours d'eau ont par endroit débordé dans les champs comme La Planquette et l'Argoutier, l'Eygoutier lui n'a pas débordé mais n'était pas loin d'après un habitant du coin). Puis le samedi 11 octobre. la ville est plongée dans le noir. La Vieille Garde sous une arche avec les escaliers qui se sont transformés en cascade, une plaque d'égout s'est soulevée et de l'eau jailli à facile 20cm de haut.



- L'événement s'est produit sur plusieurs heures (10h) dans la nuit du 6 au 7/10/2014 Les cumuls horaires sont importants sur les stations du Littoral ; à Toulon la Mitre : 27 mm/1h soit proche de 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017. Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie). Les cumuls sur 3 h à Toulon (43 mm/3h) sont entre 2 ans et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Les maximums de pluie sont décalés de 1 h sur Hyères.

	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Hyeres
	Cap Cepet	La Mitre	La Palyvestre
CUMUL sur l'événement	85,9	71	83,8
1 h	**28,7**	**27**	**29,6**
2 h	47,1	33	55,5
3 h	52,8	43	62
6h	75,3	57	70,9
12h	85,9	71	83,8

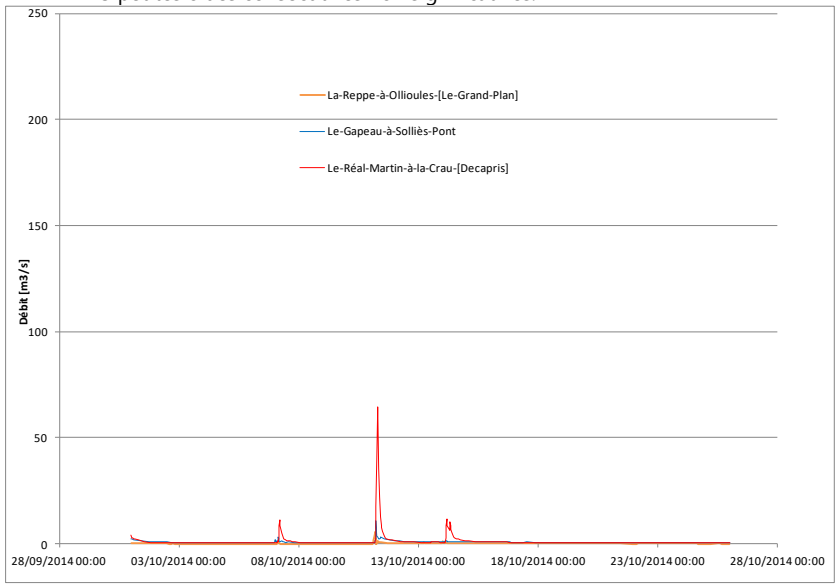
L'événement dans la nuit du 6 au 7/10/2014

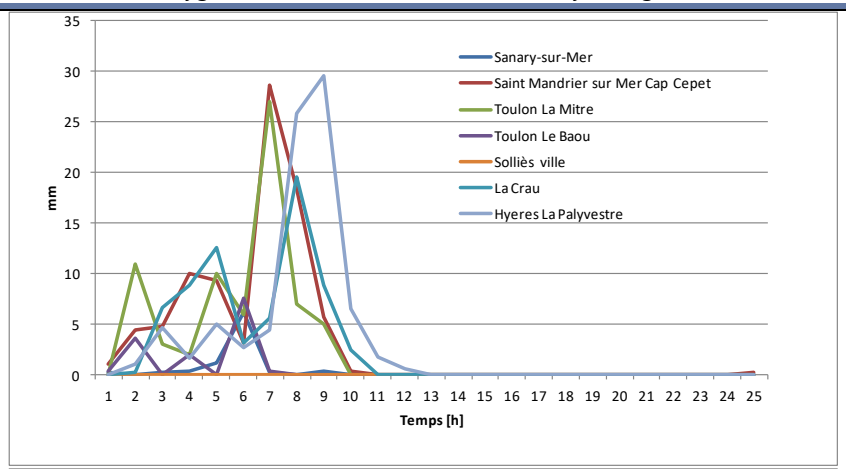
Le 11 octobre chemin de la foux : Premier pont du chemin de la Foux transformé en île !

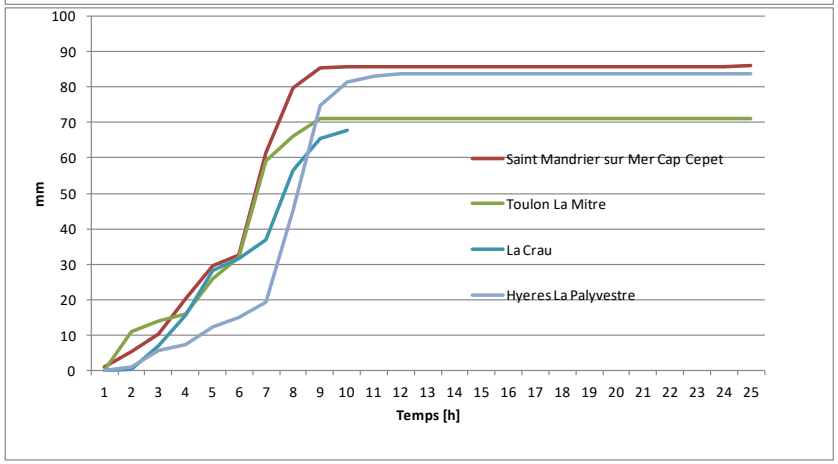


https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3348-inondations-du-07-et-11-octobre-2014-%C3%A0-la-garde/?tab=comments#comment-2435187

- 3 petites crues consécutives non significatives.







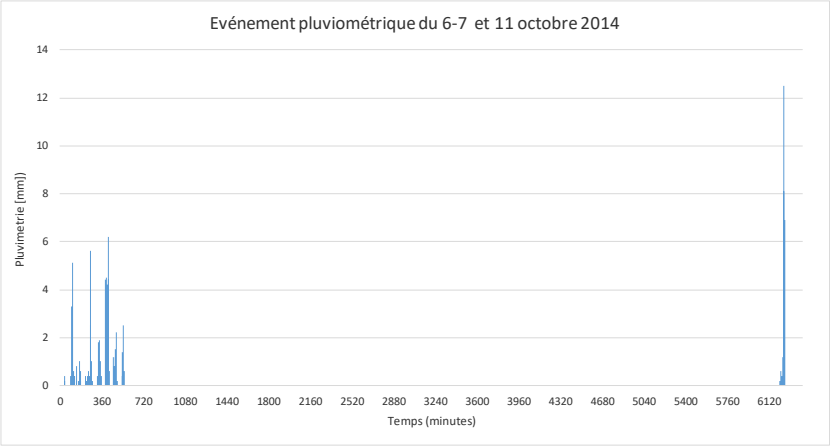
- La pluviométrie des deux événements (nuit du 6 au 7 octobre te 11 octobre) a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018) .
  L'événement de la nuit du 6 au 7 octobre long et peu intense. Il s'est produit sur 12 h (cumul de 70.8 mm). Période de retour entre 2 et 5 ans. Sur 24 h <2 ans.

Durée	Cumul de pluie [mm]	Période de retour [an]
6 min	6,2	<2
30 min	22	2<T<5

1h	27	~2 ans
2h	34,1	2<T<5
3h	43	2<T<5
6h	58,2	2<T<5
12h	70,8	2<T<5
24 h	70,8	<2

- L'événement du 11 octobre est en revanche est très court et intense. Il s'est produit sur 2 h (cumul de 29.9 mm). Les cumuls sont remarquables sur 6 min 20<T<30 ans. (11/10/2014 05:12)

Durée	**Cumul de pluie [mm]**	**Période de retour [an]**
6 min	12,5	20<T<30
30 min	29,1	5<T<10
1h	29,9	2<T<5
2h	29,9	<2
3h	29,9	<2
6h	29,9	<2
12h	29,9	<2
24 h	39,4	<2



- Témoignage : " Une chasse à l'orage dans la nuit du 06 au 07 octobre 2014 qui a fini en chasse aux inondations."" Au total, à La Garde, on a cumulé 63.4mm". https://forums.infoclimat.fr/f/topic/3348-inondations-du-07-et-11-octobre-2014-%C3%A0-la-garde/?tab=comments#comment-2435187
- https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-295-episode-pluvio-orageux.html#3 - Mardi 7 oct. 2014, 00 :05

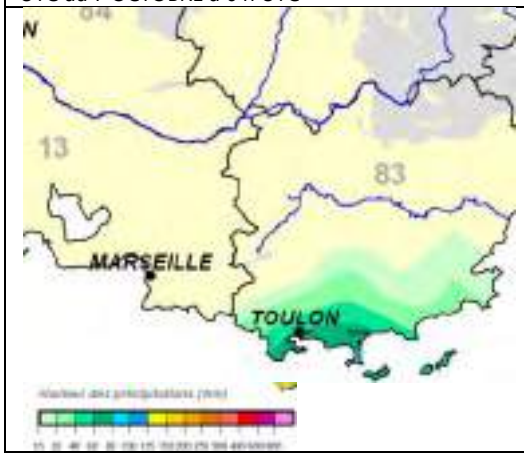


Mardi 7 oct. 2014, 07:20

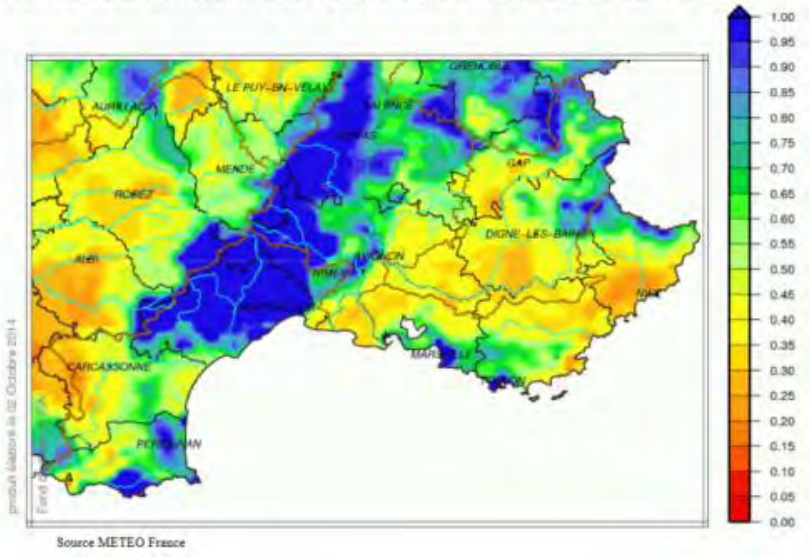
- Sur le Var, le littoral s'étendant de Toulon à St Tropez est soumis à de fortes précipitations, localement orageuses. **En l'espace d'une heure, il est tombé 28.7mm au Cap Cépet (83) et 10.8mm à Cuers (83).**



- Mardi 7 oct. 2014, 13:08 : Les pluies orageuses qui concernaient encore le Var ce matin, se sont évacuées en Méditerranée.
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 6 OCTOBRE 2014 à 6 h UTC au 7 OCTOBRE à 6 h UTC	
	

- Indices d'humidité des sols au 01 Novembre 2014 (dreal) http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydro-octobre-2014-a8255.html

<table>
<tr>
<td></td>
<td>Données météorologiques : Indices d'humidité des sols au 01 Octobre 2014


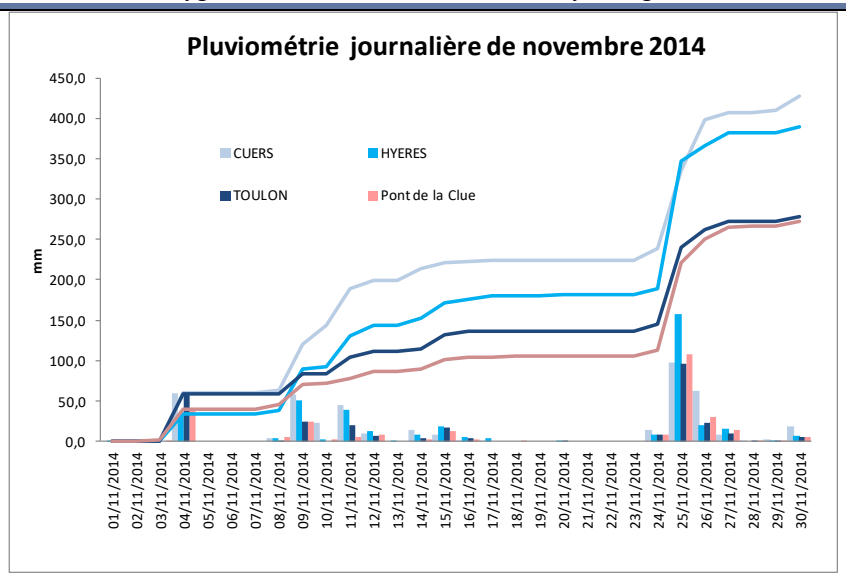
Source METEO France</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>25 novembre 2014</td>
<td>Type de pluie : Episode exceptionnelle par son ampleur géographique (centré plus au nord-est) et ses intensités. Episode remarquable sur le bassin de l'Egoutier par sa durée (cumul sur 4 jours remarquable) et ses intensités (à Hyères, cumuls 1h entre 5 et 10 ans de période de retour et sur 6h et 12h entre 30 et 50 ans de période de retour à Hyères).Cette épisode s'inscrit dans un mois de novembre et un automne qui furent exceptionnellement pluvieux sur le quart sud-est de la France (sol saturé)

Cumul journalier à Toulon La Mitre le 25/11/2014: 95.6 mm en 24h (Météo-France) soit entre 2 et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). <u>Record pluviométrique à Hyères</u> <u>avec 157.8 mm en 24h (soit plus que T= 30 ans - statistiques Météo-France).</u> Toutes les stations présentent des cumuls importants.

<table>
<tr><th>DATE</th><th>CAP CEPET</th><th>CUERS</th><th>HYERES</th><th>LE CASTELLET</th><th>LE CASTELLET-PL</th><th>TOULON</th></tr>
<tr><td>25/11/2014</td><td>101,7</td><td>97,1</td><td>157,8</td><td>64,9</td><td>45,5</td><td>95,6</td></tr>
</table>

Cumul sur 4 jours importants entre le 24 et le 27 novembre 2014 sur toutes les stations. Antécédent pluviométrique de 8.6 mm en 24h à Toulon (le 24/11/2014)
P24h=108 mm le 25/11/2014 au pont de la Clue (Ingerop, 2017).
</td>
<td>Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (4 communes de la plaine). Inondation remarquable de la <u>plaine de la Garde</u>, débordements remarquables de l'Eygoutier et de la Planquette dans les zones urbanisées. Les deux cours d'eau au nord-est sont touchées (avec la plus forte crue enregistrée sur le Le-Réal-Martin-à-la-Crau - Q5<Q<Q10).

25/11/2014 - Arrêté de catastrophe naturelle pour inondations et coulées de boue sur la commune de Le Pradet, La Crau, La Garde et Carqueiranne (prim net)
Des photographies de l'événement et du niveau de la Planquette sont disponibles (Ingerop, 2015).
Témoignage : " Avant toute chose, il faut savoir que La Garde, dans le Var, est en temps normal, une zone inondable surtout le Plan de La Garde qui -est une zone humide- se retrouve dans une cuvette entourée de collines. Mais cette inondation là, n'est pas commune, certaines caractéristiques font que ça fait des années que le Plan n'a pas été inondé comme ce jour-ci. Des habitants du Plan ont été inondés or il y a bien longtemps que ce n'était plus le cas et l'eau a dépassé le pont des voies ferrées à l'entrée du chemin de la Foux ce qui veut dire que l'inondation a touché la partie urbaine de la ville !" L'inondation référence de La Garde étant celle du 17 janvier 1978 qualifiée de centennale où dans la nuit du 16 au 17 il est tombé un véritable déluge. En 24h, il est tombé 160mm (équivaut à 160L/m²). La plaine de La Garde a été inondée pendant 18 jours. Dans le Plan, 300ha était sous les eaux et l'eau est allé jusque dans le centre-ville !https://forums.infoclimat.fr/f/topic/2888-36-ans-quon-na-pas-vu-%C3%A7a/?tab=comments#comment-811623
</td>
</tr>
</table>



- La différence de cumul sur 4 jours est importante entre Hyères et Toulon (65 mm).

Cumul (mm)	CAP CEPET	CUERS	HYERES	TOULON	Pont de la Clue
24/11/2014	9,4	14,5	7,6	8,6	8,0
25/11/2014	111,1	111,6	165,4	104,2	116,0
26/11/2014	132,1	173,8	184,9	126,6	146,0
27/11/2014	141,9	182,8	201,1	135,7	160,0

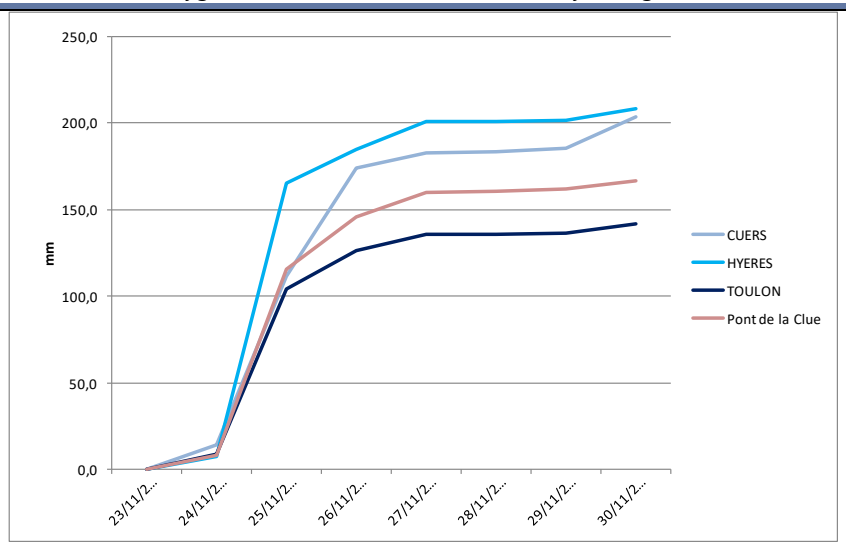
" , l'Eygoutier déborde complètement tout comme l'Argoutier, la Planquette aussi."
" Si on prend cas par cas (fréquence des maisons inondées), c'est l'inondation la plus importante depuis 36 ans !"



Vue du Rocher de La Garde
http://une-vie-un-instant.e-monsite.com/pages/nature/meteorologie/pluie-inondations/inondations-historiques-a-la-garde-83-26-novembre-2014.html

- 3 crues successives, celles du 25-27 sont multi-pics. La crue la plus forte de la Reppe est en décembre. La plus forte est sur le Le-Réal-Martin-à-la-Crau.

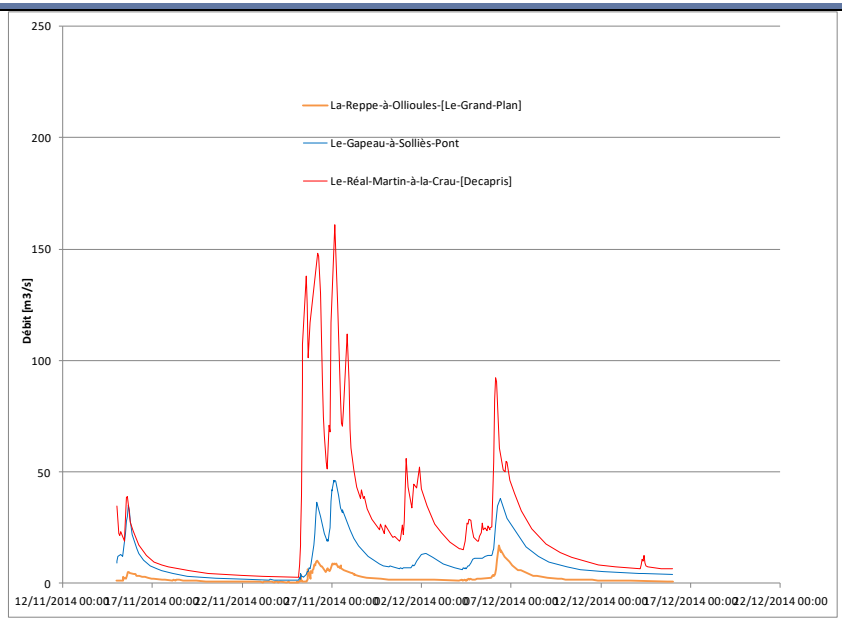
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	26/11/2014	27/11/2014	27/11/2014
Débit	9,99	46,4	161
temps de retour	<<	Q2<Q<Q5	Q5<Q<Q10



- Le record 6 h à la station de HYERES est de 106.8 mm le 25/11/2014 (Météo France), soit entre 10 et 20 ans (Statistiques Météo France). Le record 12 h à la station de HYERES est de 136.9 mm le 25/11/2014 (Météo France), soit proche de 20 ans (Statistiques Météo France)

- La pluviométrie de l'événement a été acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes du 4 nov. 2014 à 06:00 au 28 nov. 2014 à 06:54 (HYDRETUDES, 2018). L'événement est long avec de très fortes intensités sur 30 min (plus de 100 ans de période de retour). Le cumul horaire est significatif avec 135.7 mm.

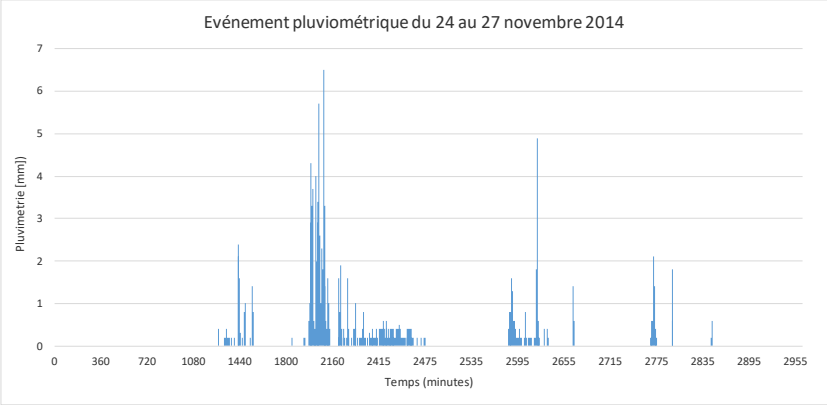
Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]
6 min	6,5	<2
30 min	**52,1**	**>100**
1h	52,9	20<T<30
2h	55,5	5<T<10
3h	60,4	5<T<10
6h	99,1	10<T<20
12h	122,7	20<T<30
24 h	135,7	10<T<20



- Indices d'humidité des sols au 01 Novembre 2014 (dreal)

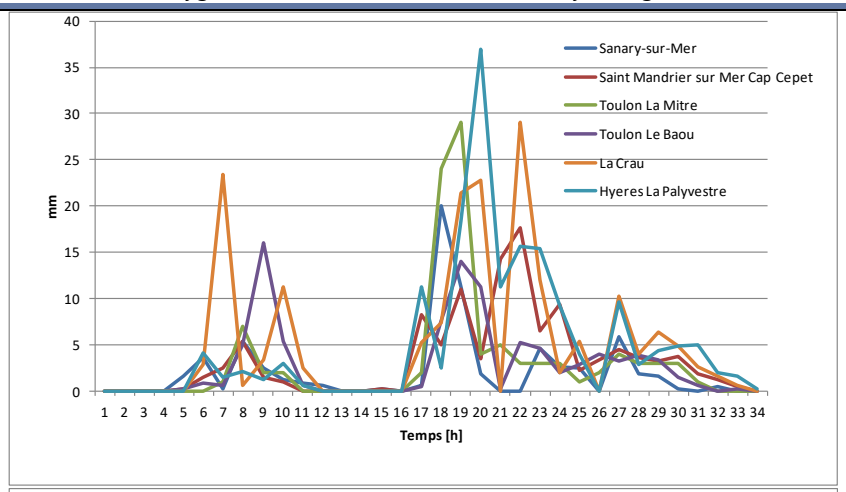


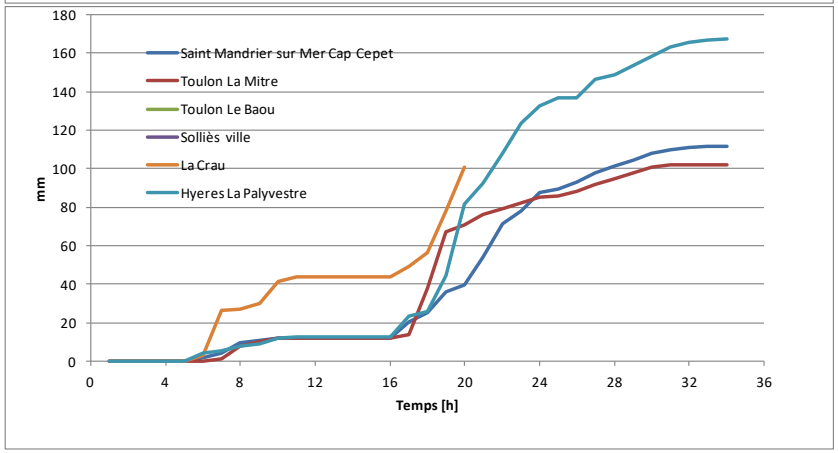
http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/bulletin-hydro-octobre-2014-a8255.html



- L'événement s'est produit sur deux pluies le 24/11/2014 (6h) et 25 /11/2014 (14 h). Les cumuls horaires sont importants sur les stations du Littoral ; notamment à Hyères : 36.9 mm/1h le 25/11/2014 à 19:00 soit entre 5 et 10 ans de période de retour . Les cumuls sur 6h et 12h sont entre 30 et 50 ans de période de retour (statistiques Hyères Ingerop, 2017). A Toulon, le cumul horaire est plus faible de 29 mm 25/11/2014 18:00 (soit entre 2 ans et 5 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). . Les cumuls sur 2h, 3 h à Toulon (53 et 57 mm) sont entre 5 ans et 10 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Les maximums de pluie sont décalés de 1 h sur Hyères. Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie).

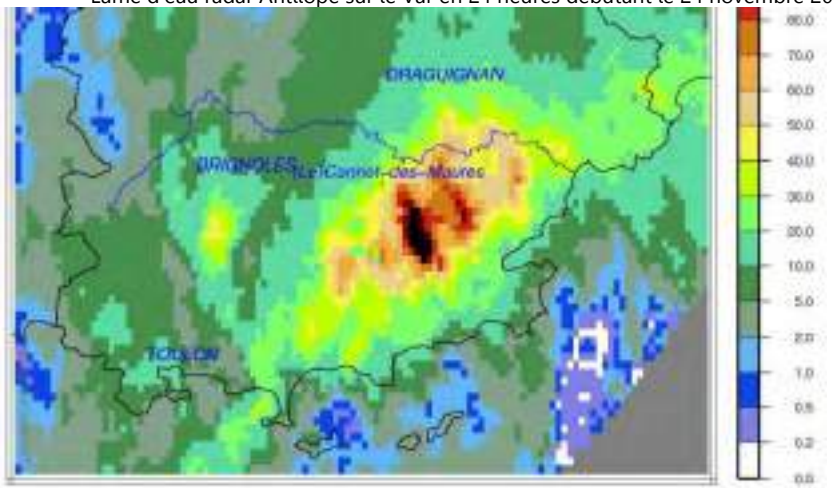
	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Toulon	La	Hyeres
	Cap Cepet	La Mitre	Le Baou	Crau	La Palyvestre
CUMUL sur l'evenement	111,5	102	93,2	179,2	167,2
1 h	17,6	29	14	29	36,9
2 h	31,9	53	25,2	44,2	55,3
3 h	38,4	57	32,8	51,6	66,5
6h	62,3	68	42,8	-	106,7
12h	92,4	86	63,4	-	141,1





- Evénement marquant du 25 au 27 novembre 2014 - Pluies orageuses sur le Var (http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Pluies-orageuses-sur-le-Var.html) : L'épisode méditerranéen qui a touché l'Aude le 24 novembre 2014 s'est décalé vers l'est pour concerner le Var dans la nuit du 24 au 25 jusqu'au 28 provoquant d'importantes inondations et la disparition de 3 personnes.
  Intensités remarquables : à la station de Hyères 158.2 mm en 24 h dont :
  37.2 mm en 1 h, entre 5 et 10 ans de période de retour*
  27.7 mm en 30 min. entre 5 et 10 ans de période de retour*
  Ces précipitations se sont produites sur des sols très saturés par les pluies des semaines précédentes, amplifiant le ruissellement. En effet du 8 au 23 novembre ces zones ont déjà reçu plus de 200 mm (267 mm à Bormes-les-Mimosas, où le cumul mensuel moyen pour un mois de novembre est de 117mm). Voir sur le site "Animation des cumuls quotidiens du 24 au 27 novembre 2014."

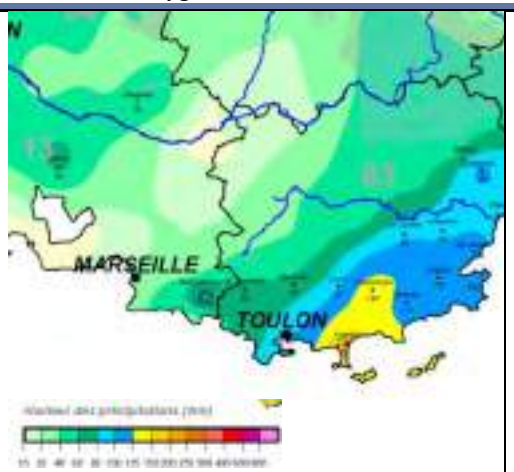
Lame d'eau radar Antilope sur le Var en 24 heures débutant le 24 novembre 2014 à 6 H UTC

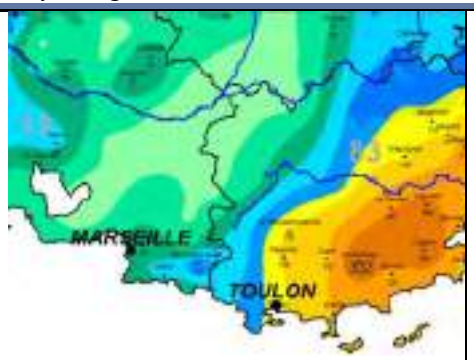


NB : cumul du 24 Novembre 2014 à 6h00 UTC au 25 Novembre 2014 à 6h00 UTC

- Témoignage : "Le mardi 25 novembre 2014, dans l'après-midi, de la pluie parfois orageuse s'est formée non loin des côtes Sud varoises et a commencé à nous toucher vers 15h. Des averses soutenues voire même du déluge se sont succédées sans discontinuer jusqu'au lendemain matin vers 7h !" A La Garde, rien que pour la journée du mardi 25 novembre, nous avons cumulé plus de 100mm de pluie avec le plus gros du cumul de 15h à 00h. https://forums.infoclimat.fr/f/topic/2888-36-ans-quon-na-pas-vu-%C3%A7a/?tab=comments#comment-811623
- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 25 NOVEMBRE 2014 à 6 h UTC au 26 NOVEMBRE à 6 h UTC	Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 4 jours du 24 NOVEMBRE 2014 à 6 h UTC au 28 NOVEMBRE à 6 h UTC





Maxi.	Dép.	Lieu
158 mm	83	HYERES

05/12/2014

Type de pluie : Episode relativement intense (cumuls sur 6h, 12 h à Hyères entre 5 ans et 10 ans de période de retour) et étendu (centré sud-Est) faisant suite à un mois de novembre très pluvieux

- Cumul journalier à Toulon La Mitre le 25/11/2014: 75.5 mm en 24h (Météo-France) soit proche de 2 ans de période de retour (statistiques Toulon la Mitre Ingerop, 2017). Toutes les stations présentent des cumuls importants, notamment Hyères avec 93 mm en 24h proche de 5 ans de période de retour (statistiques Hyères Ingerop, 2017).

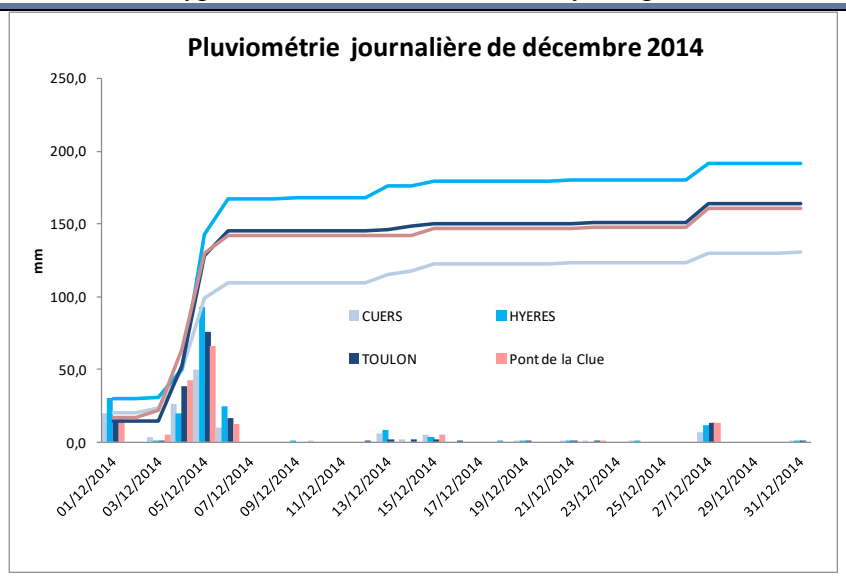
DATE	CAP CEPET	CUERS	HYERES	LE CASTELLET	LE CASTELLET-PL	TOULON
05/12/2014	83,0	50,0	93,0	50,0	48,5	75,5

- Cumul sur 3 jours importants entre le 4 et le 6 décembre 2014 sur toutes les stations faisant suite à un mois de novembre très pluvieux (130.5 mm en 3 jours à Toulon).
- Cumul de 66 sur 24h et 108 mm sur 2 jours à la station de Pont de Clue (Ingérop, 2017).

Type de crue : Arrêté de catastrophe naturelle (Pradet et La Crau). Peu d'information. Des crues sur les cours d'eau de la région du Sud-Est et Ouest pour La Reppe et le Réal Martin-à-la-Crau (Q2<Q<Q5).

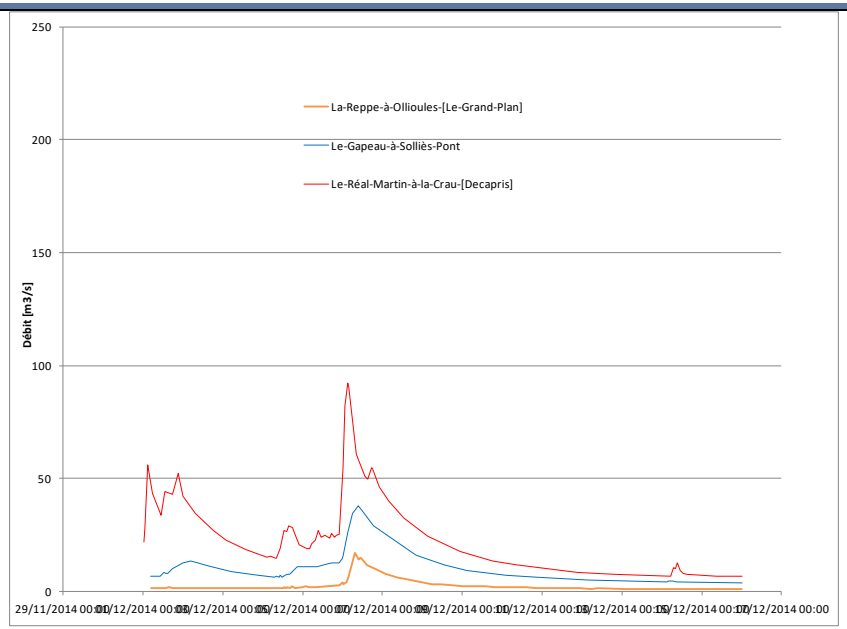
- 04 au 6/12/2014 - Arrêté de catastrophe naturelle : inondations et coulées de boue sur les communes de Le Pradet et la Crau (prim.net). NB : C'est le même Arrêté de catastrophe naturelle que celui du 25/11 (04/12/2014-05/12/2014)
- Des crues sur les cours d'eau de la région du Sud-Est et Ouest pour La Reppe et le Réal Martin-à-la-Crau (Q2<Q<Q5).

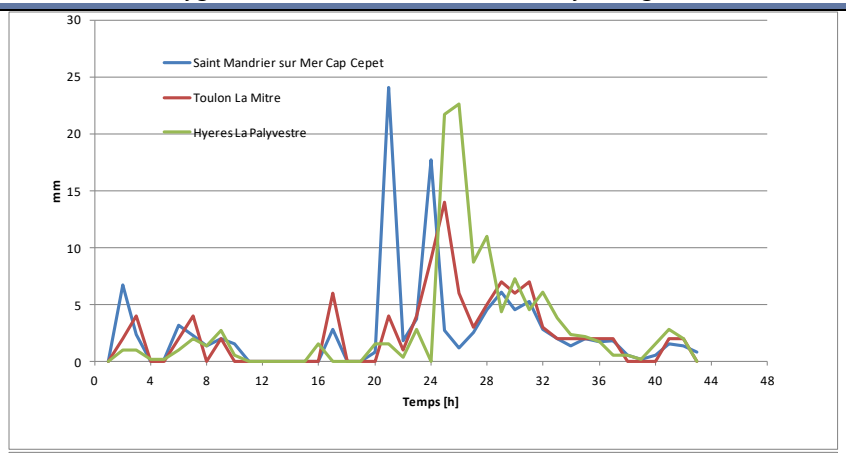
	La-Reppe-à-Ollioules	Le-Gapeau-à-Solliès-Pont	Le-Réal-Martin-à-la-Crau
Date	06/12/2014	06/12/2014	06/12/2014
Débit	17,1	38,1	92,2
temps de retour	Q2<Q<Q5	<<	Q2<Q<Q5

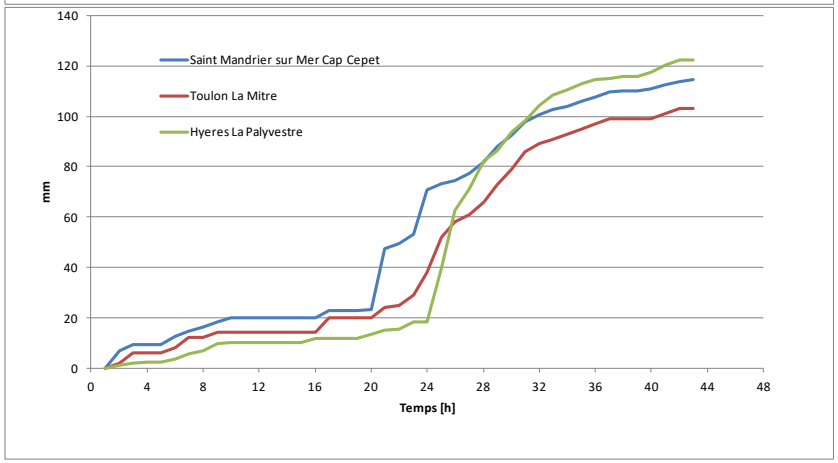


- L'événement s'est produit sur entre le 5 et le 6 décembre sur 24h. Les cumuls horaires sont peu importants (<25 mm en 1h). Ce sont les cumuls sur 6h, 12 h à Hyères qui sont significatifs 75.5 mm soit entre 5 et 10 ans (statistiques Hyères Ingerop, 2017). Les maximums de pluie sont décalés sur Hyères. Données horaires infoclimat (http://www.infoclimat.fr/climatologie).

	Saint Mandrier sur Mer	Toulon	Hyères
	Cap Cepet	La Mitre	La Palyvestre
CUMUL sur l'evenement	94,9	89	112,3
1 h	24,1	14	22,6
2 h	25,9	23	44,3
3 h	29,6	29	53
6 h	51,2	44	75,7
12 h	79,2	71	97,6

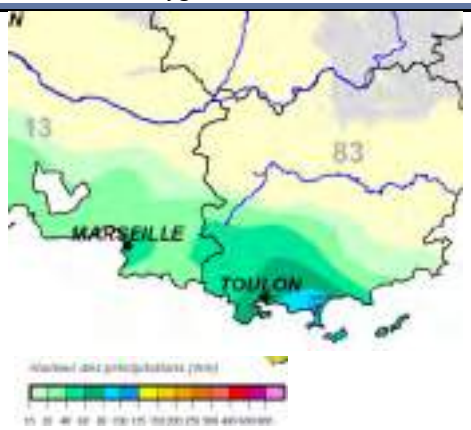


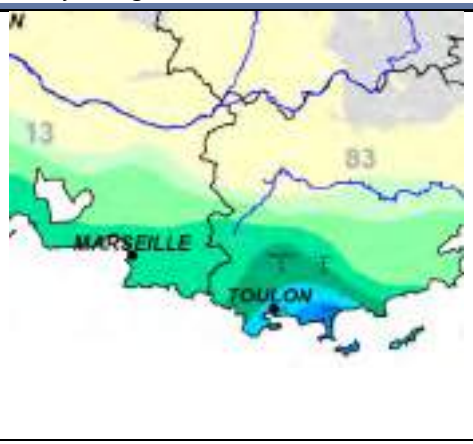




- Pluies extrêmes en France métropolitaine (http://pluiesextremes.meteo.fr)

Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 5 DECEMBRE 2014 à 6 h UTC au 6 DECEMBRE à 6 h UTC	Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 2 jours du 5 DECEMBRE 2014 à 6 h UTC au 7 DECEMBRE à 6 h UTC





Données météorologiques : Indices d'humidité des sols au 01 Décembre 2014



http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Bulletin_hydro_paca_Novembre_2014_cle0914c7.pdf

HYDRETUDES
Ingénierie de l'eau - Maîtrise d'oeuvre

Siège social – Centre technique principal

815, route de Champ Farçon
74 370 ARGONAY
Tél : 04.50.27.17.26
Fax : 04.50.27.25.64
contact@hydretudes.com

Agence Alpes du Nord
Alpespaces
50, Voie Albert Einstein
73 118 FRANCIN
Tél : 04.79.96.14.57
Fax : 04.70.33.01.63
contact-savoie@hydretudes.com

Agence Alpes du Sud
Bât 2 – Résidence du Forest d'entrais
25, rue du Forest d'entrais
05 000 GAP
Tél : 04.92.21.97.26
Fax : 04.92.21.87.83
contact-gap@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence
41 bis avenue des Allobroges
26 100 ROMANS SUR ISERE
Tél : 04.75.45.30.57.
Fax : 04.75.45.30.57
contact-romans@hydretudes.com

Agence Grand Sud-Pyrénées
Immeuble Sud América
20, bd. de Thibaud
31 100 TOULOUSE
Tél : 05.62.14.07.43
Fax : 05.62.14.08.95
contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Océan Indien
45 rue luc lorion
97 410 SAINT PIERRE
Tél : 02.62.96.82.45
Fax : 02.62.32.69.05
contact-reunion@hydretudes.com

Maitre d'ouvrage :
Syndicat de Gestion de l'Eygoutier
Mairie de la Garde -BP 121
83957 LA GARDE Cedex

Étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents.

Approche hydraulique et morphologique en lien avec le milieu

PHASE 3 : VOLET HYDROLOGIE (DE LA PLUIE AU DEBIT)

HYDRETUDES



Rapport PHASE 3.2

« Débits caractéristiques (étiage, module, crues) »

N° d'Affaire : 17-16
Version 4.0
Avril 2020

INGÉROP
GÉORIVES

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage : Syndicat de Gestion de l'Eygoutier

Affaire : Étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents, approche hydraulique et morphologique en lien avec le milieu

N° 17-016

PHASE 3 : Volet Hydrologie (de la pluie au débit)

Emetteur : HYDRETUDES - Alpes du Nord

Alpespace Bât. Alpamayo 429 avenue Léonard de Vinci

73800 SAINTE HELENE DU LAC

04 79 96 14 57

contact-savoie@hydretudes.com

Document : Rapport - PHASE 3.2

« Débits caractéristiques (étiage, module, crues) »

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	28/09/2018	07/12/2018	Cécile Picouet	Benoit Chapon
2	01/04/2019		Cécile Picouet	Didier Clément
3	13/03/2020		Cécile Picouet	Didier Clément
4	30/04/2020		Cécile Picouet	Didier Clément
5				

SOMMAIRE

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT 2
SOMMAIRE 3
FIGURES 4
TABLEAUX 8
1 AVANT PROPOS 10
1.1 Rappel du contexte de l'étude 10
1.2 Rappel du cadre physique 10
2 MODULE ET ETIAGE 13
2.1 Type de données disponibles 13
2.1.1 Données ponctuelles de jaugeages 14
2.1.2 Données des études antérieures 14
2.1.3 Données de stations hydrométriques voisines 15
2.1.4 Données régionales 16
2.2 Débits caractéristiques aux sites d'étude 17
2.2.1 Module 18
2.2.2 QMNA5 20
2.3 Synthèse et conclusion 22
3 REFERENTIEL PLUVIOMETRIQUE 23
3.1 Contexte pluviométrique global 23
3.2 Analyse statistique des pluies 25
3.2.1 Données collectées 25
3.2.2 Comparaison des données statistiques locales 29
3.2.3 Courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier 30
3.3 Pluie de projet de références 33
3.3.1 Intensité Formes/durées de pluie des pluies historiques 33
3.3.2 Spatialisation de la pluie 39
3.4 Synthèse et conclusions 40
4 MODELISATION HYDROLOGIQUE 43
4.1 Principe de la modélisation hydrologique : Le modèle MESRI 43
4.2 Les grandes étapes 43
4.2.1 La fonction de production 43
4.2.2 La fonction de transfert géomorphologique 44

4.3 Données de base pour la construction du modèle....48
4.3.1 Le Modèle Numérique de Terrain....48
4.3.2 Occupation du sol....50
4.3.3 Couple pluie-débit mesuré....51
4.4 Construction du modèle....62
4.4.1 Calcul des cheminements hydrologiques....62
4.4.2 Fonction de production....64
4.5 Calage du modèle....64
4.5.1 Principe et hypothèses du calage....65
4.5.2 Paramètres retenus....65
4.6 Exploitation du modèle....67
4.6.1 Conditions amont du modèle hydraulique (points d'injection)....67
4.6.2 Points de calculs et sous-bassins versants homogènes....68
4.6.3 Pluies modélisées pour les besoins de l'étude hydraulique (PHASE 4)....69
4.6.4 Débits et hydrogrammes des évènements historiques de calage....70
4.6.5 Débits et hydrogrammes résultants pour les pluies de référence....73
4.6.6 Comparaison des 2 crues de référence....75
4.6.7 Comparaison avec les résultats précédents....81
5 REFERENCES....87
5.1 Référence bibliographiques citées....87
5.2 Etudes antérieures....87
6 ANNEXES....89
6.1 Module et QMNA5....89
6.2 Débits de crue....91

FIGURES

Figure 1: Carte du réseau hydrographique (issus de la PHASE 1)....12
Figure 2: Carte du réseau hydrographique et découpage en 79 sous-bassins versants (issus de la PHASE 1)....12
Figure 3: Position des exutoires et des sous bassins versants d'intérêt identifiés dans la PHASE 2 pour le calcul des modules et étiages....13
Figure 4 : Cartographie des stations de référence utilisées pour caler les modèles (stations pas ou peu influencées)....16
Figure 5 : Localisation des tronçons des cours d'eau concernés par la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 »....17

Figure 6 : Relation entre le module et la superficie basée la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » 18

Figure 7 : Relations entre le module et la superficie basées sur les stations hydrométriques 19

Figure 8 : Relations entre le QMNA5 et la superficie basée la« cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » 21

Figure 9 : Relation entre le QMNA5 et la superficie basées sur les stations hydrométriques 21

Figure 10. Répartition des précipitations moyennes interannuelles (2007-2017) sur les 5 stations météo-France 24

Figure 11. Evolution des cumuls de précipitations annuels de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France 24

Figure 12. Moyenne des précipitations mensuelles de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France 25

Figure 13 : Localisation de la station pluviométrique de Toulon La Mitre (83137001) du réseau Météo-France et des autres données utilisées pour les pluies de projet. 26

Figure 14. Comparaison des quantiles de précipitations à Hyères et au mont Coudon (SHYREG) avec ceux de Toulon pour chaque temps e retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt 30

Figure 15. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issue des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG). 31

Figure 16. Comparaison avec les courbes IDF des études antérieures pour différents temps de retour (10 ans et 100 ans) 32

Figure 17. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement du 3 au 9 octobre 2011 (Type 1) 34

Figure 18. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 h sur l'événement à Toulon et Hyères pour l'Evénement pluviométrique typique de ce type d'événement est l'événement de 1978 (Type 2) 34

Figure 19. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 6 min à la station de Toulon la Mitre pour l'Evénement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006 (type 3) 35

Figure 20 : Scenarios de pluies de référence type 2(1978) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 6 min. 36

Figure 21. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier et pluie de projet Type 2 37

Figure 22 : Scenarios de pluies de référence type 3 (2006) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare plus que centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 1 et 6 min 38

Figure 23. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier et pluie de projet Type 1 38

Figure 24. Exemple de distribution spatiale des cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (1978 et 2011) (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)....39

Figure 25. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-293-archive.html#20 et 21)....40

Figure 26 : Forme des pluies de référence Type 2 et Type 3....41

Figure 27. Caractéristiques statistiques des deux pluies de projets de référence....42

Figure 28: Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit....44

Figure 29 : Schéma de principe du transfert géomorphologique (vue 3D)....45

Figure 30 : Schéma de calcul des distances de parcours dans les réseaux et sur les versants....46

Figure 31 : Exemple de courbe % Aire contributive-Temps de concentration. Ici le résultat présente pour un même bassin versant deux courbes extrêmes suivant un transfert lent (en bleu) et un transfert rapide (en rouge) sur le bassin versant....47

Figure 32 : MNT (10m) du bassin versant de l'Eygoutier et réseau final MESRI....49

Figure 33 : Exemple des traitements 1 et 2 du MNT (sous-bassin versant n°66-Planquette)....49

Figure 34 : Occupation du sol – Corine Land Cover 2014....50

Figure 35 : Evolution de l'occupation du sol (PHASE 1)....51

Figure 36. Débit de l'Eygoutier, au niveau de l'exutoire entre 2003 et 2005 (Nicolau, 2005)....52

Figure 37. Localisation de la station à l'entrée du Tunnel de Lamalgue (Ducros, 2014)....52

Figure 38. Débit de l'Eygoutier, au niveau de l'exutoire entre 2012 et 2013 (Ducros, 2014).....53

Figure 39. Section en travers pour le calcul des débits au pont de Bazeille (géométrie considérée – source L. Ducros)....53

Figure 40. Evolution des débits centrés-réduits pour les 20 événements de crues enregistrés au pont de Bazeille....54

Figure 41. Corrélations, par type de crue, entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques (ΔT = 6min)....54

Figure 42. Relation entre Débits de pointe et pluies horaires pour les deux types de données de débits....55

Figure 43 : Carte des distances sur versant issues du MNT 10 m....63

Figure 44 : Carte des distances dans le réseau hydrographique issues du MNT 10 m....63

Figure 45 : Régionalisation du paramètre de surface en fonction de la valeur du CLC....64

Figure 46 : Comparaison des débits observés (en rouge) et calculés (en bleu) pour les deux crues de calage du 10 et 11 octobre 2012....66

Figure 47 : Comparaison des débits observés (en rouge) et calculés (en bleu) pour la crue de calage de septembre 2013....67

Figure 48 : Localisation des 79 sous bassins versants homogènes identifiés dans la PHASE 1 pour le calcul des hydrogrammes de crue 68

Figure 49 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement du 8 septembre 2013 70

Figure 50 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement du 24 au 25 septembre 2006 70

Figure 51 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour l'événement du 24 au 25 septembre 2006 72

Figure 52 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour l'événement du 8 septembre 2013 (n°23) 72

Figure 53 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de type 2 (1978) – Pluie longue 24h de temps de retour 100 ans. 73

Figure 54 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de type 3 (2006) – Gabarit pluie DDTM 73

Figure 55 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour la pluie de projet type 2 24 h (Type 2 - 1978) 74

Figure 56 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour la pluie de projet type 3 (Type 3 – DDTM 2006) 74

Figure 57 : Comparaison des débits de pointe modélisés (m3/s) pour les deux pluies de projet 76

Figure 58. Relation entre les estimations obtenues pour les deux pluies de projets (type 1978, P100 sur 24h et type 2006, Gabarit DDTM sur 2h) 76

Figure 59. Relation entre la différence d'estimations obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et la surface des unités hydrologiques homogènes 77

Figure 60. Relation entre la différence d'estimations obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et 1) la surface ou 2) le pourcentage de zone urbaine des unités hydrologiques homogènes 77

Figure 61 : Débits spécifiques pour la pluie de projet DDTM 2006 pour les 79 sous-bassins versants de l'étude 78

Figure 62 : Comparaison des surfaces inondées (km²) modélisées pour les deux pluies de projet 78

Figure 63. Relation entre la différence en m² de surfaces inondables obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et a) le pourcentage de zone urbaine et b) le dénivelé spécifique des unités hydrologiques homogènes 79

Figure 64. Relation pour l'échantillon n°1 et n° 2 entre la différence en m² de surfaces inondables obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et 1) le pourcentage de zone urbaine et 2) des unités hydrologiques homogènes 80

Figure 65 : Comparaison des 2 scenarios de pluies de références au pont de Bazeille 81

Figure 66 : Comparaison pour quelques points de contrôles des résultats issues de la modélisation hydrologique MESRI (crue historiques 2006, pluie de projet 24h (1978) et pluie DDTM 2006) avec les études antérieures. 82

Figure 67 : Comparaison de l'hydrogramme « hydrologique » modélisé au pont de la Clue pour la pluie de référence 24h avec ceux issus de la PHASE 4 de modélisation hydraulique (53 hydrogrammes « hydrologiques » injectés) 85

Figure 68 : Comparaison de l'hydrogramme « hydrologique » modélisé au pont de la Clue pour la pluie de référence DDTM 2h avec ceux issus de la PHASE 4 de modélisation hydraulique (53 hydrogrammes « hydrologiques » injectés) 86

TABLEAUX

Tableau 1 – Données ponctuelles de jaugeages 14

Tableau 2 – Données des études antérieures 15

Tableau 3 – Liste des stations hydrométriques (en service ou arrêtées/abandonnées), modules et débits caractéristiques de basses eaux (BANQUE HYDRO) 15

Tableau 4 – Débits caractéristiques module (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul et des stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO. 19

Tableau 5 – Débits caractéristiques d'étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul et des stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO. 22

Tableau 6 – Débits caractéristiques module et étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul 23

Tableau 7. Quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) - Méthode du renouvellement au poste météorologique de Toulon pour la période 1971 - 2012 et base SHYREG pluie pour T = 2 ans 27

Tableau 8. Quantiles de précipitation pour Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) - méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique de Hyères pour la période 1982−2016 (statistiques pour t=6min à 12h) et sur la période 1977−2014 (statistiques t= 24h) 28

Tableau 9. Quantiles de précipitation recueillis - base SHYREG-pluie 29

Tableau 10. Ajustement de Montana pour les quantiles de précipitations représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issu des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG). 31

Tableau 11. Quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (en bleu les quantiles à utiliser pour établir les scenarios de référence pour les deux crues rares « 1978 » et « 2006 ») 41

Tableau 12 : Paramètres retenus pour les modélisations MESRI 66

Tableau 13 : Débits de pointe moyen, minimums et maximums pour les deux événements de calage de 2006 et 2013 71

Tableau 14. Données de débits de pointes obtenues pour des points de contrôles à l'exutoire de quelques sous bassin versants étudié par la modélisation Pluie-Débit MESRI 81

Tableau 15. Données de débits de pointes obtenues pour des points de contrôles à l'exutoire de quelques sous bassin versants étudié étudiés antérieurement.....82

Tableau 16 – Module (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les tronçons des cours d'eau concernés ainsi que pour les stations hydrométriques voisines.....89

Tableau 17 – Débits caractéristiques d'étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les tronçons des cours d'eau concernés ainsi que pour les stations hydrométriques voisines.....90

Tableau 18 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les deux événements de calage de 2006 et 2013.....91

Tableau 19 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les deux pluies de projet.....93

Tableau 20 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de type 2, basée sur l'évènement de 1978.....95

Tableau 21 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de type 3, basée sur l'évènement de 2006.....97

Tableau 22 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI (Débit en m3/s) et la modélisation hydraulique de la PHASE 4 (Surface inondée en km²) pour les deux événements de références.....99

1 AVANT PROPOS

1.1 RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ETUDE

Le syndicat de Gestion de l'Eygoutier élabore, en partenariat avec la communauté d'Agglomération Toulon Provence Méditerranée, un Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI). La présente mission du groupement INGEROP/GEORIVES/HYDRETUDES s'inscrit dans ce cadre et vise à définir le fonctionnement hydraulique et hydrogéomorphologique de l'ensemble du bassin versant. Elle se décompose en 7 phases.

- PHASE 1 : RECOLTE ET ANALYSE DES DONNEES DE BASE
- PHASE 2 : HYDROGEOMORPHOLOGIE
- PHASE 3 : HYDROLOGIE ET REFERENTIEL
- PHASE 4 : MODELISATION HYDRAULIQUE ET DEFINITION DE L'ALEA
- PHASE 5 : ENJEUX
- PHASE 6 : ELABORATION DES PPRI
- PHASE 7 : POINT D'INTERET A SUIVRE

La mission d'HYDRETUDES s'inscrit dans la PHASE 3 de l'étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents « HYDROLOGIE ET REFERENTIEL ». Cette dernière comprend deux étapes :

- **Etape 1 : Fonctionnement du bassin versant**. Cette étape a fait l'objet du rapport d'étape PHASE 3.1 (rapport et annexes). Elle a abouti à l'identification des crues les plus remarquables sur le bassin versant, la construction de courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de L'Eygoutier et la proposition de pluie de projet.
- **Etape 2 : Débits caractéristiques (étiage, module, crues).** Cette étape, objet du présent rapport, a pour objectif de proposer des estimations de débit de référence pour 1) les étiages et le module pour les 19 sous bassins versants d'intérêt identifiés pour la PHASE 2 et 2) les crues sur l'ensemble des 79 sous-bassins identifiés lors de la PHASE 1 et nécessaire pour la PHASE 4.

1.2 RAPPEL DU CADRE PHYSIQUE

Les PHASE 1 et 3.1 de l'étude ont permis d'établir des invariants à prendre en compte pour cette phase de modélisation hydrologique pluie-débit (géologie, topographie, hydrographie, limites des sous bassins versant homogènes, occupation du sol, caractéristiques des pluies, fonctionnement du bassin versant…).

Les caractéristiques géomorphologiques et anthropiques du bassin versant de l'Eygoutier (S=68.12 km²) amènent à considérer ici - et comme pour de nombreuses études sur le bassin versant, deux grandes parties distinctes ; dont le pont de la Clue marque la séparation (cf. Figure 1):

- **Le bassin versant dit "bassin versant de la plaine de la Garde" en amont du pont de la Clue (S=44.06 km²).** En amont du pont de la Clue, l'Eygoutier s'inscrit dans la plaine inondable de la Garde et du Pradet.

Il reçoit 3 affluents importants en rive droite :

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de Lambert	Linéaire de l'ordre de 5 km	Provenant du mont Coudon au Nord
Ruisseau de Réganas	Environ 8 km	L'Est du mont Coudon,
Ruisseau de la Planquette (ou ruisseau de Pierrascas)	Linéaire de 6.5 km	L'ouest du massif du Pierrascas

Et en rive gauche, sur la commune du Pradet, l'Eygoutier reçoit des eaux de deux affluents mineurs :

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de la Règue	Linéaire de 3 km	Source au pied du massif de la Colle Noire (commune du Pradet).
Ruisseau de l'Artaude	Linéaire de 2.3 km	

- **Le bassin versant dit "bassin versant de Toulon ou toulonnais" en aval du pont de la Clue (S=24.06 km²).** À l'aval du pont de la Clue, l'Eygoutier entre dans une zone urbaine très dense.

  Sur ce secteur il reçoit encore 2 affluents (RD) provenant des contreforts du Faron et du Coudon et 1 affluent mineur.

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de Sainte Musse	Linéaire d'un peu moins de 2 km	
Ruisseau de Saint Joseph et son affluent, le ruisseau de Sainte-Cécile	Linéaire de 4 km environ Linéaire de 1.5 km environ	Versant sud du massif du Coudon et du versant Est du Faron. Contexte résidentiel (extrémité amont) et urbain
La Brunette		Affluent mineur

En rive gauche, il reçoit encore 2 affluents.

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de la Bade	Linéaire de 900 m environ	Affluent mineur
Le Petit Bois	Linéaire de 1.6 km environ	

Un **découpage en 79 sous-bassins versants**, présenté dans la Figure 2 suivante, a été réalisé lors de la PHASE 1. Il est établi en fonction des besoins de l'étude hydrologique et hydraulique, des thalwegs repérés lors des visites de terrain et des études antérieures de référence.

Les surfaces des sous-bassins versants s'étendent entre 0.13 km² pour le plus petit et 5.54 km² pour le plus grand.



Figure 1: Carte du réseau hydrographique (issus de la PHASE 1)

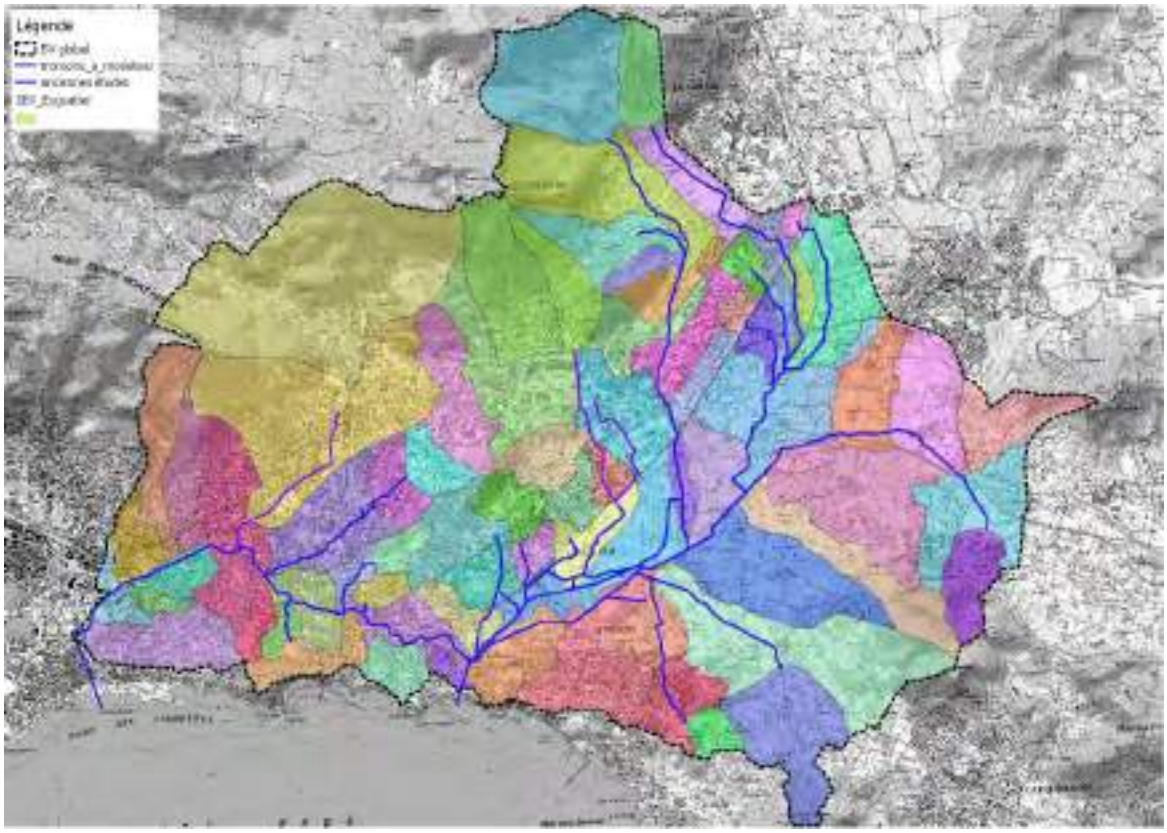


Figure 2: Carte du réseau hydrographique et découpage en 79 sous-bassins versants (issus de la PHASE 1)

2 MODULE ET ETIAGE

La PHASE 3 « HYDROLOGIE ET REFERENTIEL » comprend l'établissement des modules et débits d'étiage (QMNA5) pour certains nœuds hydrologiques nécessaires à la PHASE 2 de de l'étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents.

La Figure 3 suivante présente la position des exutoires et les sous bassins versants d'intérêt identifiés pour la PHASE 2. Le nombre de point nécessaire est plus faible que pour la modélisation hydraulique de la PHASE 4.

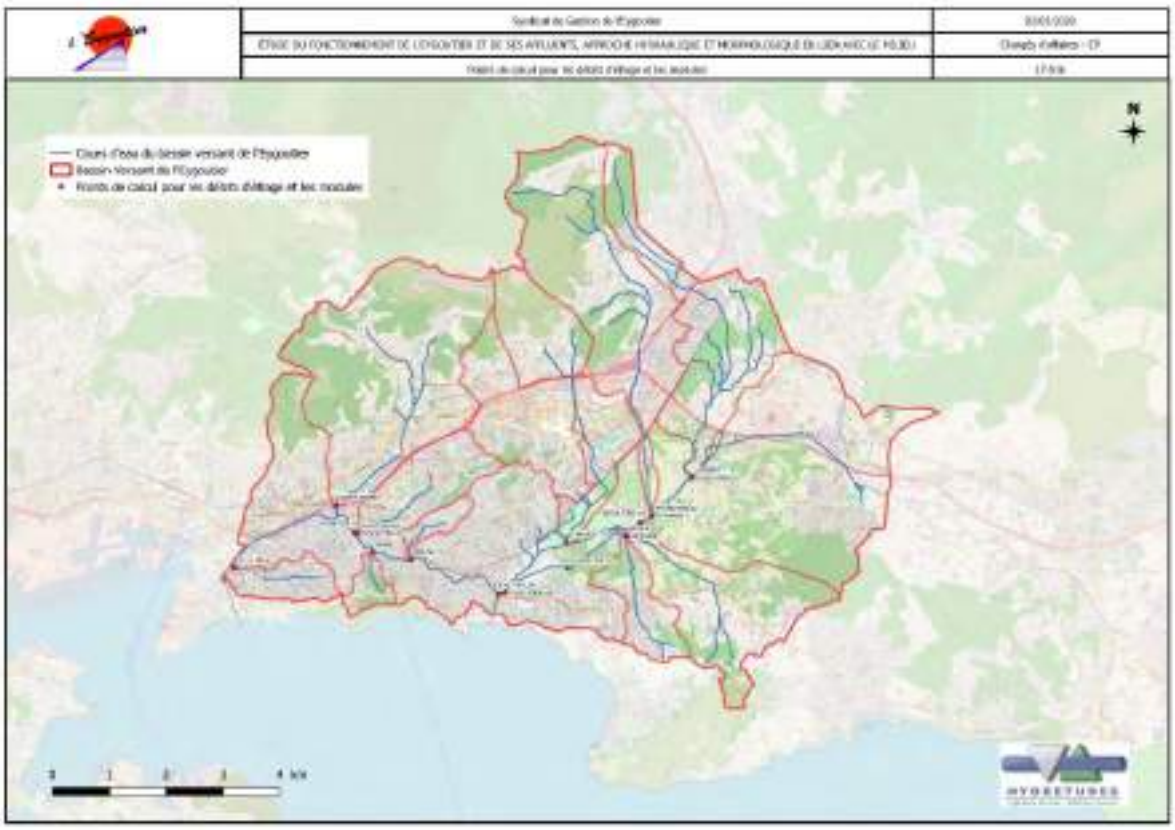


Figure 3: Position des exutoires et des sous bassins versants d'intérêt identifiés dans la PHASE 2 pour le calcul des modules et étiages

2.1 TYPE DE DONNEES DISPONIBLES

Il n'existe aucune station hydrométrique sur l'Eygoutier ou sur ses affluents mesurant les débits de la rivière de manière continue. Différentes données existent cependant sur le bassin versant ou à proximité :

- Des données ponctuelles issues de jaugeages.
- Des données ponctuelles issues d'études antérieures.
- Des séries chronologiques et des débits caractéristiques de stations voisines, dont les cours d'eau sont proches dans leur fonctionnement.
- Des débits caractéristiques issus de modèles régionaux.

2.1.1 Données ponctuelles de jaugeages

Des données ponctuelles de jaugeages sont disponibles sur le bassin versant. Elles ont été obtenues dans le cadre de différentes études (cf. Tableau 1).

Tableau 1 – Données ponctuelles de jaugeages

Localisation des stations de mesures	Date des mesures, résultats et sources
Station sur le Régana (proche de la source)  Station sur l'Eygoutier (vallon des Amoureux)  	Débit en l/s Eygoutier / Réganas oct. 2016 : 20 / 20 fev. 2017 : 26 / 29 juin-17 : 3 / 19 sept. 2017 : 5 / 14 dec. 2017 : 78 / 23 mars-18 : 732 / 82 juin-18 : 115 / 29 Source : Etude pour TPM dans le cadre de l'étude de la potentialité écologique du Las et de l'Eygoutier (SCP, 2016)
5 stations  	2 Périodes déficitaire en eau (août 2015) Code station / Cours d'eau / Commune / Résultat août 2015 (m³/s) / Résultat janvier 2 EYG01 / Eygoutier / TOULON / 0.0074 / 0.0161 EYG02 / Eygoutier / TOULON / 0.0188 / 0.0293 JOS01 / St Joseph / TOULON / 0.0157 / 0.0180 JOS02 / St Joseph / TOULON / 0.0140 / 0.0156 REG01 / Réganas / LA GARDE / 0.0133 / 0.0135 REG02 / Réganas / LA GARDE / 0.0155 / 0.0161 Source : Etude dans le cadre de l'étude pour l'élargissement pour l'A57 (VINCI-INGEROP, 2016)

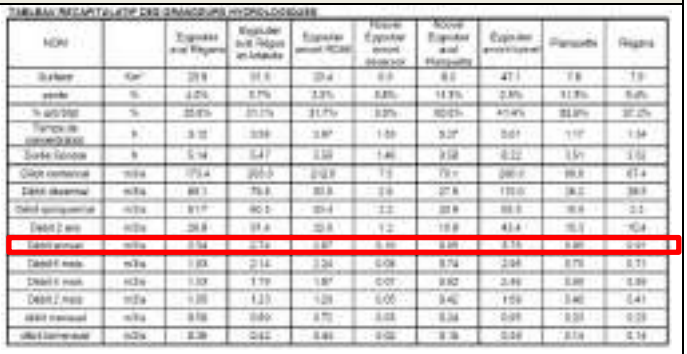
Les autres mesures sur le bassin versant sont des hauteurs d'eau. Ces stations sont non jaugées ; elles n'ont pas de courbe de tarage. Aucune chronique de débits n'est disponible.

2.1.2 Données des études antérieures

Peu d'étude ont abordé les débits d'étiage et les débits moyens interannuels. A notre connaissance deux études HYDRATEC (2008) et SAFEGE-SUEZ (2017), au droit du tunnel de

délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier, apporte quelques éléments (cf. tableau ci-dessous)

Tableau 2 – Données des études antérieures

Localisation des stations de mesures	Date des mesures, résultats et sources
Bassin versant de la Plaine 	 Source : HYDRATEC, 2008- Aménagement de l'Eygoutier – Plaine de la Garde
Pont de la Clue 	Tableau 2 : Répartitions et ratios des débits – vanne ouverte Q amont (m3/s) / Q tunnel (m3/s) / Ratio / Q Toulon (m3/s) / Ratio Q étiage : 0,0011 / 0,0011 / 100 % / 0 / 0 % Q min bio : 0,047 / 0,047 / 100 % / 0 / 0 % Q2 : 8 / 8,5 / 94 % / 0,5 / 6 % Q5 : 19 / 10,2 / 80 % / 3,8 / 20 % Source : Réalisation d'un seuil fixe au droit du tunnel de délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier (SAFEGE-SUEZ, 2017)

2.1.3 Données de stations hydrométriques voisines

Les données de débits des bassins versant voisins ont été recueillies sur le site de la BANQUE HYDRO (Tableau 3). Les stations implantées sur le bassin versant du Gapeau possèdent notamment une série de données robuste et longue autorisant les traitements statistiques fiables pour l'estimation de crues moyennes.

Tableau 3 – Liste des stations hydrométriques (en service ou arrêtées/abandonnées), modules et débits caractéristiques de basses eaux (BANQUE HYDRO)

Code de la station	Libellé de la station	Hauteurs	Débits	Altitude	Surface du bassin	Module (m3/s)	QMNA5 (m3/s)
Y4604020	Le Gapeau à Solliès-Pont	1970 - 2019	1969 - 2019	75 m	169 km²	1.270 [1.060;1.540]	0.056 [0.046;0.065]
Y4624010	Le Gapeau à Hyères [Sainte-Eulalie]	1970 - 2019	1961 - 2019	9 m	517 km²	4.050 [3.440;4.780]	0.160 [0.110;0.210]
Y4605410	Le Gaou à Solliès-Toucas	1966 - 1983	non disponible	100 m	27.3 km²	-	-

Y4615020	Le Réal Martin à la Crau [Decapris]	1970 - 2019	1965 - 2019	27 m	277 km²	2.230 [1.900;2.630]	0.093 [0.075;0.110]
Y4515410	La Reppe à Sanary-sur-Mer	1993 - 1996	1993 - 1996	15 m	105 km²	--	-
Y4515420	La Reppe à Ollioules [Le Grand Plan]	1996 - 2019	1996 - 2019	18 m	65 km²	0.181 [0.081;0.402]	0.001 [0.000;0.001]
Y4515010	Le Grand Vallat au Castellet	non disponible	1967 - 1969		125 km²	-	-

Les valeurs entre crochets représentent les bornes de l'intervalle de confiance dans lequel la valeur exacte du paramètre estimé à 95% de chance de se trouver.

2.1.4 Données régionales

Dans le cadre de la convention Onema-Cemagref/Irstea, visant à caractériser les débits d'étiages et les débits moyens sur l'ensemble du réseau hydrographique de l'hexagone, une cartographie consensuelle du module et du QMNA5 est disponible depuis 2011. Ces données ont été téléchargées en juin 2013. Les données sont disponibles pour chaque tronçon de la BD Carthage chaînée 2010 (https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/debit-detiage-et-module/).

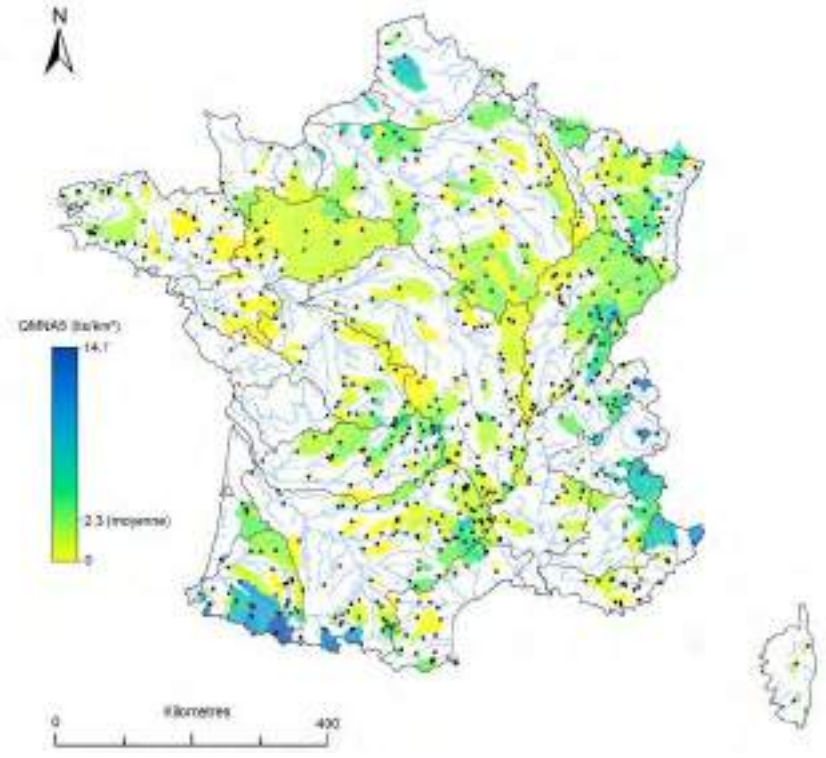


Figure 4 : Cartographie des stations de référence utilisées pour caler les modèles (stations pas ou peu influencées)

Les estimations régionales issues de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les tronçons des cours d'eau concernés (Figure 5) ainsi que pour les stations hydrométriques voisines (au droit des tronçons concernés) sont présentées dans le Tableau

16 et le Tableau 17 de l'annexe 6.1 Certaines de ces estimations sont à prendre avec prudence, notamment pour le QMNA5.

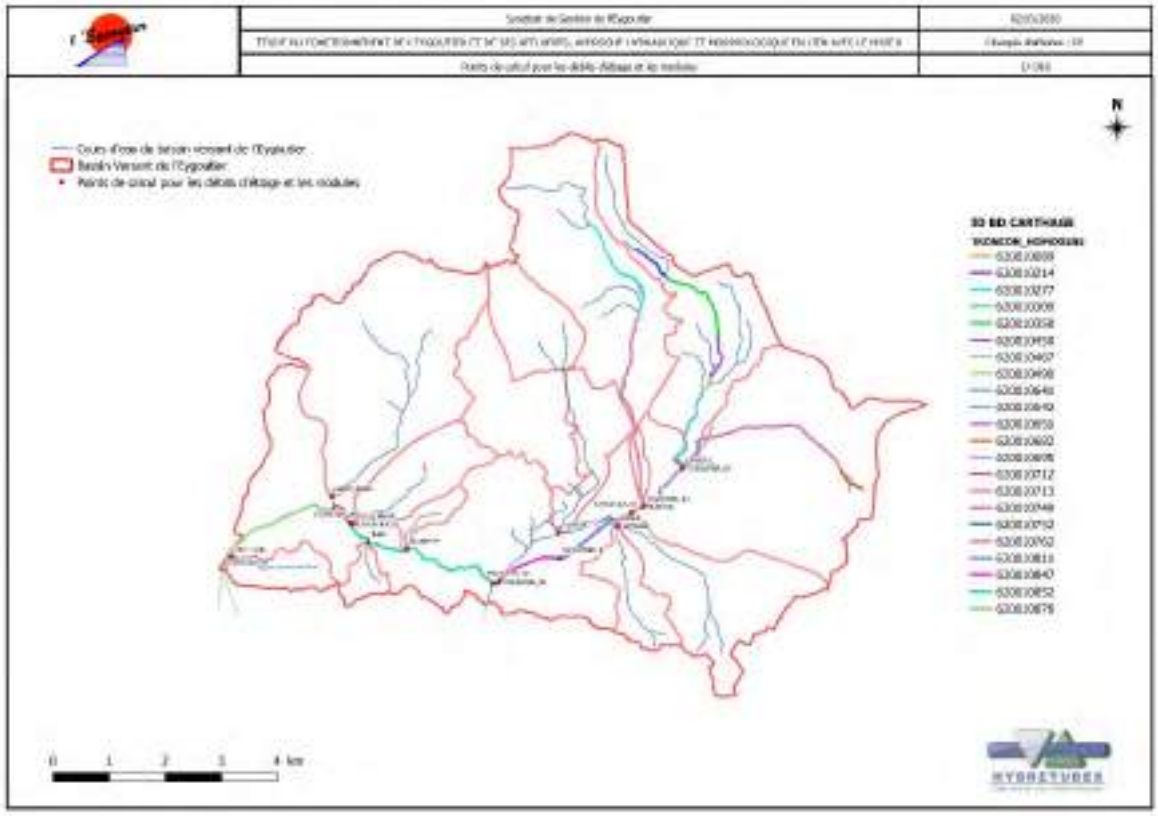


Figure 5 : Localisation des tronçons des cours d'eau concernés par la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 »

Remarque (Nicolle et al., 2012) : Rappelons que cette cartographie des débits caractéristiques de référence (QMNA5 : débit mensuel quinquennal sec, et Module noté QA : débit moyen interannuel) est issue d'un travail d'interpolation spatiale. Les valeurs proposées n'ont pas de portées réglementaires à moins d'être validées au cas par cas par la police de l'eau pour des dossiers spécifiques. Elle s'appuie sur une méthodologie nationale recourant à 26 années de données sur 632 stations disponibles de la Banque HYDRO et à plusieurs modèles (3). Elle reflète l'état des connaissances fin 2012. Elle comporte cependant des erreurs dont les origines peuvent être multiples : imperfection des méthodes, données biaisées, complexité des hydrologies locales, perturbations liées à l'homme, incohérence du tracé du réseau hydrographique et de certaines sous-zones HYDRO, etc. Elle n'a pas vocation à se substituer à des estimations plus précises constituées localement, auxquelles il convient de se référer en priorité quand elles existent. L'outil cartographique a donc été conçu pour fournir une aide à la décision.

2.2 DEBITS CARACTERISTIQUES AUX SITES D'ETUDE

Une régression faisant intervenir la surface des sous-bassins versant a été appliquée (méthode de transfert de bassin versant) pour reconstituer les débits interannuel moyen et les QMNA5 aux points de calculs identifiés dans la PHASE 2. On parle alors de modèle débit-débit, qui, dès lors que les bassins sont proches et qu'ils réagissent aux pluies de façon similaire, peut donner des résultats très satisfaisants (Andréassian et al., 2012 cité par

Lebecherel et al., 2015). Mathématiquement, elle consiste à définir une relation empirique locale de la forme :

$$Qbv = A.\ Sbv^{\alpha}$$

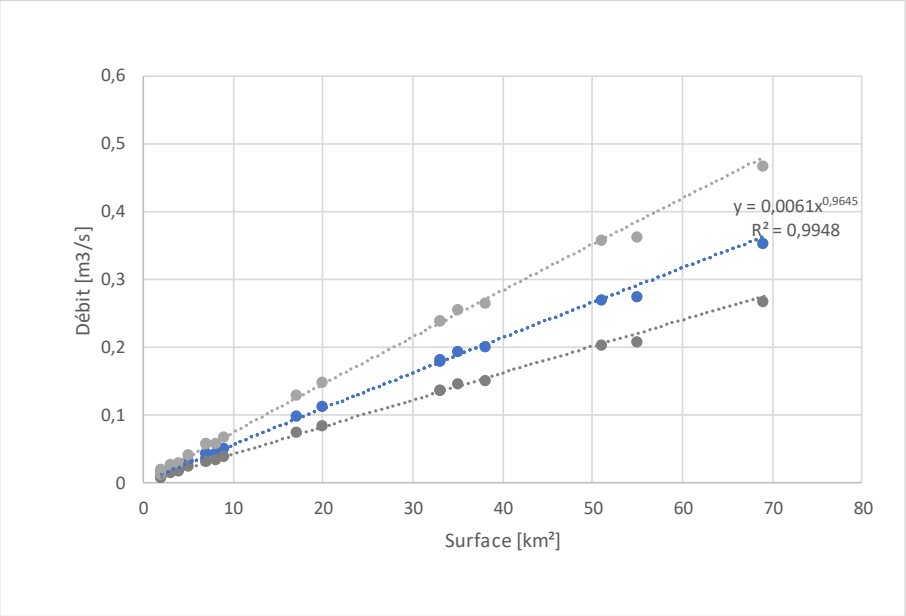
Avec respectivement Qbv et Sbv, débit et surface du bassin versant. La question est ensuite de déterminer A(T) et α. Ces deux paramètres peuvent être déterminer à partir de valeurs connus de $Qbv(T)$ et Sbv. Les valeurs obtenues de α doivent théoriquement s'approcher des valeurs retenues par la littérature ; à savoir des valeurs proches 1 pour le module et 1.2 pour les étiages.

Le choix des données de référence à utiliser pour estimer les débits peut se porter sur 3 jeux de données donnant 3 régressions :

- REG (a) avec comme données de référence, les données estimées sur les différents tronçons issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 ».
- REG (b) avec les 4 stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO ayant des données (Le Gapeau à Solliès-Pont, Le Gapeau à Hyères [Sainte-Eulalie], Le Réal Martin à la Crau [Decapris] et La Reppe à Ollioules [Le Grand Plan])
- REG (c) avec 3 stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO (sans La Reppe à Ollioules dont le fonctionnement semble très spécifique).

2.2.1 Module

Les figures suivantes (Figure 6 et Figure 7) présentent les lois puissances reliant Qbv et Sbv pour le module pour les 3 jeux de données de référence.

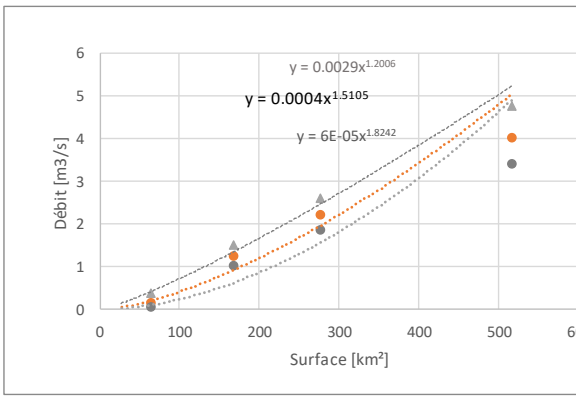


REG (a) pour tous les différents tronçons du bassin versant de l'Eygoutier de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 »

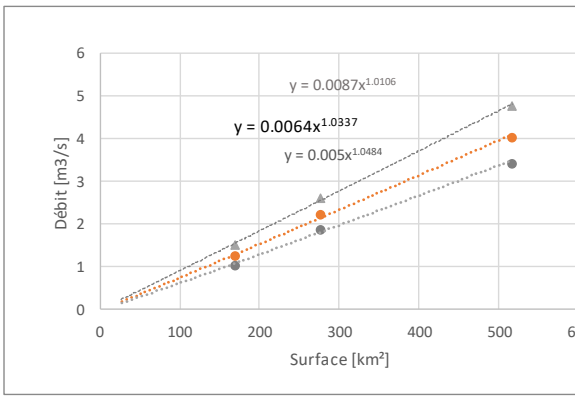
Figure 6 : Relation entre le module et la superficie basée la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 »

Pour le module, les estimations utilisées pour les différents tronçons de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » sont toutes jugés « robuste ». Le coefficient α est proche de 1. Comme avec les données de la BANQUE HYDRO, ces données donnent une fourchette haute et basse des estimations.

Pour les deux autres régressions basées sur les stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO seule la relation sans la Reppe (REG (c)) montre des paramètres proches de celle issue de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » et des valeurs de la littérature.



REG (b) pour les 4 stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO ayant des données.



REG (c) pour les 3 stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO ayant des données.

Figure 7 : Relations entre le module et la superficie basées sur les stations hydrométriques

Le tableau suivant présente les résultats pour les points de calculs. L'utilisation des données des 4 stations hydrométrique voisines semblent sous-estimés fortement les valeurs. Sans la Reppe, les valeurs sont surestimées mais proche de la fourchette haute. En gras les débits retenus.

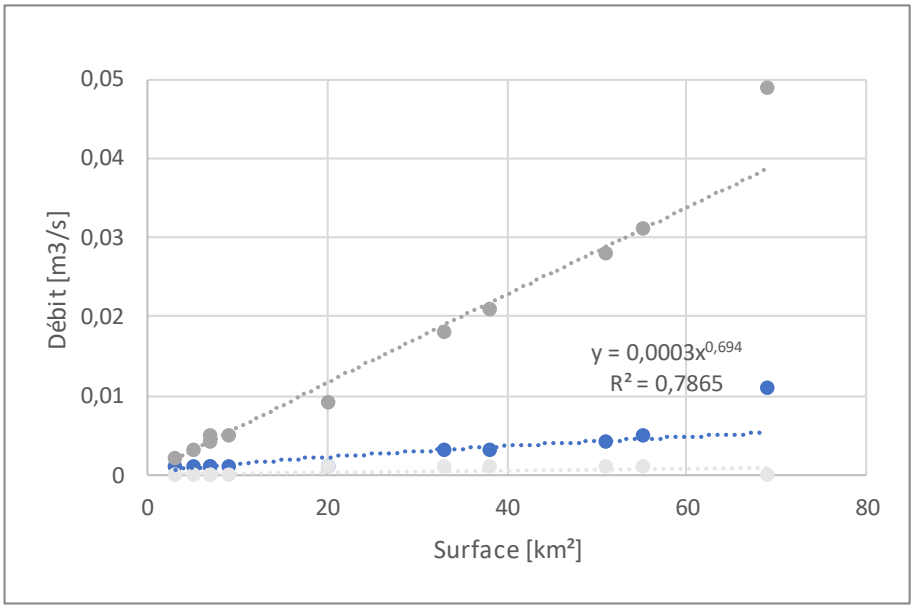
Tableau 4 – Débits caractéristiques module (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul et des stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO.

Nom	Rivière	SURFACE SBV INGEROP km²	MODULE REG (a) BAS	MODULE REG (a) MOY	MODULE REG (a) HAUT	MODULE REG (b)	MODULE REG (c)
EYGOUTIER_01	ruisseau l'eygoutier	9,32	0,040	**0,053**	0,070	0,012	0,064
EYGOUTIER_02	ruisseau l'eygoutier	17,91	0,073	**0,097**	0,128	0,031	0,126
EYGOUTIER_03	ruisseau l'eygoutier	27,27	0,109	**0,145**	0,191	0,059	0,195
EYGOUTIER_04	ruisseau l'eygoutier	36,14	0,143	**0,190**	0,251	0,090	0,261
EYGOUTIER_05	ruisseau l'eygoutier	44,61	0,176	**0,234**	0,308	0,124	0,324
EYGOUTIER_06	ruisseau l'eygoutier	45,04	0,177	**0,236**	0,311	0,126	0,328
EYGOUTIER_07	ruisseau l'eygoutier	49,48	0,194	**0,258**	0,341	0,145	0,361

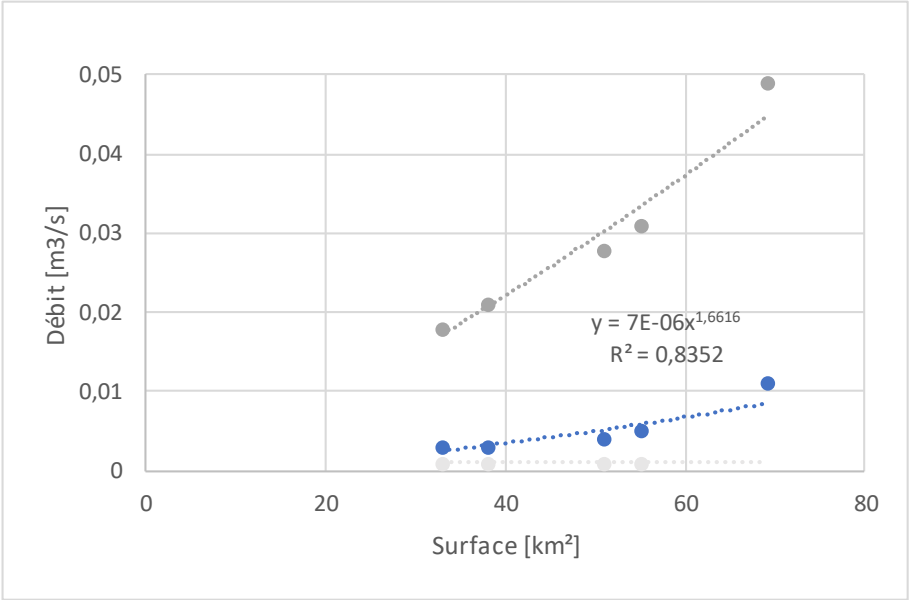
EYGOUTIER_08	ruisseau l'eygoutier	52,92	0,208	**0,276**	0,364	0,161	0,387
EYGOUTIER_09	ruisseau l'eygoutier	68,12	0,266	**0,354**	0,467	0,235	0,503
LAMBERT_	Lambert	5,81	0,026	**0,036**	0,046	0,006	0,039
REGANAS	Réganas	8,21	0,035	**0,048**	0,062	0,010	0,056
ARTAUDE	Artaude	1,63	0,010	**0,014**	0,018	0,001	0,011
BADE	Bade	0,55	0,006	**0,009**	0,011	0,000	0,003
BRUNETTE	Brunette	0,51	0,006	**0,009**	0,010	0,000	0,003
PETIT BOIS	Petit bois	1,13	0,008	**0,012**	0,015	0,000	0,007
PLANQUETTE	Planquette	4,40	0,021	**0,028**	0,037	0,004	0,030
REGUE	Regue	4,62	0,022	**0,029**	0,038	0,004	0,031
SAINTE MUSSE	Sainte-Musse	2,32	0,013	**0,018**	0,023	0,001	0,015
SAINT JOSPEH	St-Joseph	9,76	0,041	**0,056**	0,073	0,012	0,067

2.2.2 QMNA5

Pour le QMNA5 les estimations régionales issues de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » ne sont jamais jugés « robuste » mais « fragile », voire à considérer avec « prudence ». Elles sont toutefois utilisées faute d'autre données plus fiables. Le coefficient α d'environ 0.7 est faible. Si les estimations « fragile » sont écartées dans la régression ; le coefficient α devient plus proche des valeurs de la littérature (1.2). C'est cette régression qui sera par la suite utilisée.



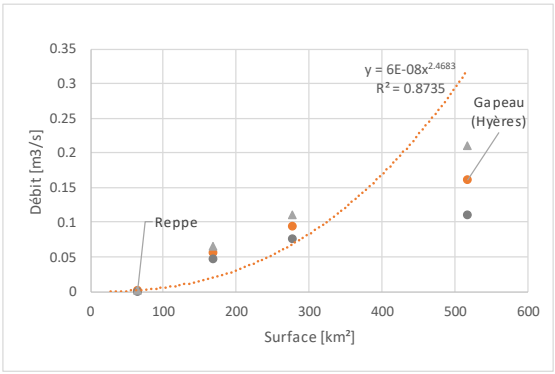
REG (a-1) pour tous les différents tronçons du bassin versant de l'Eygoutier les différents tronçons dans la cartographie des débits caractéristiques



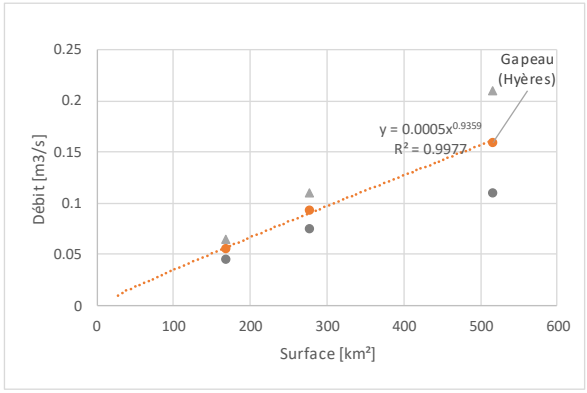
REG (a-2) pour les différents tronçons du bassin versant de l'Eygoutier dans la cartographie des débits caractéristiques de référence jugé « prudence » (« fragile » écarté).

Figure 8 : Relations entre le QMNA5 et la superficie basée la« cartographie consensuelle du module et du QMNA5 »

Pour les deux autres régressions basées sur les stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO les coefficients α sont très différents des valeurs de la littérature et sont écartées.



REG (b) pour les 4 stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO ayant des données.



REG (c) pour les 3 stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO ayant des données.

Figure 9 : Relation entre le QMNA5 et la superficie basées sur les stations hydrométriques

Quelle que soit la référence utilisée, les fourchettes haute et basse des estimations donnent un aperçu de l'incertitude pesant sur cette donnée. La qualité des régressions reste plus faible que pour les modules.

Le tableau suivant présente les résultats pour les points de calculs. L'utilisation des stations hydrométriques donnent des estimations soit sous-estimées soit tres fortement sur-estimées (pour REG(c)). Au final, une seule estimation est retenue, celle des données issues de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » (en gras les débits retenus).

Tableau 5 – Débits caractéristiques d'étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul et des stations hydrométriques de la BANQUE HYDRO.

Nom	Riviere	SURFACE SBV NGEROP km²	QMNA5 REG (a-1)	**QMNA5 REG (a-2)**	QMNA5 REG (b)	QMNA5 REG (c)
EYGOUTIER_01	ruisseau l'eygoutier	9,32	0,00113	**0,00029**	0,00001	0,00404
EYGOUTIER_02	ruisseau l'eygoutier	17,91	0,00188	**0,00085**	0,00007	0,00744
EYGOUTIER_03	ruisseau l'eygoutier	27,27	0,00261	**0,00170**	0,00021	0,01103
EYGOUTIER_04	ruisseau l'eygoutier	36,14	0,00325	**0,00271**	0,00042	0,01436
EYGOUTIER_05	ruisseau l'eygoutier	44,61	0,00383	**0,00385**	0,00071	0,01749
EYGOUTIER_06	ruisseau l'eygoutier	45,04	0,00386	**0,00391**	0,00072	0,01764
EYGOUTIER_07	ruisseau l'eygoutier	49,48	0,00415	**0,00458**	0,00091	0,01926
EYGOUTIER_08	ruisseau l'eygoutier	52,92	0,00437	**0,00512**	0,00108	0,02052
EYGOUTIER_09	ruisseau l'eygoutier	68,12	0,00532	**0,00779**	0,00201	0,02599
LAMBERT_	Lambert	5,81	0,00078	**0,00013**	0,00000	0,00259
REGANAS	Réganas	8,21	0,00103	**0,00023**	0,00001	0,00359
ARTAUDE	Artaude	1,63	0,00029	**0,00002**	0,00000	0,00079
BADE	Bade	0,55	0,00013	**0,00000**	0,00000	0,00028
BRUNETTE	Brunette	0,51	0,00012	**0,00000**	0,00000	0,00027
PETIT BOIS	Petit bois	1,13	0,00022	**0,00001**	0,00000	0,00056
PLANQUETTE	Planquette	4,40	0,00063	**0,00008**	0,00000	0,00200
REGUE	Regue	4,62	0,00066	**0,00009**	0,00000	0,00209
SAINTE MUSSE	Sainte-Musse	2,32	0,00038	**0,00003**	0,00000	0,00110
SAINT JOSPEH	St-Joseph	9,76	0,00118	**0,00031**	0,00002	0,00422

2.3 SYNTHESE ET CONCLUSION

Le choix des données de référence pour estimer les débits d'étiage et les modules s'est porté sur les données estimées sur les différents tronçons issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 ». Seuls les tronçons appartenant au bassin versant de l'Eygoutier ont été utilisés.

Les estimations de module sont jugées comme fiables, bien que plus faibles que l'estimation avancée par SAFEGE-SUEZ (2017) au pont de la Clue (une incertitude sur le module retenue dans cette étude persiste puisque qu'elle ne fournit que le débit minimum biologique…).

L'incertitude sur les estimations des QMNA5 est en revanche plus grande, notamment sur les petits bassins versant. La comparaison avec les jaugeages SCP de 0.003 et 0.005 m3/s au niveau du vallon des Amoureux, effectués en période de très base eaux en juin 2017 et septembre 2018, montrent que les estimations retenues restent cohérentes avec ces données de terrain.

Le Tableau 6 – Débits caractéristiques module et étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calculTableau 6 suivant présente les estimations retenues pour le module et le QMNA5 pour les 19 sous bassins versants d'intérêt identifiés pour la PHASE 2.

Tableau 6 – Débits caractéristiques module et étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul

Nom	Rivière	SURFACE SBV INGEROP km²	MODULE BAS	MODULE MOY	MODULE HAUT	QMNA5
EYGOUTIER_01	ruisseau l'eygoutier	9,32	0,040	**0,053**	0,070	**0,00029**
EYGOUTIER_02	ruisseau l'eygoutier	17,91	0,073	**0,097**	0,128	**0,00085**
EYGOUTIER_03	ruisseau l'eygoutier	27,27	0,109	**0,145**	0,191	**0,00170**
EYGOUTIER_04	ruisseau l'eygoutier	36,14	0,143	**0,190**	0,251	**0,00271**
EYGOUTIER_05	ruisseau l'eygoutier	44,61	0,176	**0,234**	0,308	**0,00385**
EYGOUTIER_06	ruisseau l'eygoutier	45,04	0,177	**0,236**	0,311	**0,00391**
EYGOUTIER_07	ruisseau l'eygoutier	49,48	0,194	**0,258**	0,341	**0,00458**
EYGOUTIER_08	ruisseau l'eygoutier	52,92	0,208	**0,276**	0,364	**0,00512**
EYGOUTIER_09	ruisseau l'eygoutier	68,12	0,266	**0,354**	0,467	**0,00779**
LAMBERT_	Lambert	5,81	0,026	**0,036**	0,046	**0,00013**
REGANAS	Réganas	8,21	0,035	**0,048**	0,062	**0,00023**
ARTAUDE	Artaude	1,63	0,010	**0,014**	0,018	**0,00002**
BADE	Bade	0,55	0,006	**0,009**	0,011	**0,00000**
BRUNETTE	Brunette	0,51	0,006	**0,009**	0,010	**0,00000**
PETIT BOIS	Petit bois	1,13	0,008	**0,012**	0,015	**0,00001**
PLANQUETTE	Planquette	4,40	0,021	**0,028**	0,037	**0,00008**
REGUE	Regue	4,62	0,022	**0,029**	0,038	**0,00009**
SAINTE MUSSE	Sainte-Musse	2,32	0,013	**0,018**	0,023	**0,00003**
SAINT JOSPEH	St-Joseph	9,76	0,041	**0,056**	0,073	**0,00031**

3 REFERENTIEL PLUVIOMETRIQUE

L'ensemble des données pluviométriques et hydrométriques disponibles sont décrites dans le rapport d'étape de la PHASE 3.1. « Fonctionnement du bassin versant ».

Leur exploitation a abouti à caractériser en termes de cumuls, durées, période de retour etc., les événements "inondation" marquant sur l'Eygoutier mais aussi à la définition des courbes Intensités Durée Fréquence représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier, et enfin, à la validation des pluies de projet rares et plus courantes à utiliser sur le bassin versant de l'Eygoutier. Cette section vise à synthétiser les résultats obtenus.

3.1 CONTEXTE PLUVIOMETRIQUE GLOBAL

Se reporter au rapport PHASE 3.1 pour plus de détails.

Les données annuelles, mensuelles et journalières des stations météorologiques du réseau Météo-France à l'intérieure et proche du bassin de l'Eygoutier ont été récupérées auprès de Météo-France sur les 10 dernières années (Toulon la Mitre, Cuers, Le Castellet, Hyères, Cap Cépet).

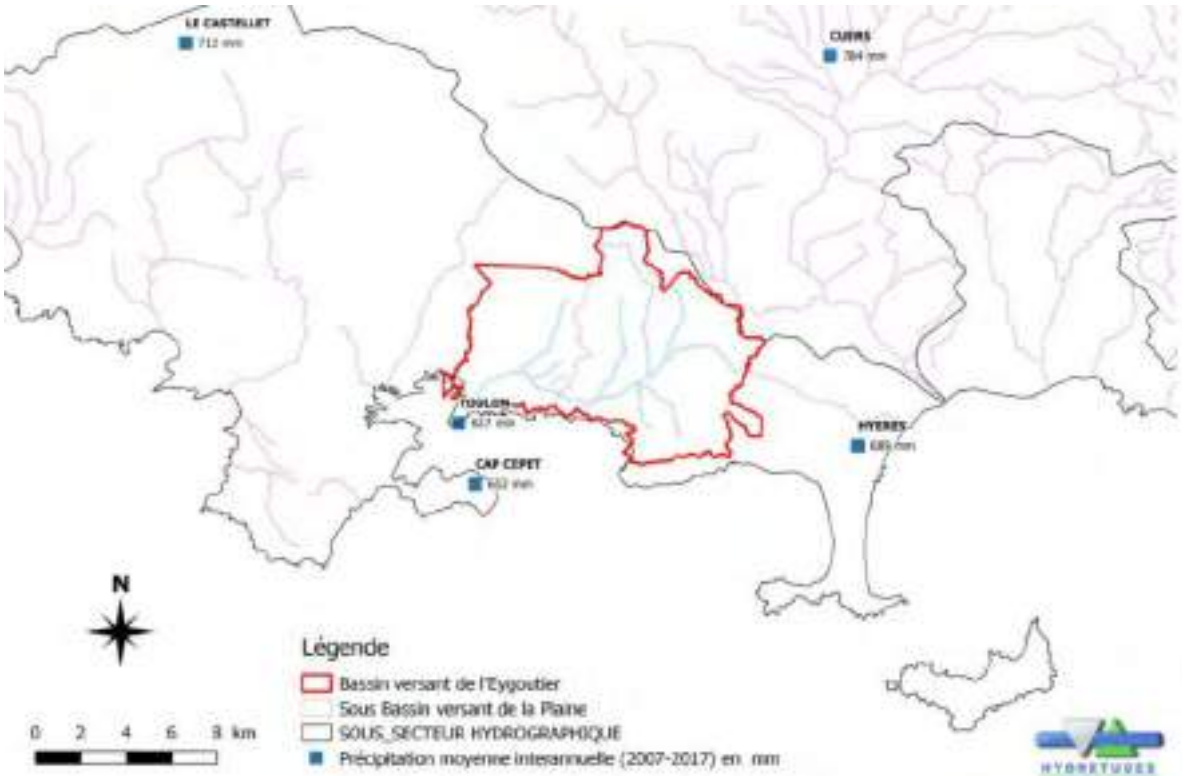


Figure 10. Répartition des précipitations moyennes interannuelles (2007-2017) sur les 5 stations météo-France

Les cumuls annuels de 2007 à 2017 (Figure 11) sont variables d'une année à l'autre quelle que soit la station et sont fortement corrélés (R^2>0.95). Les cumuls annuels à Toulon sont généralement plus faibles que ceux enregistrés aux Cap Cepet et à Hyères et d'autant plus à Cuers et au Castellet.

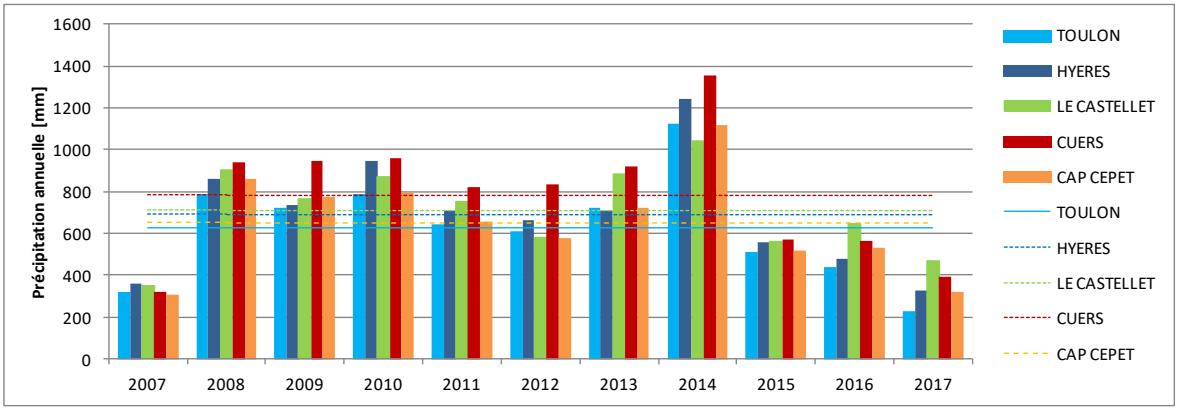


Figure 11. Evolution des cumuls de précipitations annuels de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France

Les cumuls mensuels (Figure 12) suivent les tendances annuelles avec des précipitations plus importantes sur Cuers. Le régime est typiquement méditerranéen avec une variabilité interannuelle très forte avec des cumuls maximaux d'octobre à décembre et des minimaux en été (juillet et aout). Pour une même station, la variabilité précipitations moyennes mensuelles d'une année sur l'autre peut être très importante.

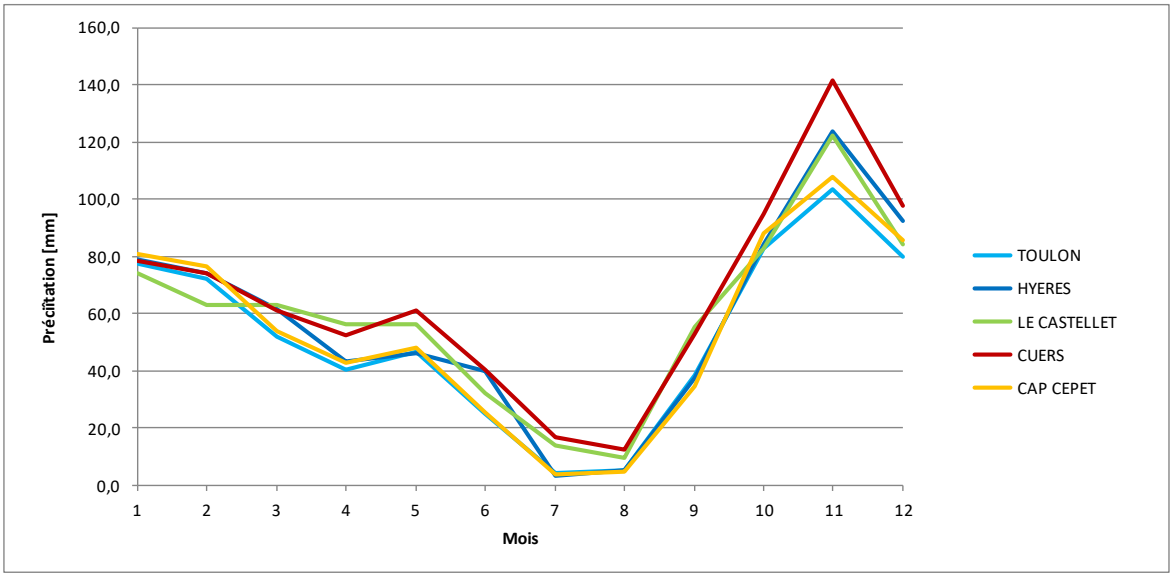


Figure 12. Moyenne des précipitations mensuelles de 2007 à 2017 sur les 5 stations météo-France

Enfin, les précipitations journalières exceptionnelles à Toulon (>40 mm) sont généralement associées à des fortes pluies au Cap Cepet et à Hyères et vice-versa (simultanéité des pluies). Les fortes pluies à Toulon sont aussi en moyenne associées à des fortes pluies à Cuers, mais la réciproque n'est pas vraie.

3.2 ANALYSE STATISTIQUE DES PLUIES

Se reporter au rapport PHASE 3.1 pour plus de détails.

3.2.1 Données collectées

Les durées de retour de précipitations extrêmes ont été récupérées aux stations Météo France de Toulon Saint-Mitre et de Hyères et à un point de grille SHYREG (voir carte de la Figure 13 ci-dessous). Ces données constituent les 3 jeux de données de statistiques locales utilisés pour construire les courbes IDF représentative du bassin versant de l'Eygoutier.

Pour une même station, les quantiles estimés par Météo France variant selon la méthode utilisée et la période d'analyse, les données récupérées auprès de Météo France dans les études antérieures peuvent être différentes de celles actuellement disponibles auprès de Météo France.

Remarque : Jusqu'en 2012, les durées de retour de précipitations étaient estimées à Météo-France au moyen de la méthode du renouvellement et de la méthode GEV (loi généralisée des extrêmes, Generalized Extreme Value distribution, qui permet d'obtenir des ajustements de niveaux de retour à partir des maxima annuels). Aujourd'hui c'est la méthode Locale-Régionale GEV qui prévale.

Pour plus d'info sur les différentes méthodes d'estimation de durées de retour de précipitations extrêmes : http://climatheque.meteo.fr/Docs/DRR2R-methode.pdf

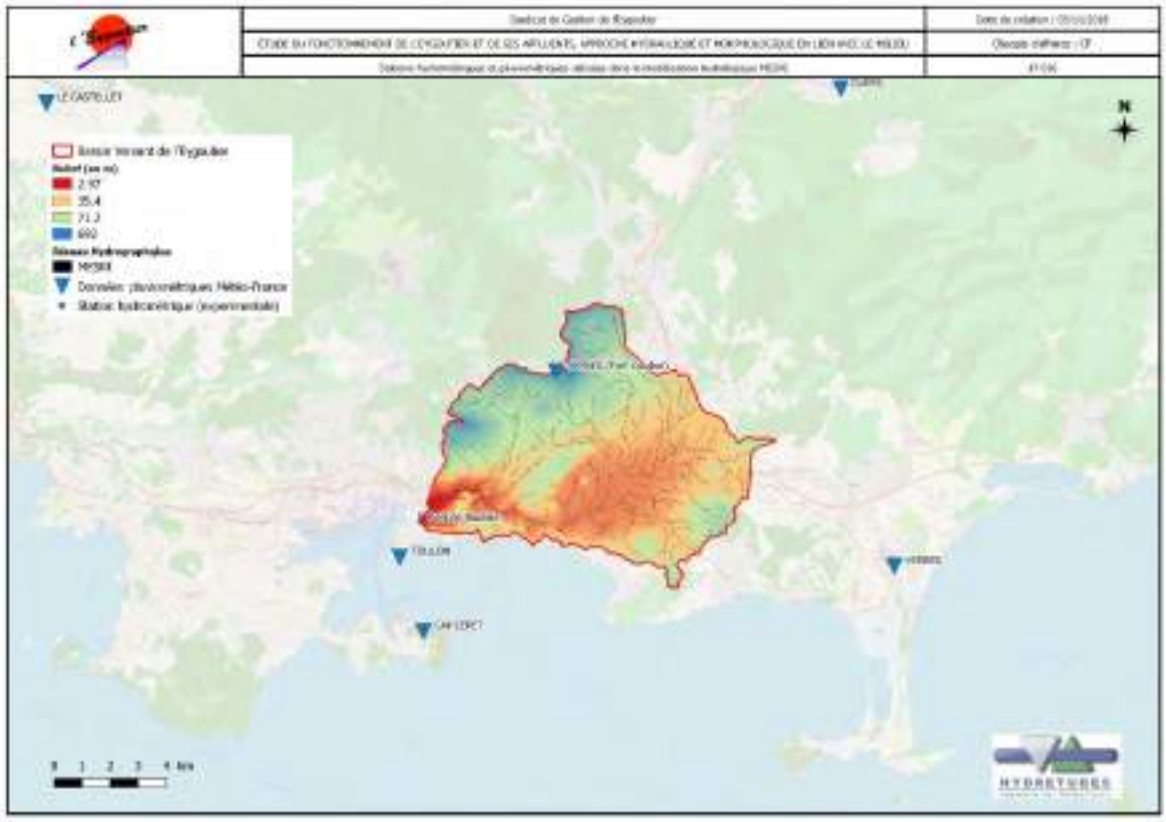


Figure 13 : Localisation de la station pluviométrique de Toulon La Mitre (83137001) du réseau Météo-France et des autres données utilisées pour les pluies de projet.

3.2.1.1 Station de Toulon-La Mitre (Indicatif : 83137001)

Les quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon (Indicatif : 83137001) ont été mis à jour auprès de Météo-France dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, réalisée au premier semestre 2016 par INGEROP (cf. étude INGEROP (2017) sur la Planquette). Les quantiles de précipitation pour toutes les périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 30 ans, 50 ans, et 100 ans) et toutes les durées (6 min, 15 min, 30 min, 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h et 192h) ont été acquis auprès de Météo France. Le Tableau 7 ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis (Ingerop, 2017 - Etude Planquette).

La méthode utilisée est la méthode du renouvellement qui ajuste pour une station toutes les précipitations supérieures à un seuil donné : les hauteurs sont ajustées par une loi de Pareto généralisée et la loi utilisée pour ajuster les nombres annuels de dépassement est la loi asymptotique.

Les fiches de Météo France ne montrent pas les ajustements confrontés aux données observées.

Remarque : les statistiques à la station de Toulon ne sont pas disponibles directement sur le site de Météo-France mais de manière off line auprès d'un conseiller.

Tableau 7. Quantiles de précipitation pour Toulon (Indicatif 83137001, alt : 23 m NGF) - Méthode du renouvellement au poste météorologique de Toulon pour la période 1971 - 2012 et base SHYREG pluie pour T = 2 ans

Durée			Période de retour (ans)						
Jours	heures	minutes	2 ans (1)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
		6	8.6*	10.1	11.3	12.3	12.8	13.4	14.1
		15	13.6*	18.2	20.6	22.8	24.0	25.3	27.0
		30	19.2*	26.9	31.4	35.8	38.3	41.6	45.9
	1	60	27.2	36.9	43.4	49.9	53.7	58.6	65.2
	2	120	33.1	47.2	55.7	64.6	70.0	76.9	86.6
	3	180	38.3	53.3	64.3	76.8	84.8	95.7	112.0
	6	360	49.5	70.5	84.9	101.1	111.5	125.6	146.8
	12	720	63.7	88.0	102.1	116.3	124.6	135.2	149.8
1	24	1440	78.8	105.2	122.1	139.2	149.2	162.0	179.5
2	48		94	123.9	141.0	157.1	166.1	177.0	191.1
3	72		102.5						
4	96			146.3	174.0	204.0	222.6	247.3	283.0
8	192			174.0	202.2	230.2	246.5	267.0	294.7

(1) SHYREG (point de grille : coordonnées géographiques Lambert2 étendu X = 8920, Y = 17990)

**"les quantiles de précipitation pour les durées inférieures à 1h de la période de retour 2 ans ont été obtenus par interpolation par la loi de Montana, en considérant un coefficient b = 0.5. En effet, pour la période de retour 2 ans, les quantiles METEO FRANCE comportaient une erreur et ils étaient inexploitables. Dans le cadre de l'acquisition auprès de METEO FRANCE de ces quantiles, dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, METEO FRANCE nous a transmis en remplacement les quantiles SHYREG pour la période de retour de 2 ans. Les quantiles SHYREG ont la particularité de n'être disponible qu'à partir d'une durée de 1h. Pour des durées inférieures, d'après les conseils de Jacques Lavabre (ingénieur de recherche au sein d'IRSTEA), il est possible de déduire les quantiles de précipitation en considérant un coefficient b=0.5. Le coefficient a est nécessairement égal au quantile de précipitation pour la durée 1h. Remarque (Ingerop, 2017) "*

Ces données sont récentes et robustes ; elles sont utilisées comme référence dans la présente étude pour la station de Toulon la Mitre (83137001).

3.2.1.2 Station de Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif : 83069001).

Les quantiles utilisés à la station de Hyères sont issus du produit Météo France (en ligne - payant) « Durées de Retour de Précipitations ».

Les données pluviométriques ont été mise à jour auprès de Météo-France en 2018 pour la présente étude par HYDRETUDES pour les durées de pluie suivantes :

- Les quantiles de 6mn, 30mn, 1 h, 2h, 6h et 12h. La méthode d'ajustement utilisée est la loi Locale-Régionale GEV qui prévale depuis 2012 à Météo France. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV pour ces pas de temps contient 56 valeurs maximales annuelles pour la période 1982–2016. Il provient également de la station 83031001 (LE_LUC) située sur un rayon de 37.6 km.
- Les quantiles de 24 h. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV pour l'épisode 24H contient 202 valeurs maximales annuelles sur la période 1977–2014 et provient également des 8 stations : 83153001 (CAP_CEPET), 83049003 (CUERS–POUVEREL), 83137001 (TOULON), 83043005 (COLLOBRIERES), 83042001 (COGOLIN), 83031001 (LE_LUC), 83083001

(MONTFORT–SUR–ARGENS), 83116004 (ST_MAXIMIN–OLLI) situées sur un rayon de 49.2 km.

La méthode de calcul retenue par Météo-France pour ces estimations est la méthode Locale-Régionale GEV, permettant de prendre en compte les événements pluvieux maxi annuels de la station et des stations voisines. Les 5 valeurs maximales de l'échantillon traité sont également précisées, en intégrant les valeurs des stations les plus proches de la station sélectionnée. Le choix de cette méthode de calcul permet a priori un bon ajustement des queues de distribution et moins de variabilité. Les événements pluvieux rares sont ainsi mieux appréhendés. La méthode Locale-Régionale GEV permet également de présenter des intervalles de confiance à 70%.

Le Tableau 8 ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis :

Tableau 8. Quantiles de précipitation pour Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif 83069001, alt : 2 m NGF) - méthode Locale-Régionale GEV au poste météorologique de Hyères pour la période 1982–2016 (statistiques pour t=6min à 12h) et sur la période 1977–2014 (statistiques t= 24h)

		Période de retour					
Durée (en h)	Durée (en min)	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
0,1	6	10,7	12,4	13,7	14,4	15,3	16,3
0,5	30	28,2	32,9	37,2	39,6	42,6	46,5
1	60	38,5	45,7	53,1	57,4	63,1	70,9
2	120	51.4	63.9	77.6	86.2	98	115.5
6	360	72,7	93,9	119,2	136,4	161	200,7
12	720	83,3	111,1	137	153,9	177,5	214
24	1440	108,8	128,5	147,5	158,5	172,3	191,1
24h*	1440	117,3	139,2	161	174,1	190,7	204,3

* Fourchette haute de l'Intervalle de confiance à 70 % de l'ajustement

La qualité des ajustements est variable suivant les durées de pluies considérées (nb : les graphiques d'ajustement ne sont pas libres de droit). Les quantiles sur 24 h pour les durées de retour de plus de 10 ans sont par exemple sous-estimés par rapport aux observations. **La fourchette haute de confiance à 70 % de l'ajustement est retenue par la suite.**

Ces nouvelles estimations (2018) montrent une augmentation quasi systématique des statistiques de pluie par rapport aux anciennes données récupérées sur la station de Hyères (2005). Les quantiles pour l'épisode de 30 min et 1 h présente des écarts respectivement d'environ + 15% et + 20 % quel que soit le temps de retour considéré. Pour les pas de temps de 6h et 12h l'écart augmente avec le temps de retour considéré jusqu'à plus de 30 % pour le T=50 ans. Cela est lié au paramètre de forme de l'ajustement pour ces deux pas de temps.

Outre les différences liées aux méthodes d'ajustement, l'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV en 2018 couvre une période récente (1982-2016) avec notamment des nouveaux records pluviométriques ces 10 dernières années (36.7 mm en 30 min le 11/10/2014 ; 70.6 mm en 1h le 15/06/2010 …). Une pluie de 1h considérée d'ordre centennale il y a 15 ans est aujourd'hui entre 20 et 30 ans de période de retour. L'analyse de près de 700 longues séries de maxima annuels des pluies journalières en France sur la période 1947-2010 (Soubeyroux et al, 2015) a montré que sur les régions méditerranéennes plus de 80 % des séries présentaient une tendance à la hausse même si cette hausse était significative du point de vue statistique pour seulement 10 %

d'entre elles. Voir : http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Evolution-des-pluies-mediterraneennes-et-changement-climatique.html

Ces données récentes sont utilisées comme référence dans la présente étude pour la station de Hyères - Ban le Palyvestre (83069001).

3.2.1.3 Point de grille SHYREG

Du fait des reliefs du bassin versant, les quantiles de précipitations SHYREG (données payantes de Météo-France) pour les périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, et 100 ans) et les durées (1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h) ont également été acquis auprès de Météo France par HYDRETUDES en 2018.

Le point de grille kilométrique (1 km²) est centré sur le Mont Coudon au nord de Toulon (alt. Entre 600-700 m).

Rappelons que les pluies qui sont issues de la méthode SHYREG (méthode régionale prenant en compte le relief) restent des pluies ponctuelles au pas d'espace de *1 km²* sans cohérence spatiale entre elles. En effet, la méthode met en œuvre un générateur de pluies horaires issu d'un calage sur des chroniques de pluies ponctuelles et non pas un générateur de champs de pluie. Les valeurs disponibles ne prennent pas en compte les événements récents (puisque les données de base utilisées sont sur la période 1980-1999). Les quantiles ne sont pas assortis d'intervalles de confiance.

Si les estimations ponctuelles ne sont pas disponibles à proximité d'un lieu d'étude, cette méthode SHYREG est à privilégier, surtout dans les zones accidentées (cf. http://climatheque.meteo.fr/Docs/DRR2R-methode.pdf).

Le Tableau 9 ci-dessous présente les quantiles de précipitation recueillis.

Tableau 9. Quantiles de précipitation recueillis - base SHYREG-pluie

point de grille : coordonnées géographiques Lambert2 étendu X = 8980, Y = 18020

	Durées de retour					
Durées de cumul	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
1 HEURE	73.8 mm	65.9 mm	55.5 mm	47.7 mm	40.2 mm	30.8 mm
2 HEURES	81.8 mm	73.5 mm	62.7 mm	54.6 mm	46.8 mm	36.6 mm
3 HEURES	90.8 mm	81.8 mm	70.1 mm	61.8 mm	53.1 mm	42.4 mm
4 HEURES	99.5 mm	89.4 mm	77.0 mm	67.7 mm	58.6 mm	47.1 mm
6 HEURES	115.4 mm	103.2 mm	89.4 mm	77.8 mm	67.5 mm	54.5 mm
12 HEURES	152.3 mm	135.0 mm	114.5 mm	100.2 mm	86.8 mm	70.2 mm
24 HEURES	199.6 mm	175.0 mm	144.9 mm	124.8 mm	107.2 mm	86.6 mm
48 HEURES	247.5 mm	214.6 mm	174.6 mm	148.5 mm	127.0 mm	103.3 mm
72 HEURES	268.2 mm	231.8 mm	188.7 mm	161.6 mm	139.1 mm	113.1 mm

Produit élaboré par RISTIA, mis à disposition par Météo-France

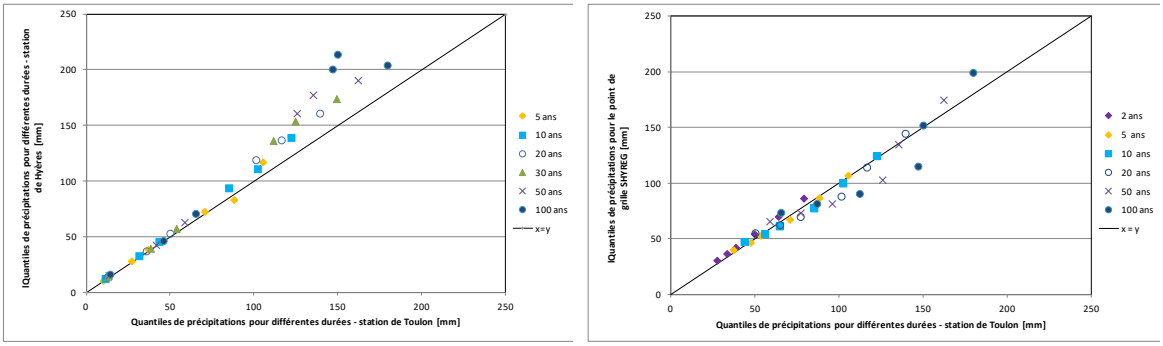
Les données de base utilisées pour l'élaboration des statistiques portent sur la période 1980-1999

3.2.2 Comparaison des données statistiques locales

Les quantiles des 3 jeux de données de statistiques locales, récupérées aux stations MétéoFrance de Toulon Saint-Mitre et Hyères et au point de grille SHYREG, ont été

comparés pour chaque temps de retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt. Pour rappel ces 3 sites de données encadrent le bassin versant de l'Eygoutier.

Les résultats (cf. Figure 14) montrent que dans l'ensemble les 3 sites suivent les mêmes tendances : les quantiles poste à poste (avec le poste de Toulon comme référence) sont très bien corrélés (relations linéaires) avec des R^2 proche de 1 pour les périodes de retour entre 2 et 30 ans. Quelques soit la période de retour, les écarts augmentent avec les cumuls et donc la durée considérée. Les quantiles de précipitations à Hyères sont égaux ou quasi systématiquement au-dessus de ceux de Toulon (excepté T=5 ans et Δt =12h).



(a) Quantiles de précipitations à Hyères vs Toulon (b) Quantiles de précipitations SHYREG vs Toulon

Figure 14. Comparaison des quantiles de précipitations à Hyères et au mont Coudon (SHYREG) avec ceux de Toulon pour chaque temps e retour T et pour les différents pas de temps de cumul Δt

Rappelons que les méthodes et période d'ajustement diffèrent d'un poste à l'autre.

3.2.3 Courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier

Sur la base des quantiles de précipitation, issus des deux stations Météo-France (Toulon, Hyères) et du point de grille SHYREG, des coefficients de Montana ont été déterminés afin d'établir une statistique moyenne des pluies représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier.

Les estimations des coefficients de Montana (a,b) par la formule des hauteurs (avec l'intervalle de durée de pluie D) sont basées sur l'analyse réalisée dans la PHASE 3.1 sur les 3 jeux de données (quantiles de précipitation, durées, période de retour) issus des deux stations Météo-France (Toulon, Hyères) et du point de grille SHYREG. Au vu de la dispersion des quantiles poste à poste et compte tenu du découpage en sous-bassins versant envisagé (et du caractère urbain de certains de ces bassins versants), les régressions ont été obtenues avec deux points pivot à 1h et 6h.

Les paramètres de l'ajustement de Montana pour les quantiles de précipitations représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier sont reportés dans le Tableau 10 ci-dessous.

Remarque : Un ajustement n'est valable que pour la plage de durées de pluie pour laquelle il a été construit. L'utiliser en dehors de cette plage peut conduire à surestimer ou sous-estimer de façon très importante des intensités.

Tableau 10. Ajustement de Montana pour les quantiles de précipitations représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issu des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG).

$H=at^b$ (H en mm et T en min)		Période de retour (ans)						
Durées de la pluie	**Coefficients**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
D ≤ 1h	a	3.29	3.81	4.18	4.37	4.44	4.53	4.57
	b	0.53	0.57	0.59	0.61	0.63	0.64	0.67
1h < D ≤ 6h	a	7.43	9.85	11.03	11.89	12.13	12.42	12.18
	b	0.33	0.33	0.34	0.36	0.38	0.39	0.42
6h < D ≤ 24h	a	7.29	10.45	14.95	21.04	25.46	33.09	50.68
	b	0.33	0.32	0.30	0.27	0.25	0.23	0.18

Les courbes IDF obtenues (Figure 15) permettent soit d'identifier le temps de retour d'un événement historique soit de générer des quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (pluie de projet).

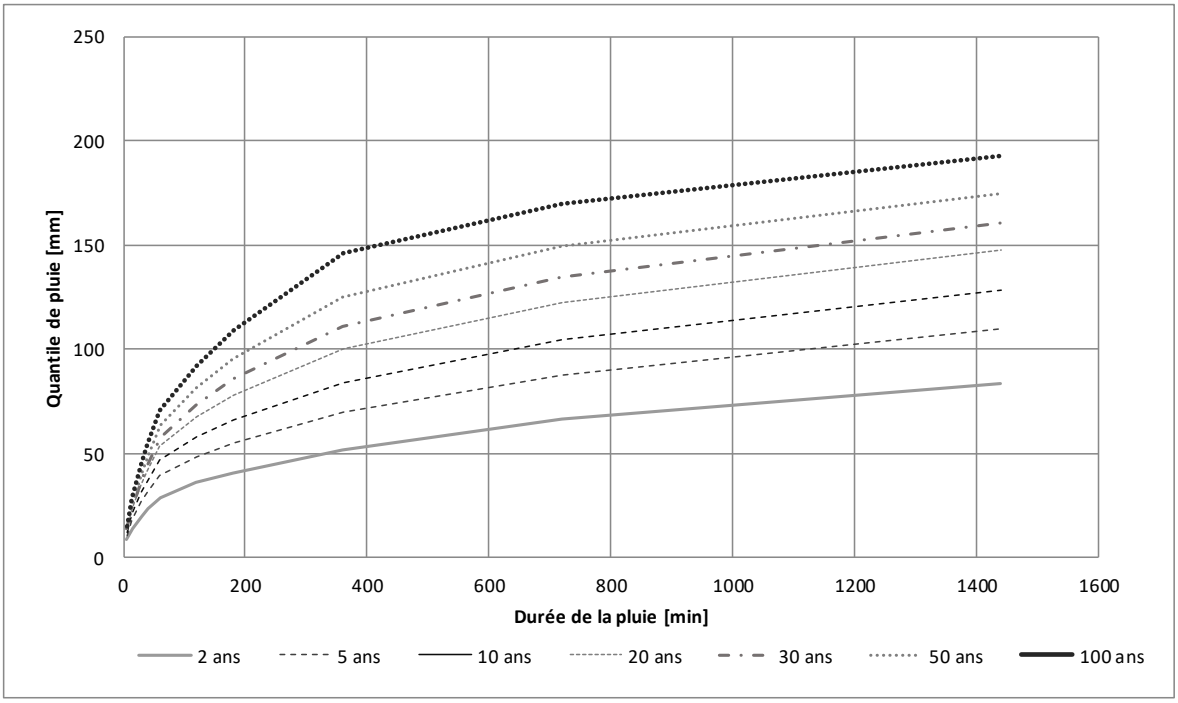
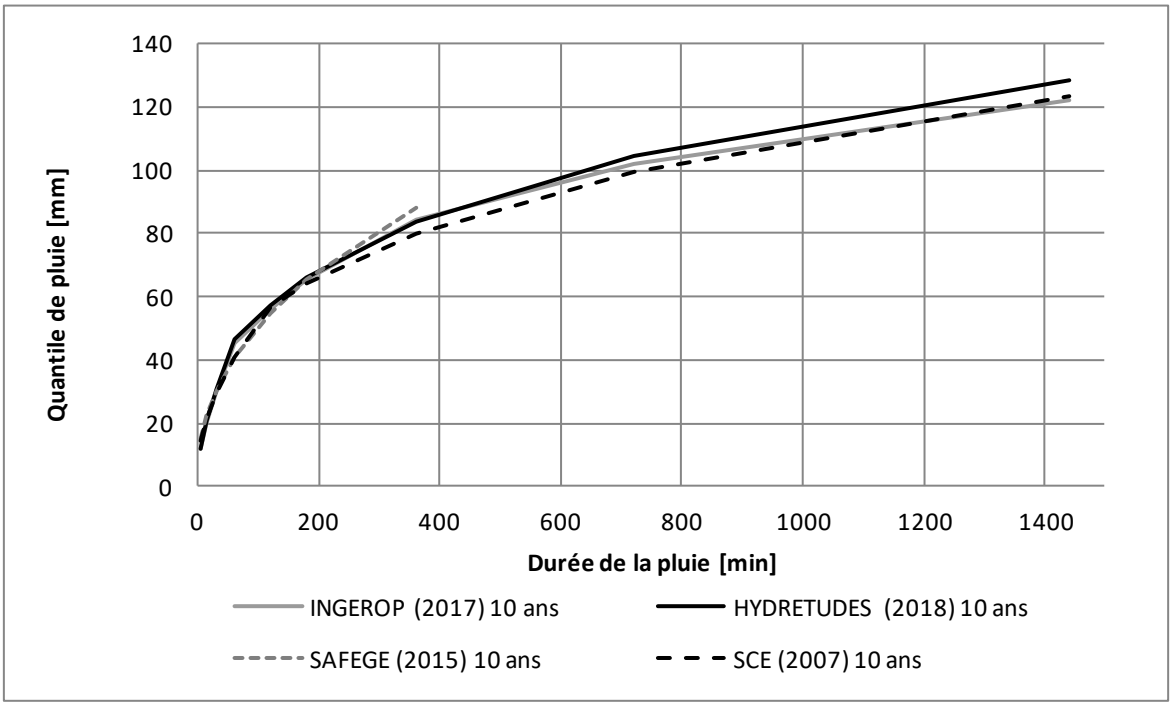


Figure 15. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issue des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG).

Remarque : Il faut bien garder à l'esprit que ces valeurs sont des estimations qui dépendent des informations disponibles au moment de leur évaluation. Un événement ultérieur est toujours susceptible de les contredire. Les estimations de quantiles de pluies estimées pour un même pas de temps et une même période de retour varient sensiblement selon la méthode employée ET la période de calcul.

La comparaison des quantiles proposés avec ceux des études antérieures (cf. Figure 16) montre une très bonne concordance des estimations pour les temps de retour inférieurs ou égal à 10 ans. Les différences s'accroissent avec l'augmentation de la durée de retour mais restent variable suivant la durée de la pluie prise en compte.



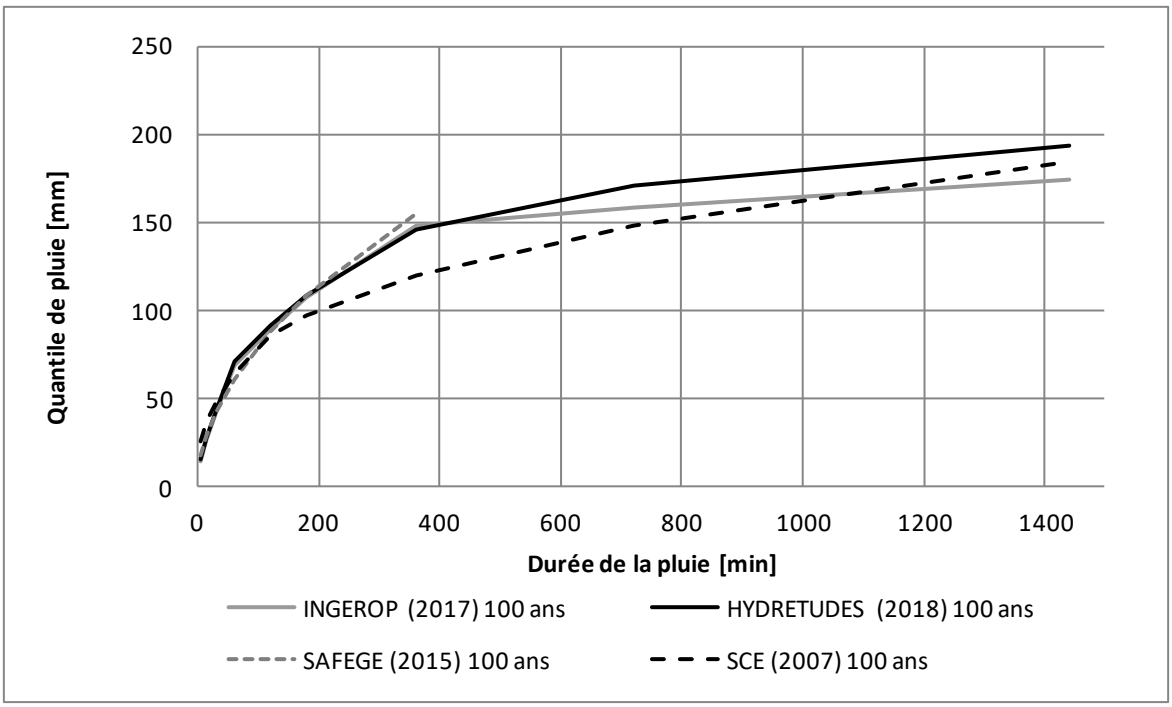


Figure 16. Comparaison avec les courbes IDF des études antérieures pour différents temps de retour (10 ans et 100 ans)

Les remarques ci-dessous concernent les quantiles pour une période de retour de 100 ans :

- Les estimations proposées sont très proches de celles d'Ingerop (2017) pour la définition du schéma d'aménagement du ruisseau de la Planquette avec des écarts inférieurs à 5% sauf pour les pas de temps de 12h et 24h (avec une augmentation de 8% et 10%). Ingerop a recueilli pour cette étude auprès de Météo-France les quantiles à la station de Toulon Saint-Mitre (sur la période 1971-2012) et a utilisé deux pivots à 1h et 6h (résultats cf. Tableau 7 ci-dessus).

- Sur des durées courtes (≤30mn), les ajustements de SCE (2007) du Schéma stratégique de lutte contre les inondations sur le bassin versant toulonnais de l'Eygoutier, ont tendance à surestimer la hauteur précipitée (42% pour le pas de temps de 6 min), tandis que sur des durées longues, la pluie SCE a tendance à sous-estimer la hauteur précipitée. La différence est faible pour le pas de temps de 24h (5%). Cela s'explique notamment par l'ancienneté des données utilisées et le pivot égal à 2h utilisé. SCE avait recueilli auprès de Météo France les coefficients de Montana sur les durées 6 min – 2h et 2h – 24 h, sur la période d'observation 1971-2005 à la station de Toulon.
- Enfin, les quantiles proposés sont parfois supérieurs ou inférieurs à ceux utilisés dans l'étude SAFEGE (2015) -pour l'aménagement du ruisseau de Saint-Joseph, avec des différences parfois notables de +16 (pour les pluies de 1h) et -17% (pour les pluies de 6min). Les autres écarts sont en dessous de 10%. SAFEGE a recueilli pour cette étude les coefficients de Montana sur les durées 15 min – 6 h (sans pivot), sur la période d'observation 1971-2012 à la station de Toulon.

L'utilisation des statistiques de Hyères, mise à jour en 2018, pour la construction des courbes IDF explique en partie ces différences à la hausse. Ces nouvelles courbes IDF permettent a priori de mieux appréhender les événements pluvieux rares enregistrés ces 10 dernières années, et ainsi de permettre de ne pas sous-estimer le risque pluviométrique.

3.3 PLUIE DE PROJET DE REFERENCES

Une pluie de projet est un hyétogramme de pluie qui a été choisi ou construit pour produire, par simulation pluie-débits, une crue de projet permettant d'effectuer le dimensionnement ou le diagnostic d'ouvrages hydrauliques (Hingray et al., 2009).

Une pluie se définit par son extension spatiale, sa période de retour et sa durée, mais aussi sa forme et son intensité maximale : Il existe une infinité de pluies de projet (Hingray et al., 2009 ; CEREMA, 2014).

L'approche menée dans cette étude est de caractériser les épisodes provoquant des crues exceptionnelles et généralisées de l'Eygoutier sur l'ensemble de son bassin versant.

Pour la présente étude, le choix pour construire les pluies de projets courantes (2 à 50 ans) et rares (≥100) s'est ainsi porté sur :

- La caractérisation- en termes d'intensité, de forme, de durée et d'extension spatiale, de pluies historiques faisant localement référence et ayant provoquées des événements de crue marquants sur l'Eygoutier (inondation / crues historiques)
- L'utilisation des courbes Intensité-Durée-Fréquence et des coefficients de Montana précédemment identifiés.

3.3.1 Intensité Formes/durées de pluie des pluies historiques

L'étude des événements marquants "inondation" sur le bassin versant de l'Eygoutier (se référer au rapport de la partie PHASE 3.1) a fait ressortir 3 grands types d'épisodes pluvieux ayant provoqués des dégâts ou des crues remarquables.

- Type 1 : Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée MAIS pas d'intensité remarquable. L'événement du 3 au 9 octobre 2011 est de ce type (Figure 17).

- **Type 2 :** Episode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours) ET des intensités remarquables. **L'Evénement pluviométrique typique de ce type d'événement est l'événement de 1978.** La pluviométrie infra-journalière de l'événement n'est pas bien connue faute de station automatiques à cette époque (les données infra-journalières ne commencent qu'en 2004 à la station de Toulon). Des données de pluie de 1978 sont cependant disponibles au pas de temps 6h (des relevés des cumuls auraient été faits toutes les 6h compte tenu de l'importance de l'évènement) dans l'étude SCE, 2007 – cf. Figure 18).
- **Type 3 :** Episode orageux nettement localisés (type méditerranéen) caractérisé par des intensités records sur des pas de temps très courts. **L'Evénement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006** est l'événement de référence. Les pluies au pas de temps de 6 min enregistrées à Toulon et au Cap Cepet ont été récupérées (Figure 19).

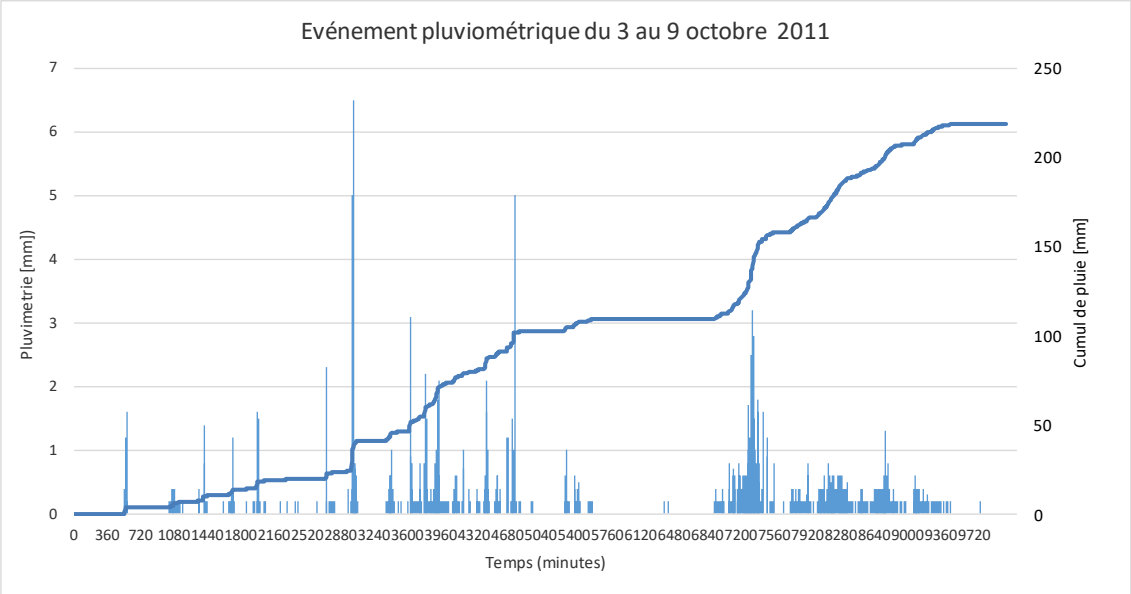


Figure 17. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 min sur l'événement du 3 au 9 octobre 2011 (Type 1)

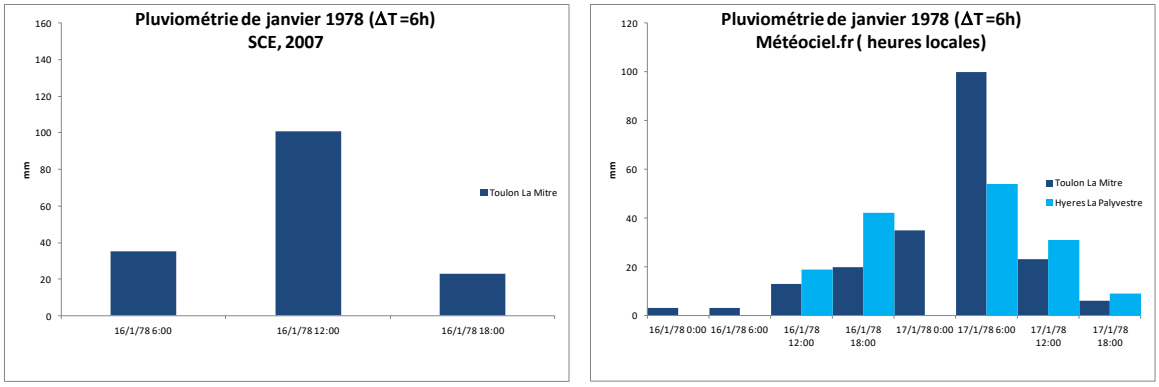


Figure 18. Evolution de la pluviométrique au pas de temps 6 h sur l'événement à Toulon et Hyères pour l'Evénement pluviométrique typique de ce type d'événement est l'événement de 1978 (Type 2)

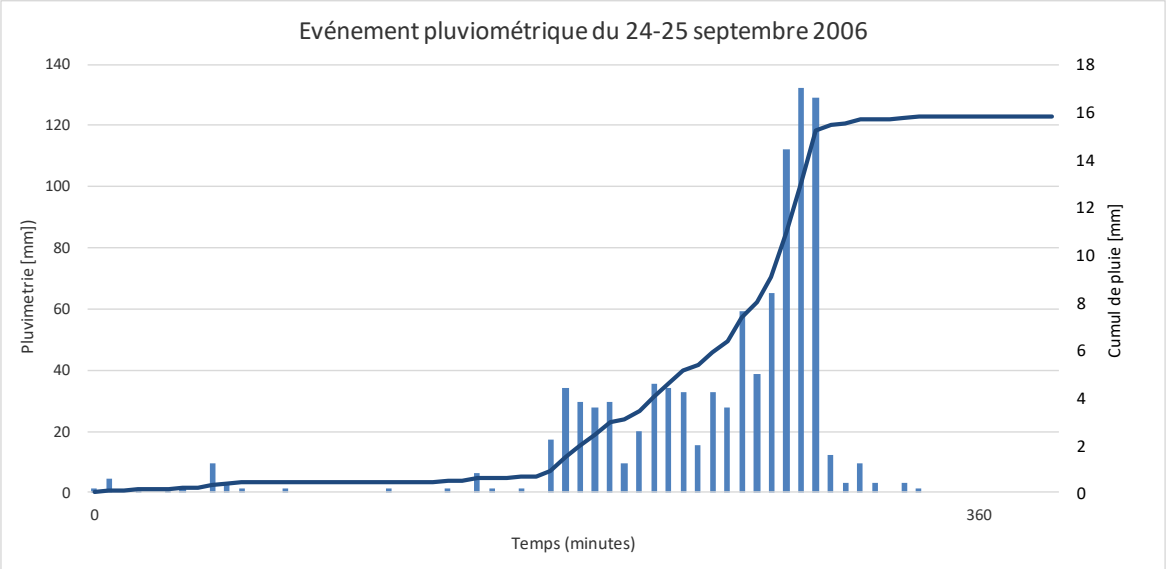


Figure 19. Evolution des cumuls de pluie au pas de temps de 6 min à la station de Toulon la Mitre pour l'Evénement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006 (type 3)

Des pluies de projet représentatives des 3 types de pluies remarquables du bassin versant ont ainsi été construites lors de la 1ère étape de l'étude hydrologique. La type 1 sur 48h est abandonnée donnant de trop faible intensité sur les pas de temp court.

Les éléments suivants ont été retenus pour les pluies de type 2 et 3.

3.3.1.1 Pluies de projet type 2 (de durée 24h)

Il s'agit d'épisode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longues durées (24h) ET des intensités remarquables sur 24h.

La pluie de référence rare de type 2 « 1978 » est construite à partir de la pluie de temps de retour 100 ans sur 24h (déduite des courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier) et d'une forme de pluie triangle symétrique de 24h.

La pluie « rares » de Type 2 (1978) est ainsi uniquement centennale pour une durée de 24h. Pour les durées de pluie plus courtes les fréquences diminuent.

Les autres pluies, de temps de retour, 2, 5, 10, 30, et 50 ans, sont construites à partir des mêmes hypothèses à partir des cumuls 2, 5, 10, 30, et 50 ans et du gabarit triangle de 24h (cf. Figure 20).

Le gabarit proposé (pluie triangle de 24h) permet de s'approcher au mieux des statistiques de la pluie de 1978 (point rouge Figure 21 ci-dessous).

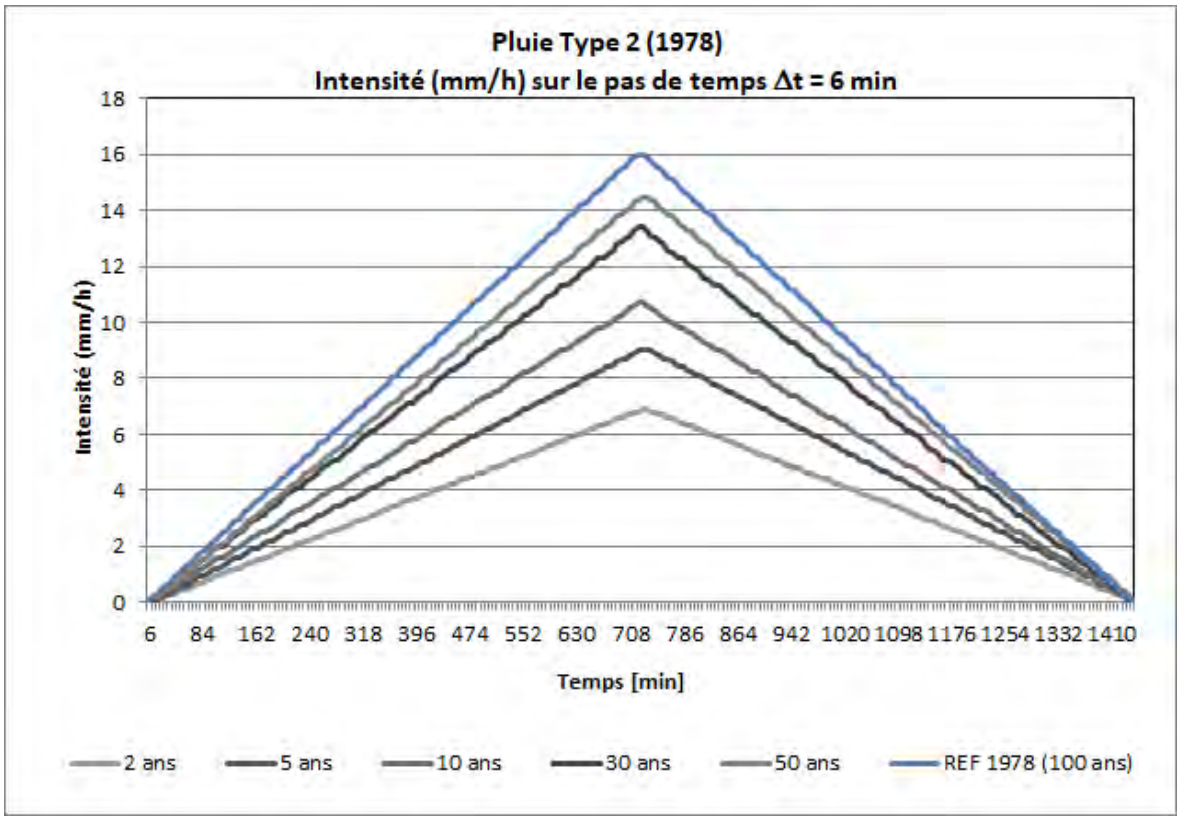


Figure 20 : Scenarios de pluies de référence type 2(1978) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 6 min.

A titre de comparaison, les pluies de projet 24h de temps de retour 100 ans selon une pluie de forme bloc, double triangle (période intense de 6h ou 12h) ou selon la méthode "composite" dite aussi de Kiefer ont également été construites. Dans ce dernier cas la forme de la pluie de projet suit strictement l'évolution des quantiles issus de l'analyse statistique (elle recoupe donc la ligne 100 ans dans la Figure 21 ci-dessous).

Les autres formes de pluies présentent des cumuls trop importants pour les faibles pas de temps par rapport à la pluie 1978. Elles correspondent d'avantage à des pluies de type 3.

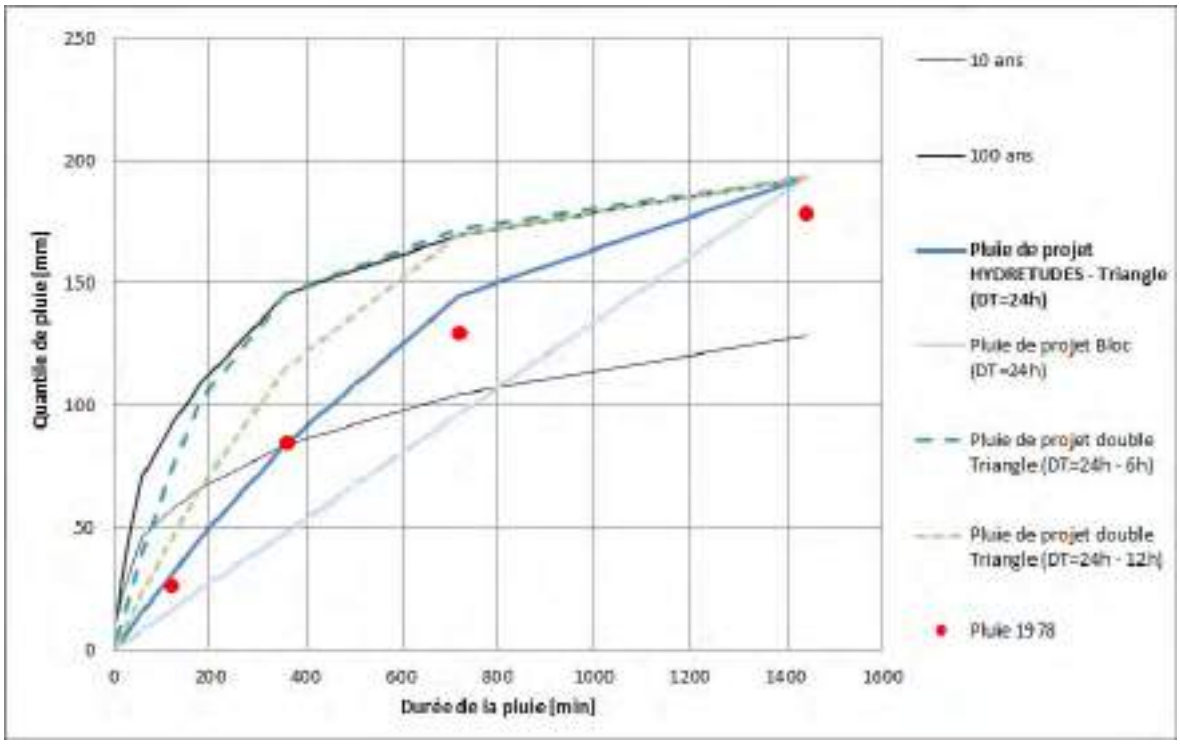


Figure 21. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier et pluie de projet Type 2

3.3.1.2 Pluies de projet type 3 « 2006 » (de durée 2h)

Ce sont des épisodes orageux nettement localisés (type méditerranéen) caractérisés par des intensités record sur des pas de temps très courts.

La pluie de référence rare de type 3 « 2006 » est celle actée par la DDTM pour le Gapeau. Elle a été construite à partir des données de pluie de l'événement du 24-25 septembre 2006 enregistrées au Cap Cepet sur Saint-Mandrier par Météo-France au pas de temps de 6 min (environ à 4 km au sud de Toulon - voir carte de la Figure 10 ci-dessus).

Le gabarit proposé est une pluie de forme double-triangle avec un volume totale de 130 mm sur 2h et un volume de 90 mm sur la période intense de 40 min (pointe au 2/3) pour une pluie de 24h (cf. Figure 22).

A l'inverse, de la pluie « 1978 » la pluie de référence « rare » de type 3 (2006) est plus que centennale pour le bassin versant de l'Eygoutier sur les pas de temps fins (de 6 min à 2h) puis moins que centennale pour les durées de pluies supérieures. Elle reste d'ordre décennal pour une pluie de 24h.

Les autres pluies, de temps de retour, 2, 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans, sont en revanche construites à partir des courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier mais avec le même gabarit (pluie de forme double-triangle de durée 2h et de période intense de 40 min).

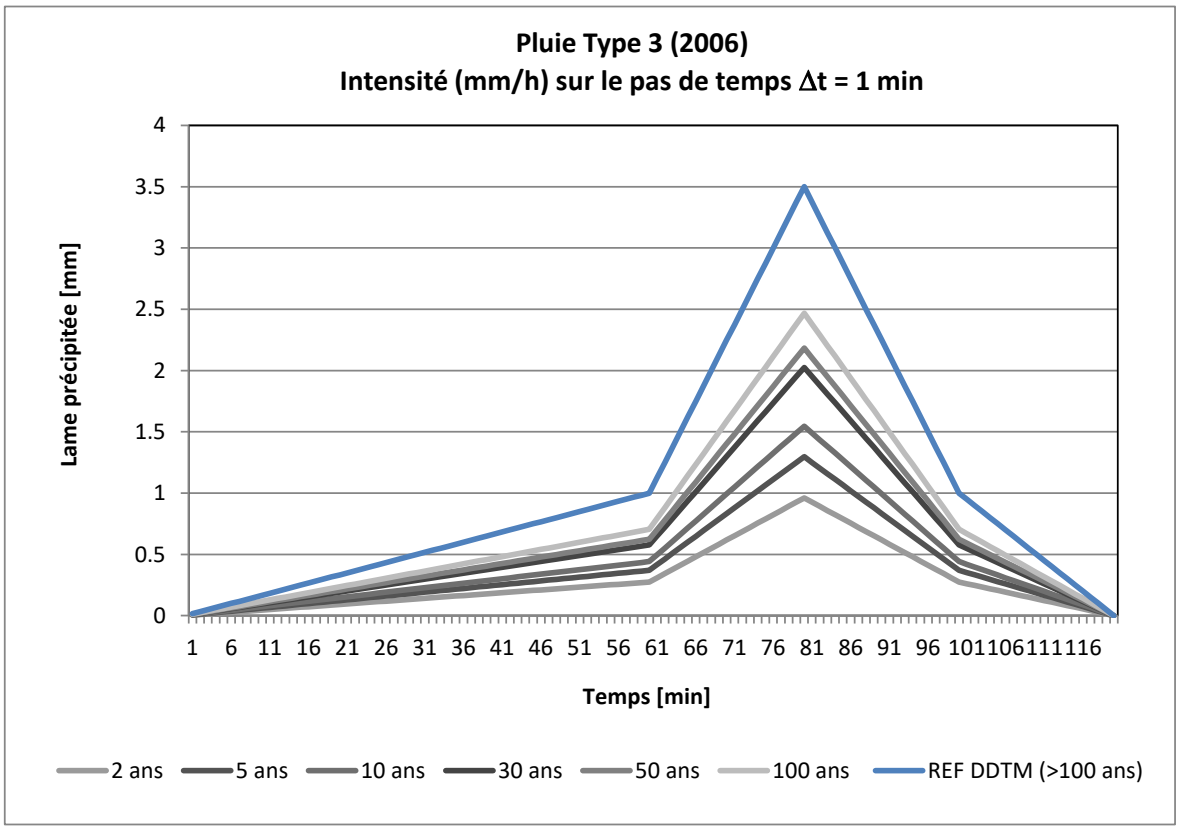


Figure 22 : Scenarios de pluies de référence type 3 (2006) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare plus que centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 1 et 6 min

La pluie de projet actée par la DDTM est par ailleurs au-dessus de la pluie réelle enregistrée à Toulon la Mitre par Météo-France au pas de temps de 6 min (point rouge Figure 23 ci-dessous). Cela est lié au fait que l'épicentre de l'épisode orageux de la nuit du 24 au 25 est nettement localisé au sud de la rade de Toulon.

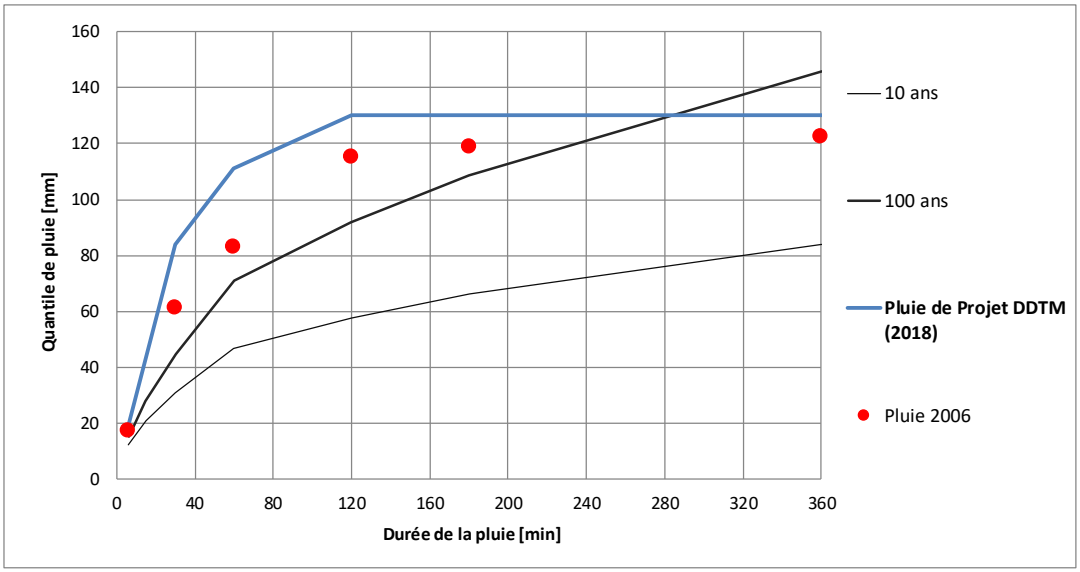
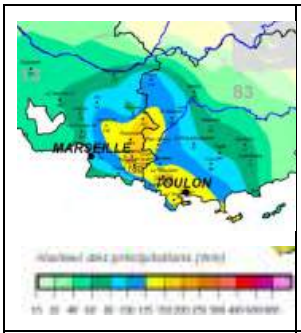


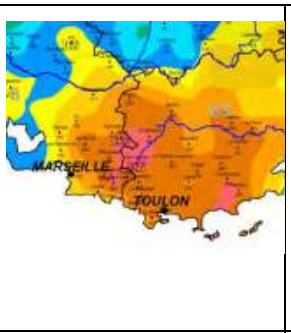
Figure 23. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier et pluie de projet Type 1

3.3.2 Spatialisation de la pluie

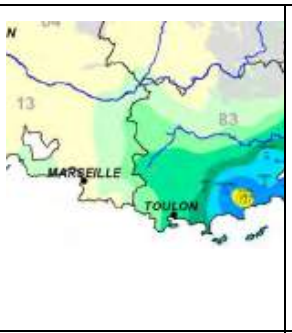
L'analyse des événements historiques de crue (se référer au rapport de la partie PHASE 3.1) montre que de très nombreuses crues sont liées à des épisodes de pluies exceptionnelles par leur ampleur géographique et leur durée (épisode de 1 à plusieurs jours – cf. Figure 24). Ce sont les épisodes de type 1 (crue de 2011) et de type 2 (crue de 1878) précédemment identifiés dans les scenarios de références.



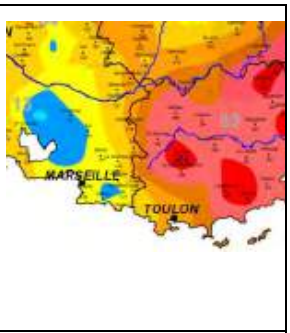
Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 16 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 17 JANVIER à 6 h UTC



Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 10 jours du 11 JANVIER 1978 à 6 h UTC au 21 JANVIER à 6 h UTC



Quantité de pluie (mm) en 1 jour du 8 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 9 NOVEMBRE à 6 h UTC



Cumuls pluviométriques (mm) – Episode de 7 jours du 3 NOVEMBRE 2011 à 6 h UTC au 10 NOVEMBRE à 6 h UTC

Figure 24. Exemple de distribution spatiale des cumuls pluviométriques (mm) sur le Var (1978 et 2011) (source : http://pluiesextremes.meteo.fr)

Les événements de type 3 sont quant à eux caractérisés par des épisodes de moindres extension spatiale. Ils sont caractéristiques des épisodes pluvio-orageux localement intenses se produisant au niveau du bassin versant mais sans cumuls journaliers remarquables. Les crues de 2006, 2012 et 2014 sont de ce type. Ces épisodes sont répertoriés comme mémorable sur le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine. C'est un flux de sud-est qui a engendré la formation de cellules orageuses intenses qui ont ensuite traversé une partie du département du Var d'Ouest en Est.

Les quelques images radar récupérées n'ont pas permis de dégager une configuration spatiale particulière pour l'ensemble des épisodes pluvio-orageux de type 3 se produisant au niveau du bassin versant. Elles montrent cependant que la taille de la cellule orageuse (et aussi celle la plus intense) semble être importante par rapport à la taille du bassin versant de l'Eygoutier.

Cette observation est illustrée par les images radar ci-dessous (cf. Figure 25) pour l'épisode de septembre 2014 qui a traversé le littoral de Marseille à Toulon (produisant des inondations de la Plaine de la Garde et le débordement des cours d'eau d'après les témoignages) puis a continué sa progression vers l'est. L'épisode pluvio-orageux de septembre 2014 de type « Episode méditerranéen » est répertorié comme mémorable pour les Cévennes et le Var sur le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine". La pluviométrie acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, avec un pas de temps de 6 minutes (HYDRETUDES, 2018) montre que l'événement s'est produit sur une très courte durée (1 heure) avec des intensités extrêmes (>50 ans) sur les pas de temps 30 et 6 min.



Image radar 11:30 le 19/09/2014



Image radar 12:45 le 19/09/2014



Localisation du bassin versant de l'Eygoutier

Figure 25. Radar de précipitations du Bulletin spécial N°295 du site infoclimat (source : https://www.infoclimat.fr/bulletin-special-293-archive.html#20 et 21)

Par ailleurs, l'analyse spatiale des précipitations journalières exceptionnelles, menées sur les 5 stations de météo France sur le bassin versant de l'Eygoutier et à proximité, a confirmé que les fortes pluies à Toulon sont généralement associées à des fortes pluies au Cap Cepet et à Hyères (la réciproque est vraie, surtout pour la station du Cap Cepet). Les fortes pluies à Toulon sont aussi en moyenne associées à des fortes pluies à Cuers, mais la réciproque n'est pas vraie.

Le choix de distribution des pluies s'est porté sur **une pluie uniforme sur l'ensemble des pixels du bassin versant pour la modélisation pluie-débit.** L'approche menée dans cette étude est de caractériser les épisodes provoquant des crues exceptionnelles et généralisées de l'Eygoutier sur l'ensemble de son bassin versant. L'hypothèse est que la taille d'une cellule orageuse provoquant une crue significative à 'exutoire de l'Eygoutier est comparable avec celle du bassin versant.

3.4 SYNTHESE ET CONCLUSIONS

Des pluies de projet courantes (2 à 50 ans) et rares (≥100) ont été construites sur la base : 1) de l'intensité, de la forme, de la durée et de l'extension spatiale des pluies « historiques » faisant localement référence et 2) des courbes Intensité-Durée-Fréquence et des coefficients de Montana représentatifs du bassin de l'Eygoutier.

Deux formes de pluies représentatives des pluies remarquables du bassin versant de l'Eygoutier ont été construites lors de l'étude hydrologique (cf. Figure 26) :

1. **Pluies de projet type 2, abondante et de longue durée (de durée 24h)**
2. **Pluies de projet type 3 « 2006 », intense et courte (de durée 2h)**

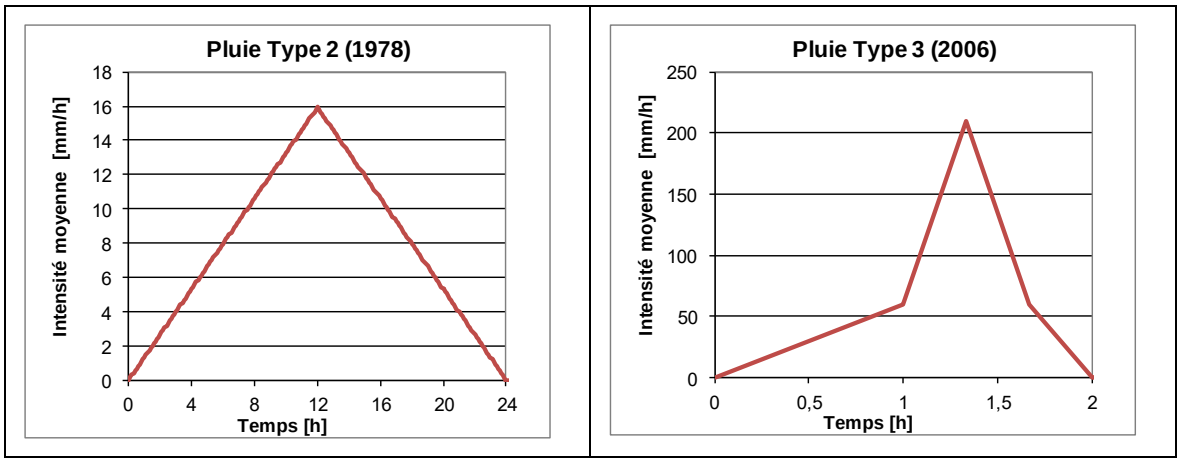


Figure 26 : Forme des pluies de référence Type 2 et Type 3

Le tableau ci-dessous regroupe les quantiles de précipitation retenus pour construire les pluies de projet spatialement uniforme, sur les durées 40 min et 2h et 24 h pour les temps de retour de 2 à 100 ans. Les quantiles de la pluie de projet de référence rare « 2006 » sont mesurés. Ils sont plus que centennale.

Tableau 11. Quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (en bleu les quantiles à utiliser pour établir les scenarios de référence pour les deux crues rares « 1978 » et « 2006 »)

		Quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (mm)						
Scenarios de pluies de référence	**Durées de la pluie**	**2 ans**	**5 ans**	**10 ans**	**30 ans**	**50 ans**	**100 ans**	**> 100**
Pluie de projet « 1978 »	**24 h**	**83**	**109**	**128**	**161**	**175**	**193**	**-**
Pluie de projet « 2006 »	**40 min**	**23**	**31**	**37**	**45**	**49**	**54**	**90**
	2 h	**36**	**48**	**57**	**75**	**81**	**92**	**130**

A titre d'illustration, la Figure 27 suivante replace les deux pluies de projet de référence « rares » (1978 et 2006) sur les IDF proposées pour le bassin de l'Eygoutier. Tous les calculs ont été réalisés au pas de temps de 6 min. La pluie de projet Ingerop (2017) sur la Planquette est également reproduite. Elle est construite à partir de la courbe de retour 100 ans des IDF établie à la station de Toulon (Ingerop, 2017) pour une durée de 6h. Elle est donc centennale entre 6 min et 6 h. Elle est plus que décennale pour une pluie de 24h.

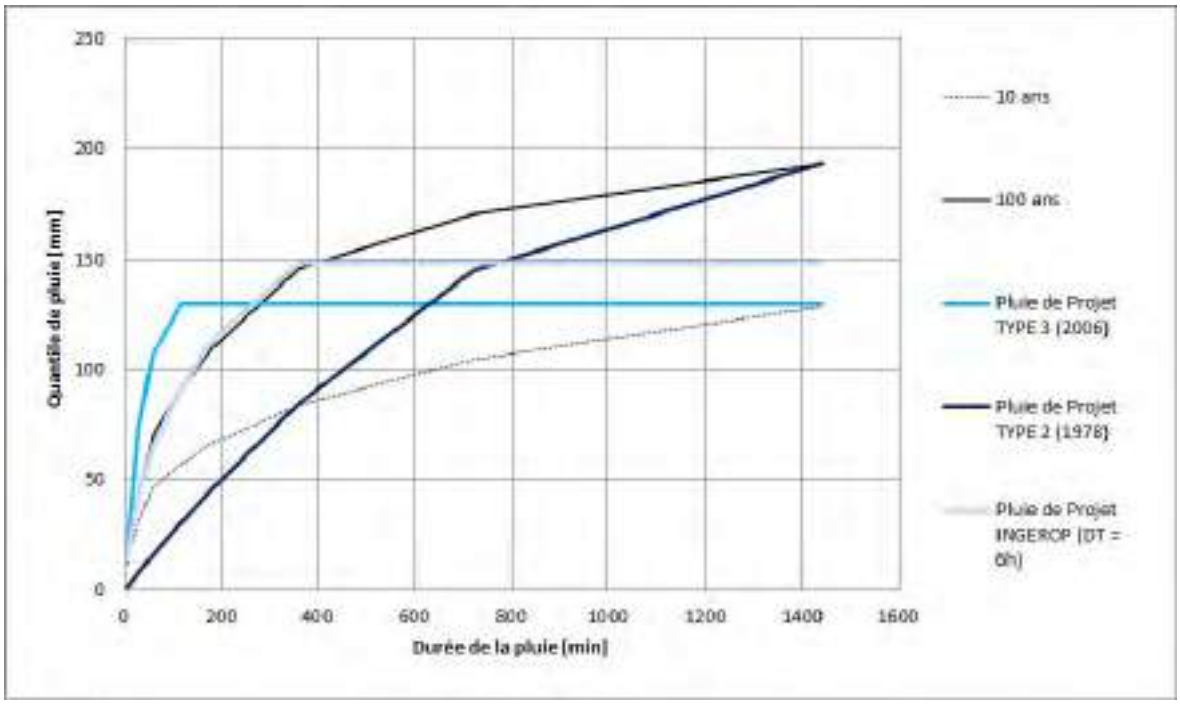


Figure 27. Caractéristiques statistiques des deux pluies de projets de référence

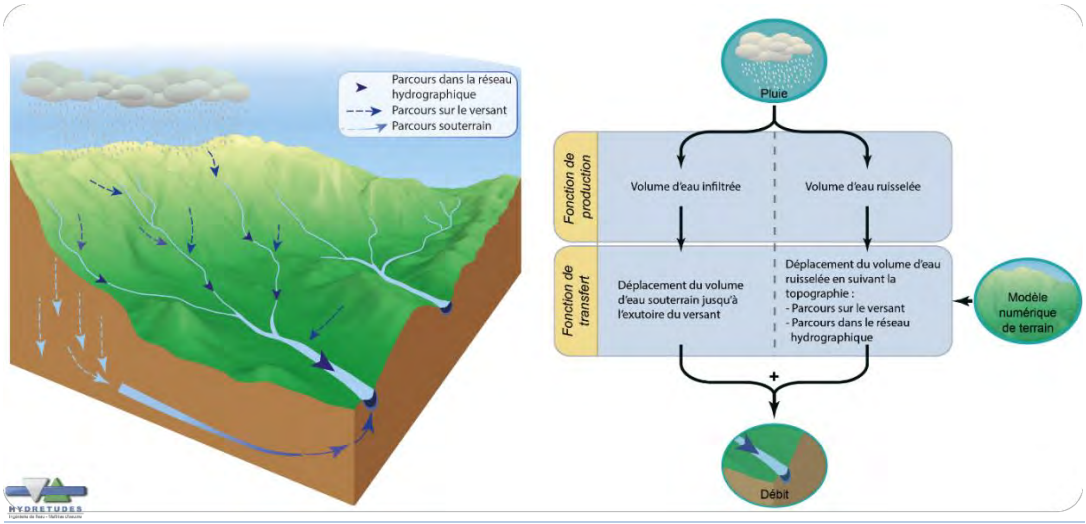
En résumé, **les 2 pluies de références retenues se définissent par leurs périodes de retours pour une durée donnée** :

- La pluie de Type 2 (1978) est uniquement centennale pour une durée de 24h. Pour les durées de pluie plus courtes les fréquences diminuent.
- A l'inverse, la pluie de type 3 (2006) est plus que centennale sur les pas de temps fins (de 6 min à 2h) puis moins que centennale pour les durées de pluies supérieures. Elle reste d'ordre décennale pour une pluie de 24h.

4 MODELISATION HYDROLOGIQUE

4.1 PRINCIPE DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE : LE MODELE MESRI

MESRI est un modèle événementiel spatialisé et parcimonieux pour la prédétermination des crues. Il permet à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et des pluies tombées sur le territoire d'estimer les débits à l'exutoire d'un bassin versant. Il analyse donc la morphologie du bassin versant et calcule la réponse hydrologique de celui-ci. La spatialisation opère principalement sur les pluies en entrée du modèle et sur les trajectoires d'écoulement de l'eau.



Le modèle se décompose en deux processus :

- La **fonction de production** qui partitionne la pluie en volume d'eau infiltrée et en volume d'eau ruisselée,
- La **fonction de transfert** qui calcule le déplacement des volumes d'eau de surface et d'eau de sub-surface.

  Dans cette deuxième phase, le modèle créé son réseau hydrographique et deux cartographies des distances :

  - Cartographie des distances sur versant : la distance au réseau hydrographique pour chaque pixel.
  - Cartographie des distances dans le réseau hydrographique : la distance de chaque pixel « réseau » à l'exutoire du bassin versant.

Grâce à ces cartographies et à une estimation des vitesses sur versant, des vitesses réseau et des vitesses de sub-surface, MESRI calcule le débit qui est la somme entre le débit de surface et le débit de sub-surface pour l'exutoire demandé.

4.2 LES GRANDES ETAPES

4.2.1 La fonction de production

MESRI s'attache à représenter les deux productions prédominantes dans l'approche évènementielle, à savoir :

- les **productions de surface** (volume qui s'écoule sur terre directement dans le réseau hydrographique),
- et les **productions de sub-surface** (production retardée rejoignant la rivière par résurgence).

Une partie de la pluie nette est également perdue (évaporation- recharge souterraine).

L'hydrogéologie du bassin versant et la vidange des nappes profondes sont ainsi intégrés pour partie dans le système de production de sub-surface et pour partie en perte définitive pour l'écoulement de crue (recharge souterraine).

L'ensemble de ces répartitions entre les différents volumes de production est calé sur les données hydrométriques mesurées et propres à chaque bassin versant.

Un schéma simplifié des 3 grandes familles d'écoulement générant les crues peut se présenter comme ci-dessous :

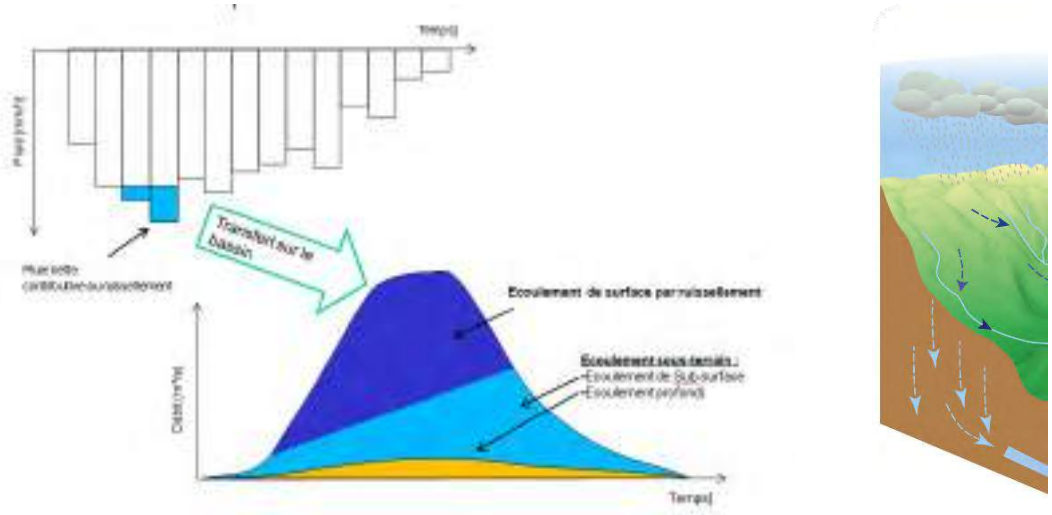


Figure 28: Hyétogramme et hydrogramme résultant d'un événement pluie-débit

4.2.2 La fonction de transfert géomorphologique

A partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) et en calculant pour chaque point du bassin versant 1) le cheminement préférentiel d'une goutte jusqu'à l'exutoire (et donc sa direction) et 2) les vitesses de cheminement, le modèle permet de déduire la réponse dite « géomorphologique » du bassin à une sollicitation pluvieuse. La morphologie du bassin versant est donc prise en compte dans le MNT.

L'établissement de la fonction de transfert suit ainsi les trois étapes suivantes :

ETAPE 1 : Identification du réseau de drainage et distance de parcours :

- Un parcours sur le versant (flèche blanche sur la Figure 29),
- Un parcours dans le réseau hydrographique lorsque la goutte d'eau a atteint la rivière qui la transporte jusqu'à l'exutoire (flèche bleue sur la Figure 29).

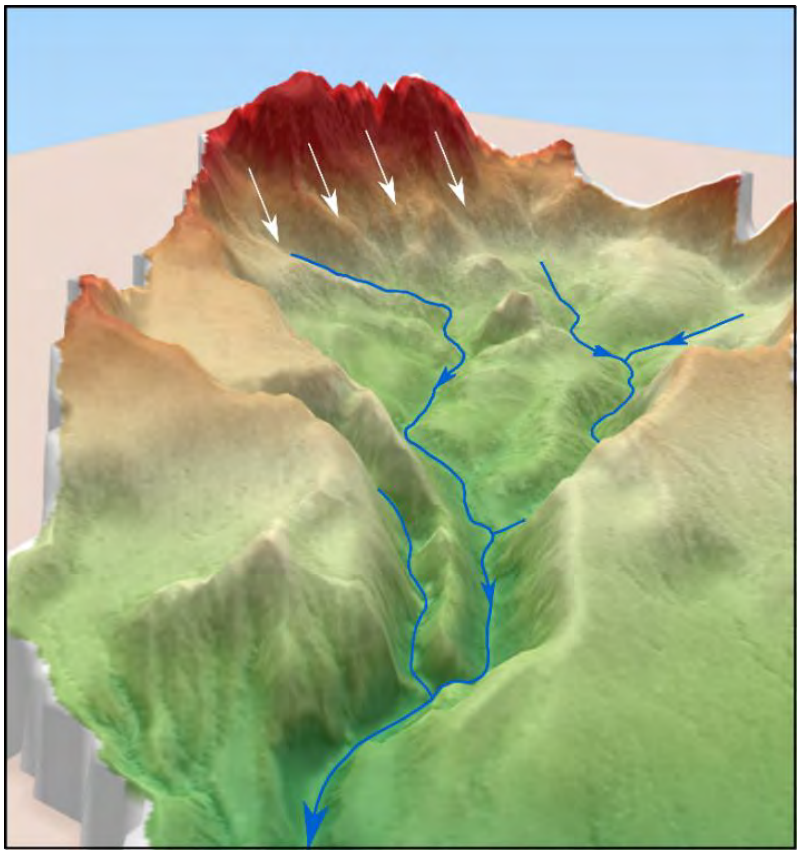


Figure 29 : Schéma de principe du transfert géomorphologique (vue 3D)

L'analyse du MNT permet donc d'identifier le réseau hydrographique et d'extraire deux cartographies nécessaires pour le calcul des débits, la **carte des distances sur versant** et la **carte des distances dans le réseau hydrographique** (Figure 30).

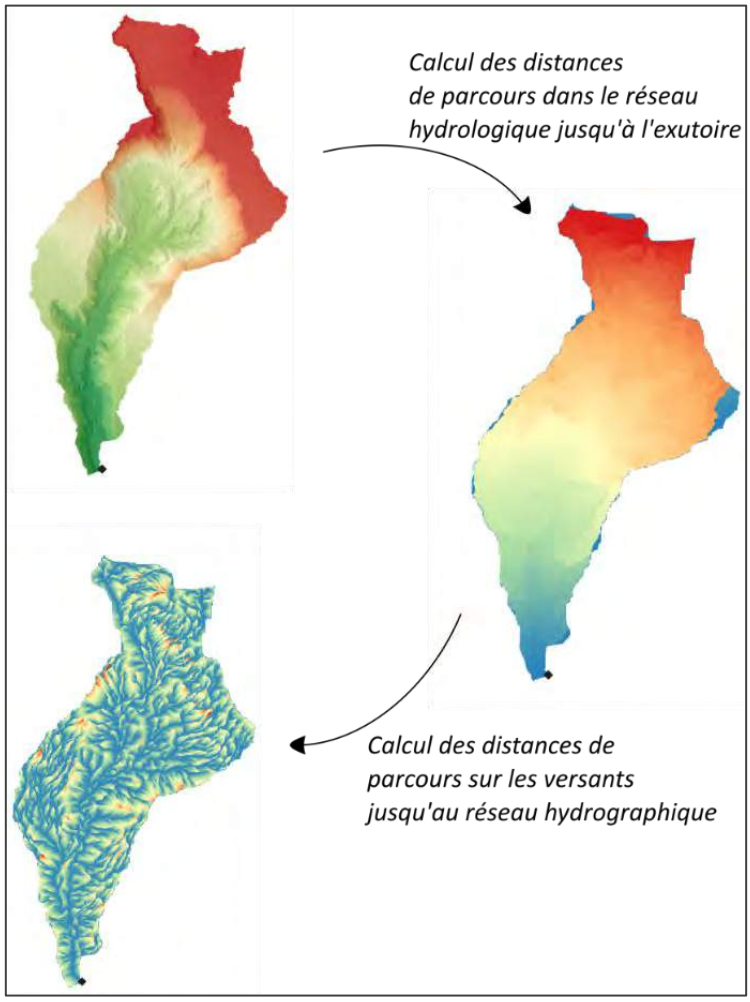


Figure 30 : Schéma de calcul des distances de parcours dans les réseaux et sur les versants

ETAPE 2 : Vitesses moyennes de transfert par calage sur les données historiques.

Ces vitesses de transfert se décomposent en :

- Deux vitesses de transfert pour le ruissellement de surface soit V_t pour le déplacement sur le versant (en dehors du cours d'eau) et V_r une vitesse d'écoulement dans le réseau hydrographique. Par hypothèse simplificatrice, MESRI suppose alors que $V_t = V_r/10$. Cette hypothèse propre à MESRI diminue le nombre de paramètre à caler. Elle a été validée sur de nombreuses études.
- Une vitesse de transfert de sub-surface V_S.qui s'applique à la distance versant

ETAPE 3 : Calcul des temps de transfert. Les temps de transfert, pour chaque point du bassin versant, sont estimés à partir de la distance de parcours et des vitesses moyennes de transfert évaluées précédemment.

Les résultats sont présentés sous forme d'une courbe % Aire contributive-Temps de concentration. Cette courbe décrit l'augmentation de la fraction de la surface totale du bassin versant qui aura contribué à l'écoulement rapide à l'exutoire du bassin t heures après le début d'un incrément de pluie en fonction du temps t.

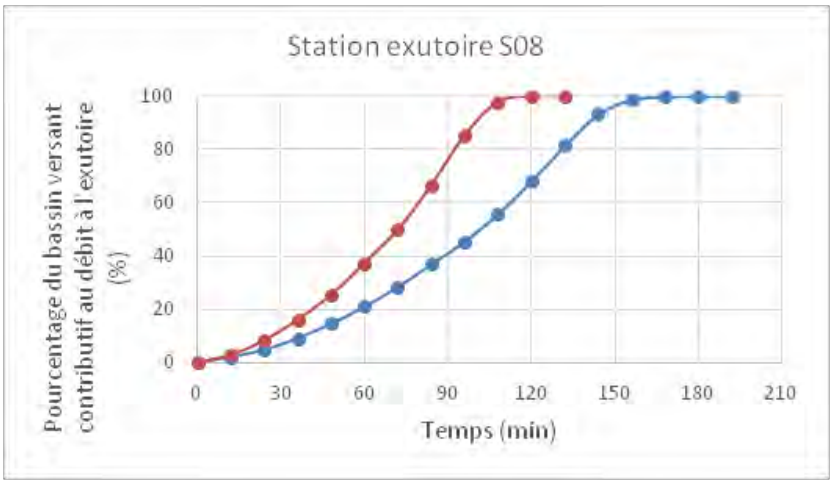


Figure 31 : Exemple de courbe % Aire contributive-Temps de concentration. Ici le résultat présente pour un même bassin versant deux courbes extrêmes suivant un transfert lent (en bleu) et un transfert rapide (en rouge) sur le bassin versant.

Une fois les distances de parcours identifiées et les fonctions de transfert calculées, les pluies sont injectées dans le modèle afin de calculer le débit qui est la somme des écoulements de surface et des écoulements de sub-surface. Un coefficient d'abattement du débit souterrain est appliqué pour simuler la participation souterraine au débit de base lorsque la pluie cesse.

En résumé, le modèle MESRI proposé est un modèle distribué, parcimonieux et événementiel. Il simule deux composantes de l'écoulement (surface et subsurface). Les 5 paramètres à caler sont :

- P1 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement dans le réseau hydrographique V_r,
- P2 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement souterrain (subsurface) V_s,
- P3 : Paramètre de production de surface P_{surf},
- P4 : Paramètre de production de subsurface $P_{subsurf}$,
- P5 : Paramètre de récession de la courbe de tarissement K (calage du paramètre de récession suivant une loi de Darcy).

Les paramètres P1 et P2 sont responsables de la distribution temporelle des volumes écoulés (acheminement à l'exutoire du bassin). Les paramètres P3 et P4 vont essentiellement jouer sur les volumes produits. Le paramètre P5 permet d'ajuster la courbe de tarissement.

4.3 DONNEES DE BASE POUR LA CONSTRUCTION DU MODELE

La mise en œuvre du modèle MESRI nécessite l'acquisition de différents types de données :

- Un **Modèle Numérique de Terrain** (MNT) pour établir le réseau hydrographique et les deux cartographies des distances (distances sur versant et distances dans le réseau hydrographique).
- Une **carte d'occupation du sol** pour prendre en compte les différences de ruissellement en fonction de l'occupation du sol (Psurf, Psubsurf).
- Des **séries chronologiques concomitantes de pluie et de débit**, indispensables pour le calage des paramètres (Vr, Vt, Psurf, Psubsurf, K).

Pour rappel, le contexte hydrogéologique du bassin versant est pris en compte de manière conceptuelle par l'intermédiaire du calage des paramètres de subsurface aux données observées.

4.3.1 Le Modèle Numérique de Terrain

Les données topographiques (nécessaires à la modélisation du bassin versant) disponibles sur le bassin versant de l'Eygoutier sont issues du RGE ALTI®. Les données sont disponibles sous la forme d'un MNT d'une résolution de 1 mètre et d'une précision de 0,1 m. Le MNT est structuré en dalles de 1 km².

La résolution du MNT couvre l'ensemble du bassin versant (Figure 32 suivante).

Il est cependant **trop précis pour la modélisation hydrologique** du fait des temps de calculs qui deviennent trop importants et des instabilités numériques qui en découlent. Rappelons que cette résolution est cependant très intéressante pour la modélisation hydraulique.

La mise en œuvre du modèle MESRI a ainsi nécessité **deux pré-traitements du MNT** :

- Une dégradation à 10 mètres du MNT a ainsi été effectué dans un premier temps (figure suivante) pour résoudre les problèmes de temps de calculs et de stabilité.
- Dans un deuxième temps, des ajustements de ce MNT, « dégradé » à 10 m, ont été nécessaires afin de reproduire au mieux le réseau superficiel et les 79 sous-bassins versant identifiées lors de la phase 1. Un exemple de prise des singularités anthropiques du terrain (fortement urbanisé) est présenté ci-dessous (Figure 33.

Malgré l'attention apportée à ces pré-traitements, les limites de certains sous-bassins versants n'ont pas pu être totalement reconstituées du fait de la taille des mailles du MNT (10 m) et de la complexité de l'occupation du sol. Des solutions simples ont été apportées pour remédier à cette difficulté de superficies différentes lors de la phase d'exploitation du modèle (§ 4.6.2).

Rappelons qu'il s'agit ici d'un modèle hydrologique Pluie-débit et non hydrauliques. L'objectif est de reproduire les axes préférentiels de ruissellement et la dynamique des apports de l'amont vers l'aval du bassin. Une dizaine de test ont été nécessaires afin d'obtenir un réseau correct.

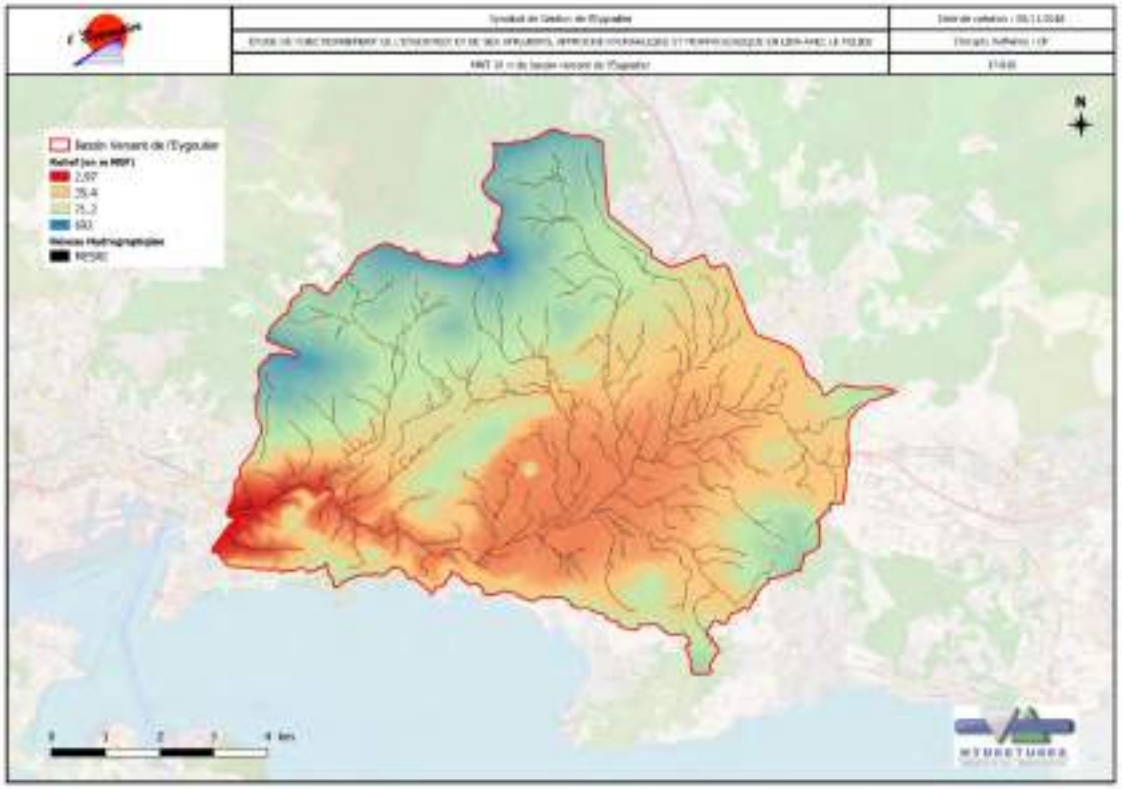
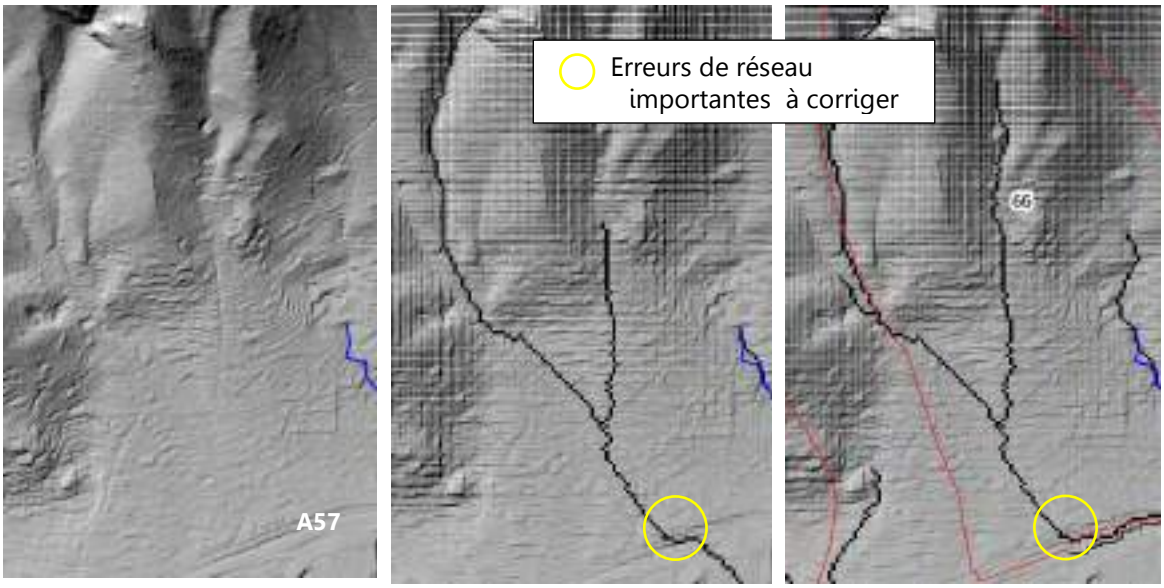


Figure 32 : MNT (10m) du bassin versant de l'Eygoutier et réseau final MESRI



1. MNT 1m et cours d'eau (en bleu)

2. MNT 10m « degradé", cours d'eau (en bleu) et réseau superficiel MESRI (en noir)

3. MNT 10m modifié, cours d'eau (en bleu) et réseau superficiel MESRI (en noir). La limite en rouge est celle du bassin n°66 issue de la PHASE 1.

Figure 33 : Exemple des traitements 1 et 2 du MNT (sous-bassin versant n°66-Planquette)

4.3.2 Occupation du sol

Lors de la phase de calage du modèle et de son utilisation pour l'estimation des crues extrêmes, l'occupation du sol est prise en compte via les informations de la base de données Corine Land Cover (CLC 2014) (voir Figure 34 ci-dessous). Le bassin versant est largement artificialisé, à plus de 56 %.

C'est la situation actuelle qui est prise en compte. Signalons que des différences d'occupation du sol ou la réalisation de travaux d'aménagement peut grandement modifier les écoulements. Il est par conséquent parfois difficile de reproduire des événements de crue passés avec la situation actuelle du bassin versant.

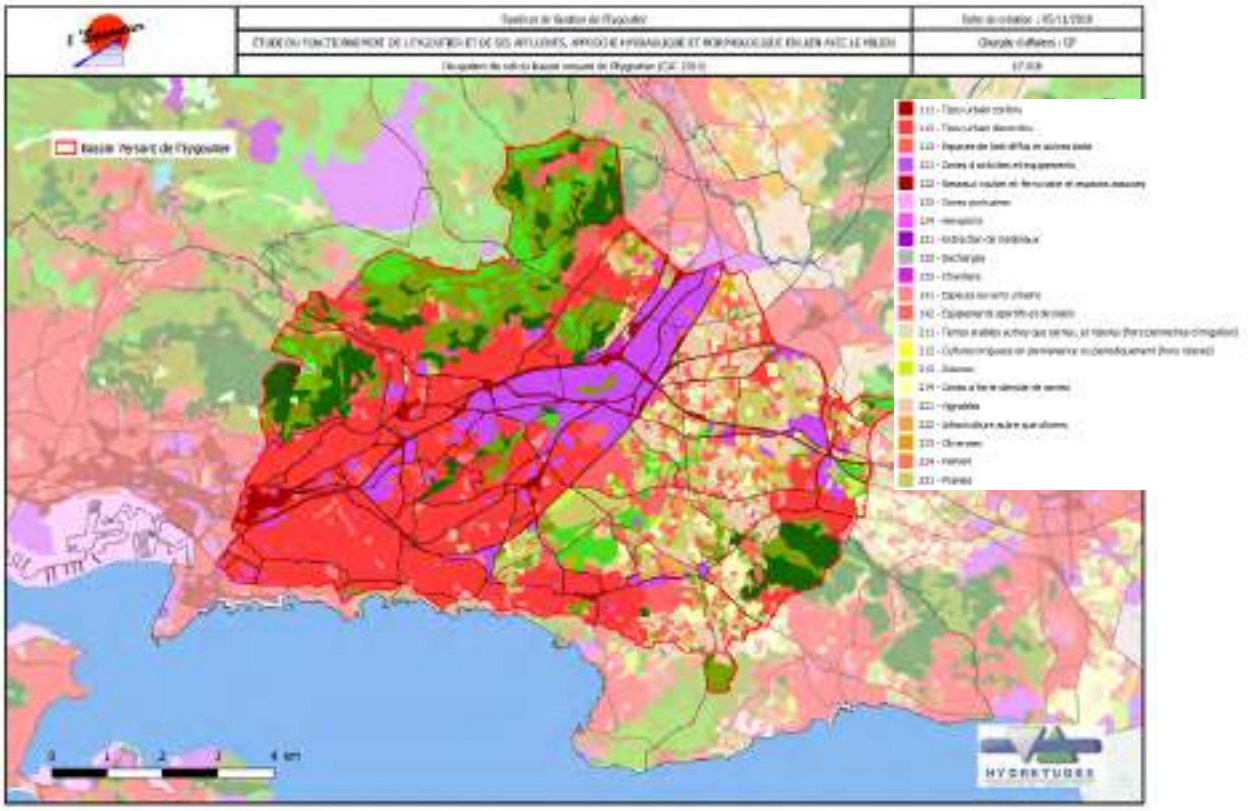


Figure 34 : Occupation du sol – Corine Land Cover 2014

Pour rappel, la PHASE 1 s'est attaché à analyser 1) l'évolution historique de l'occupation du sol au travers la cartothèque/photothèque de l'IGN et la bibliographie disponible sur cette thématique (Figure 35) et 2) les principaux aménagements des rivières.

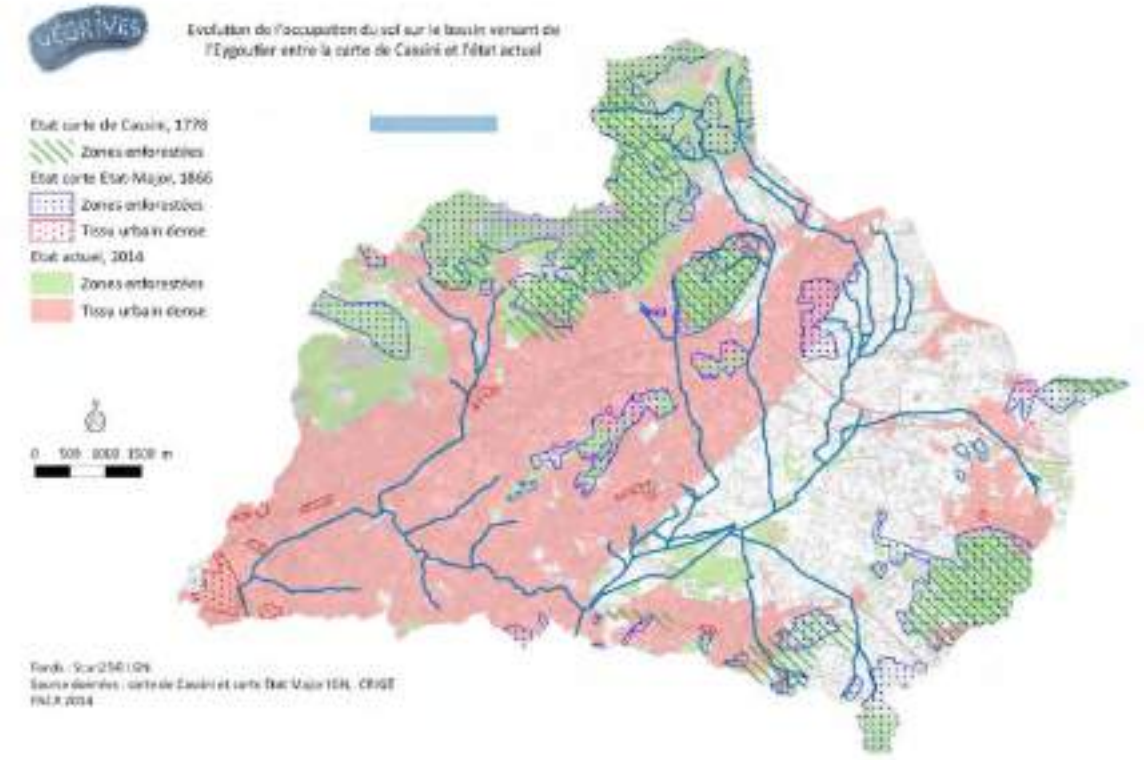


Figure 35 : Evolution de l'occupation du sol (PHASE 1)

4.3.3 Couple pluie-débit mesuré

4.3.3.1 Données pluviométriques

Les séries de pluies au pas de temps fin (6 min), nécessaires pour caler le modèle, sont issues des données pluviométriques enregistrées à la station pluviométrique de Toulon La Mitre (83137001) du réseau Météo-France. Cette dernière a été jugée représentative des pluies pour le bassin de l'Eygoutier dans sa partie Toulonnaise.

4.3.3.2 Données hydrométriques

Les séries de débits utilisées pour le calage du modèle sont issues des données enregistrées à la station de mesure expérimentale du Pont de Bazeille (sonde multi-paramètres). Cette dernière a été installée sur l'Eygoutier une première fois dans le cadre de la thèse de Nicolau (2005) puis entre le 24 septembre 2012 et le 23 janvier 2014 (16 mois) dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014).

Une autre station relevant les hauteurs d'eau existe au droit du chemin de la Foux à la Garde (en amont de la Planquette). Les données étant transmises tardivement après le calage, elles pourront être utilisées pour la validation du modèle hydraulique.

❖ ***Données acquises dans le cadre de la thèse de R. Nicolau (2005)***

Les données acquises dans le cadre de la thèse de R. Nicolau (2005) sont obtenues, toutes les 20 min, à l'aide d'un débitmètre (appareillage non précisé). Elles couvrent la période d'aout 2003 à février 2005 (Figure 36).

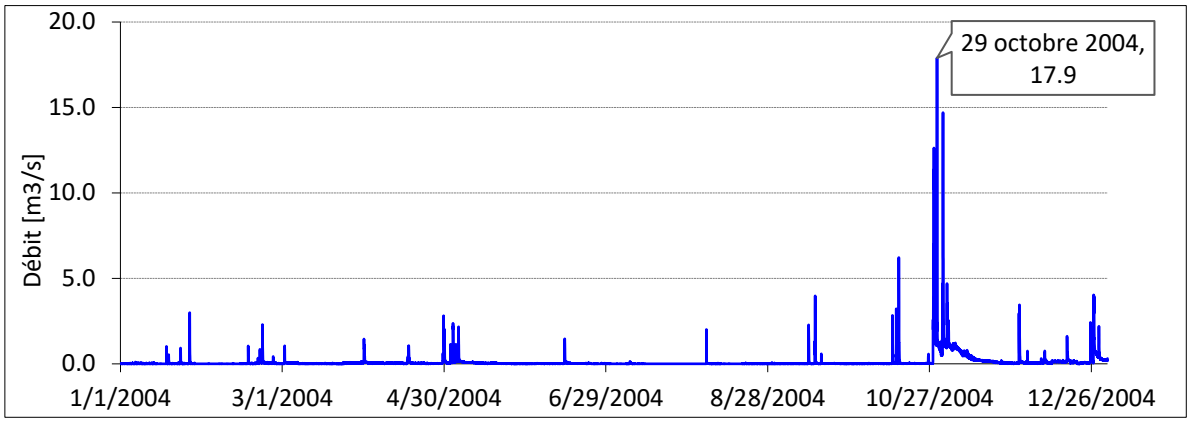


Figure 36. Débit de l'Eygoutier, au niveau de l'exutoire entre 2003 et 2005 (Nicolau, 2005)

Durant cette période aucune crue importante ne s'est produite (moins de 18 m^3/s enregistré). Ceci est confirmé par l'étude historique et celles des pluies pour lesquels aucun évènement météorologique particulier n'est ressorti (les temps de retour des pluies horaires sont en dessous du temps de retour 2 ans). Ces données n'ont pas été retenues pour le calage, également parce que les données de pluie au pas de temps 6 min ne sont pas disponibles. Elles ont cependant servi de validation pour les estimations de débit au pont de Bazeille.

❖ *Données acquises dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014)*

Les débits acquis dans le cadre de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014) sont obtenus entre 2012 et 2013 (Figure 38), toutes les 5 min, de manière indirecte en deux étapes à partir de mesure de pression :

- Les données de pression enregistrées en PSI par la sonde (pas de temps de 5 minutes) sont converties en Pascal (Pa) puis la pression exercée seulement par la colonne d'eau est déterminée en soustrayant la pression atmosphérique. La pression obtenue est convertie en **hauteur d'eau** (la hauteur entre le lit et la sonde est constante et égale à 8 cm).
- Les **débits** sont obtenus à partir de l'utilisation de la méthode de la formulation de Manning-Strickler avec un coefficient Ks de 60 (Dufresne, 2014 ; Ducros, 2014) ; représentatif de la rugosité du site (type béton coulé non lissé).



Figure 37. Localisation de la station à l'entrée du Tunnel de Lamalgue (Ducros, 2014)

Les maximums enregistrés (200 m^3/s) paraissant être surestimés par rapport aux valeurs de capacité des sections (75 m^3/s quai M Pagnol) et des ouvrages (45 m^3/s au tunnel), de nouvelles valeurs de débits ont été recalculés.

En effet, la pente (J) de 0,35% utilisée pour la transformation Hauteur -Débit dans la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014) n'est pas adaptée par rapport à la réalité de la section. Avec un Ks=60, J= 0,00347 et Hw=3m (pleine bord), le débit est de 186 m^3/s, c'est-à-dire très supérieur au débit capable des études antérieures.

Attention les valeurs de débits présentées dans ce graphique ont été recalculés pour la présente étude avec une pente réaliste de 0.06%

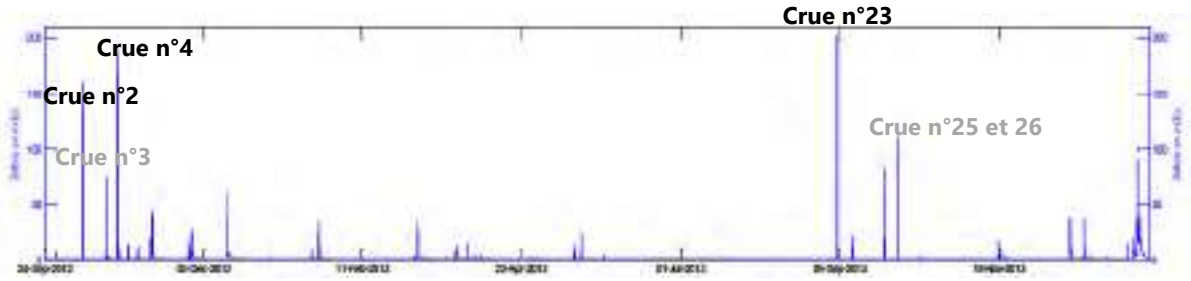


Figure 38. Débit de l'Eygoutier, au niveau de l'exutoire entre 2012 et 2013 (Ducros, 2014).

❖ *Débits utilisés dans la présente étude pour le calage du modèle hydrologique*

Les débits utilisés dans la présente étude pour le calage du modèle ont été recalculés à partir **des mesures de hauteurs** fournies par Ducros de 2012 à 2014 et à partir de l'utilisation de la méthode de la formulation de Manning-Strickler avec un coefficient de rugosité Ks de 60 représentatif de la rugosité du site (type béton coulé non lissé) et une **pente de 0.06%** (d'après données topographiques et profil en long SCE, 2007). La pente de 0.06 % permet d'estimer un débit de plein bord de 78 m^3/s ; ce qui est plus réaliste avec capacité de 75 m^3/s juste en amont (quai M. Pagnol). Les caractéristiques du profil en travers restent inchangées ; elles ont été fournies par Ducros (2014) – voir Figure 39 ci-dessous.

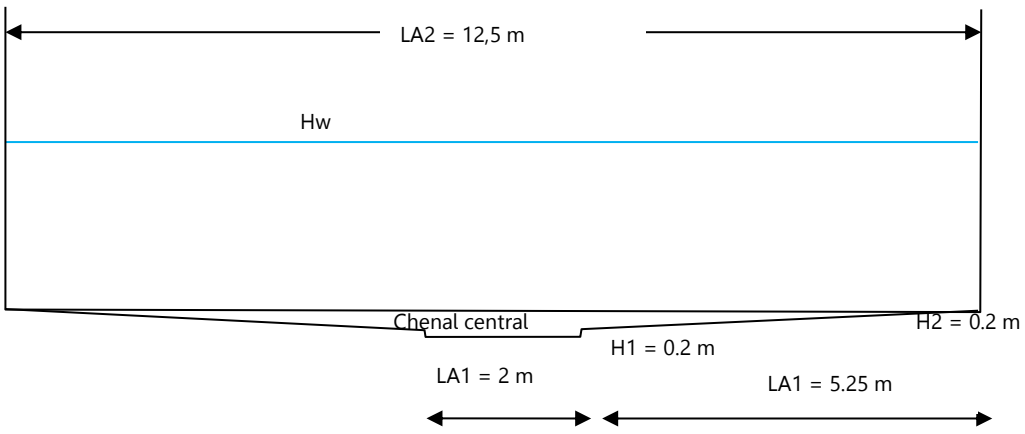


Figure 39. Section en travers pour le calcul des débits au pont de Bazeille (géométrie considérée – source L. Ducros)

Pour s'accorder au pas de temps des pluies de 6 min, les données de débit enregistrées toutes les 5 min, ont été discrétisées à 6 min.

Les données fournies par Mr Ducros en février 2018 correspondent à **20 évènements de crues** avec des débits de pointes les plus remarquables entre 12 et 85 m^3/s. Ces crues ont été analysées dans la 1er étape de l'étude hydrologique.

En résumé, elles ont lieu majoritairement entre septembre et janvier. Sur les 6 crues les plus importantes présentant des débits significatifs >30 m^3/s (voir chroniques ci-dessus), elles ont toute lieu entre septembre et octobre.

L'analyse des hydrogrammes centrés-réduits et des durées caractéristiques (cf. Figure 40 et Figure 41) a fait apparaitre différents types de crue : hydrogrammes à montée très brutale (type 1), à montée moyenne (type 2) et lente (type 3).

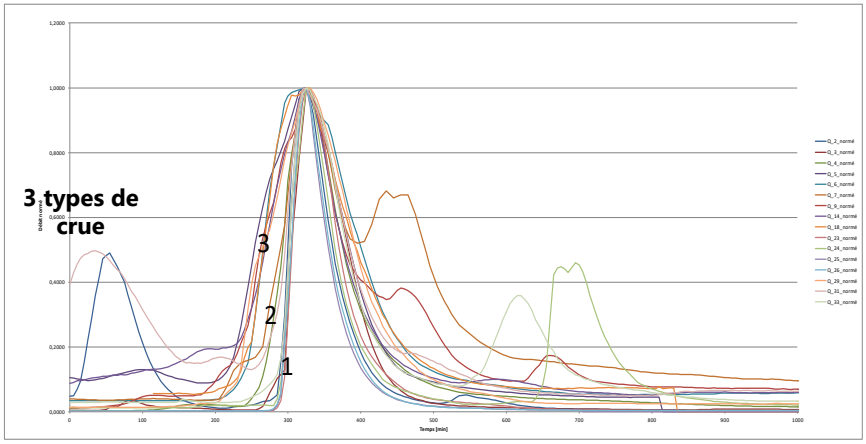


Figure 40. Evolution des débits centrés-réduits pour les 20 événements de crues enregistrés au pont de Bazeille

L'analyse de la pluviométrie (pas de temps 6 min à 48h), a permis de démontrer que les débits maximums de l'Eygoutier enregistrés au Pont de Bazeille sont très bien corrélés avec les intensités de pluies sur 6min et les pluies horaires (exceptés les 2 événements où la pluie de Toulon n'était pas représentative de la crue). En revanche, il n'y a pas de relation globale avec le cumul sur l'événement, ni avec l'antécédent pluviométrique.

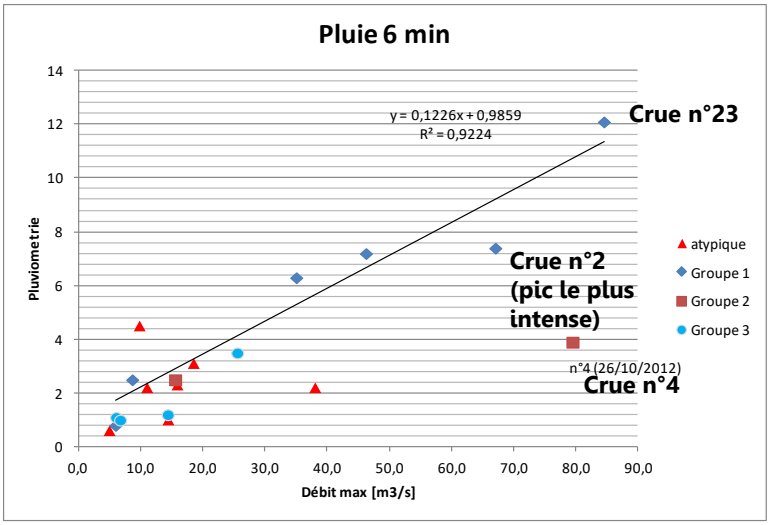


Figure 41. Corrélations, par type de crue, entre débits de pointe au pont de Bazeille et cumuls pluviométriques (ΔT = 6min)

Sur les 6 crues présentant des débits significatifs (>50m^3/s), seules **3 crues sont a priori utilisables** pour le calage du modèle pluie-débit du fait de **données de pluies suffisantes (mais pas forcément significatives)** : Crue du 8 septembre 2013 (n°23), Crue du 11 octobre 2012 avec deux pics de crue (n°2), Crue du 26 octobre 2012 (n°4).

Bien que incomplètes et attachées d'incertitudes (liées à la méthode d'estimation indirecte des débits), les chroniques de débits (2013-2014) utilisées représentent bien la dynamique du bassin versant de L'Eygoutier (voir 1er étape de cette étude hydrologique).

De plus, les données de débits de crues enregistrées lors de la thèse de R Nicolau (2005) en octobre 2004 permettent de valider les estimations de débits de pointes. En effet pour 6 des 8 plus fortes (voir Figure 42 ci-dessous) pour lesquelles les pluies horaires ont été récupérées (infoclimat.fr/), la tendance globale pluie-débit exprimée lors de la 1er étape de cette étude (relation entre les débits de pointes au Pont de Bazeille estimés à partir des données récentes et les données de pluie horaire à Toulon la Mitre issues des données Météo France) est respectée. Trois des crues les plus fortes enregistrées lors de la thèse de R Nicolau (2005) présentent un comportement différent non expliqué (pluie 1h non représentative ? conditions antécédentes humides ? défaut de mesures ?...). Comme pour les données de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014), toutes les crues ne s'expliquent pas que par la pluie horaire mesurée à Toulon la Mitre mais la tendance est forte.

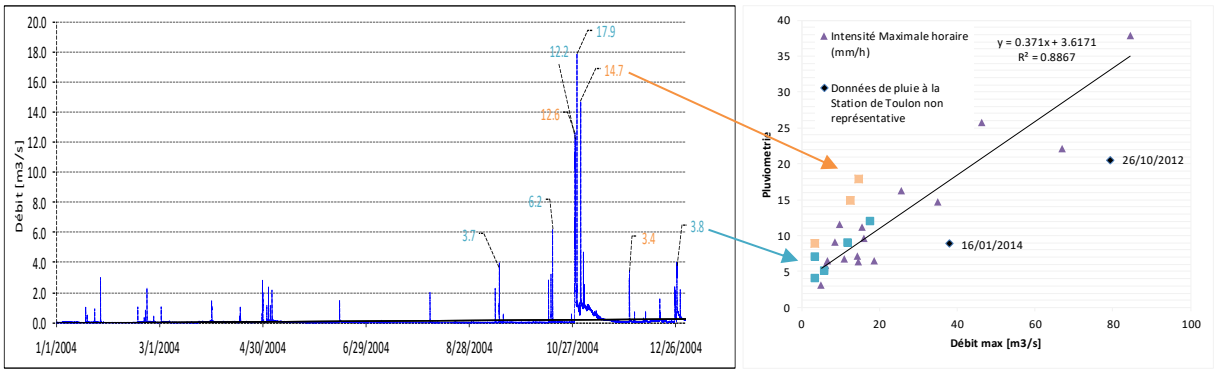
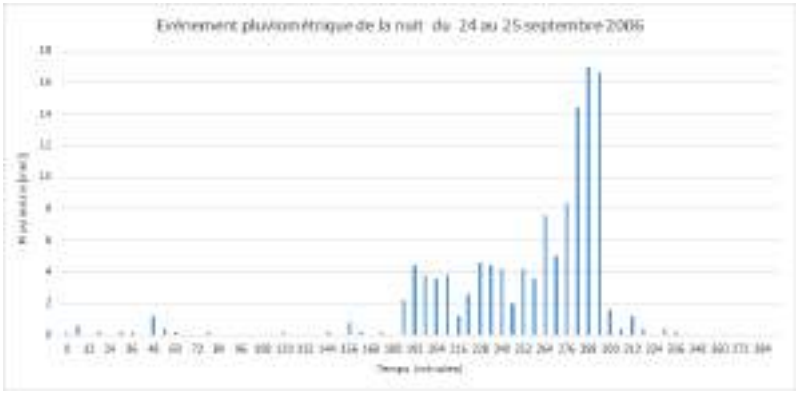


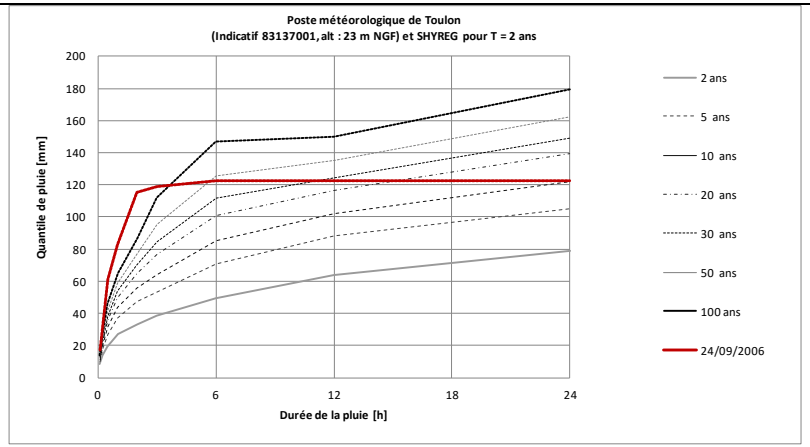
Figure 42. Relation entre Débits de pointe et pluies horaires pour les deux types de données de débits

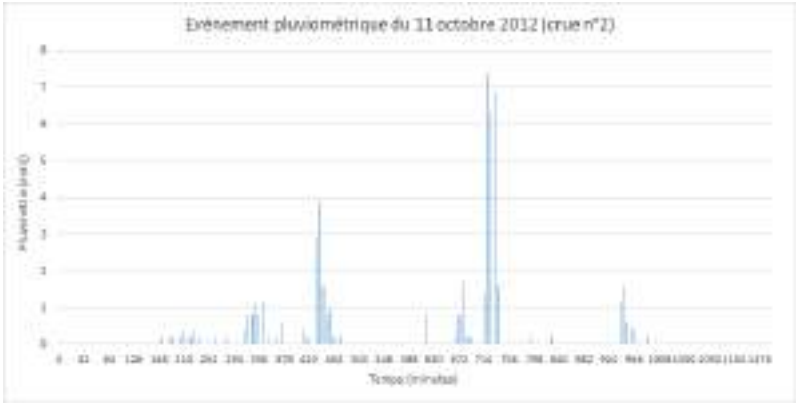
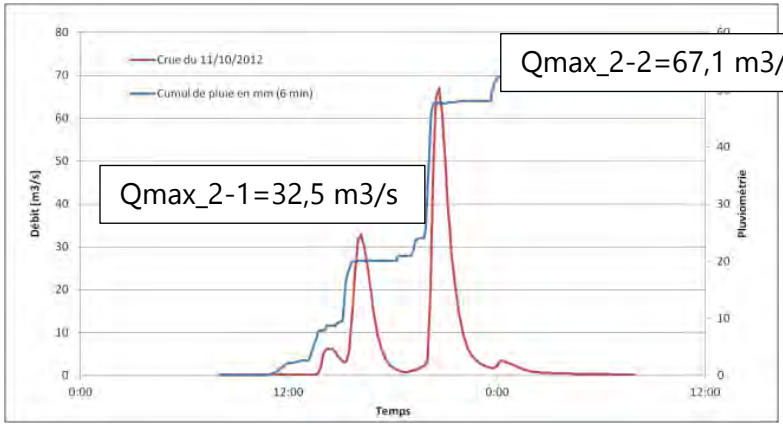
4.3.3.3 Pluie-Débit disponibles

Au final, ce sont 4 séries chronologiques concomitantes de pluie et de débit (ou PHE) qui ont été récupérées au pas de temps 6 min dont la plus ancienne date de 2006. Seules 3 de ces séries (encadrées en bleu) présentent des débits significatifs concomitants avec des informations sur les pluies ou les Plus Hautes Eaux (PHE recueillies dans la PHASE 1).

Les caractéristiques de ces évènements pluie-débit sont reportés ci-dessous du plus anciens au plus récent (se reporter à l'étape 1er étape de l'étude hydrologique pour plus de détail) :

Date(s)	Pluviométrie et temps de retour associé	Débit ou PHE
Evénement 24 Septembre 2006	C'est un événement typique. L'épisode est nettement localisé et sur un périmètre limité. Sur le bassin versant de l'Eygoutier, l'épisode est exceptionnel par les valeurs enregistrées sur les stations de Toulon et du Cap-Cepet.  La pluviométrie de l'événement acquise auprès de Météo France au poste de Toulon La Mitre, montre bien que la pluie de septembre 2006 est une pluie courte et très intense. L'événement très intense dure environ 2 heures. La station météorologique de Toulon a relevé 137,5 mm en 24 heures dont : 83,2 mm en 1 h, 61,4 mm en 30 min, 40,8 mm en 15 min, et 3 pointes de 14,4 mm, 16,6 et 17 en 6 min. **La figure suivante montre bien que les cumuls de 6 min à 3h sont plus que centennaux (trait rouge).**	Pas de données de débits mais 7 PHE (partie Toulonnaise). Arrêté de catastrophe naturelle (Toulon, La Valette du Var et la Garde). Il y a peu d'information sur les niveaux d'eau des cours d'eau mais a priori il s'agit d'une crue significative de l'Eygoutier dans sa partie Toulonnaise (estimation d'une période de retour de 30 ans en termes de débit par les services de la Ville de Toulon d'après SCE, 2007). Il n'y a pas eu de crues significatives sur les cours d'eau limitrophes jaugés (c'est donc une crue localisée). **Cet évènement pluie-débit qui a servi pour la construction des pluies de projet de type 3 a aussi été retenu pour le calage couplé Hydrologie-Hydraulique (PHASE 4 de l'étude).**



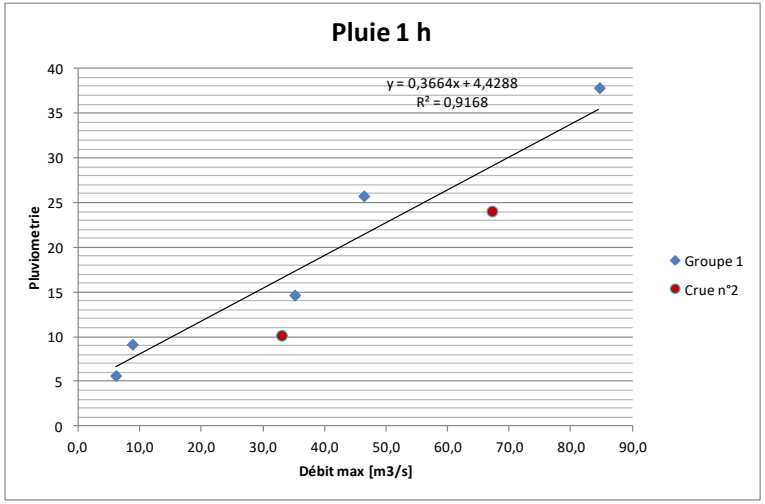
Evénement pluviométrique du 11 octobre 2012 (crue n°2)	L'événement s'est produit sur environ 10 heures avec plusieurs périodes intenses. Le cumul n'est remarquable que sur le deuxième pic de pluie avec 23.6 mm en 30 min (temps de retour entre 2 et 5 ans).  Le contexte pluviométrique et les conditions antécédentes d'humidité sont normaux voire déficitaires au début du mois. Le mois de septembre a été relativement sec (rapport à la normale de 0.8 [1950 -2013] des cumuls mensuels pour la station de Toulon). Les	L'analyse de l'hydrogramme au pont de Bazeille et du cumul pluviométrique au pas de temps de 6min, acquises auprès de Météo France au poste de Toulon, montre deux crues successives.  Le temps de réaction entre le pic d'intensité et la pointe de crue de 52 min (Qmax = 32.9 m^3/s) pour le 1er pic et de 40 min (Qmax = 67.1m^3/s) pour le 2ème. Ces deux crues sont classées dans le groupe 1 des hydrogrammes à montée brutale mais avec une plus

<table>
<tr>
<td></td>
<td>cumuls sur le mois d'octobre sont bien plus importants que la normale (rapport de 2.8). L'indice d'humidité des sols au début du mois de septembre qui tend vers 0 dans le sud du Var, montre que le sol est en état de stress hydrique. Le niveau des nappes est stable et reste au-dessus de la normale.

L'antécédent pluviométrique sur le 2ème événement est de 11.7 mm pour les 5 jours précédents (cumuls des pluies journalières 6h-6h) reste relativement faible et n'a pas pu saturer les sols et les réseaux.

La pluie est plus que biennale sur 30 min

<table>
<tr><th>Durée</th><th>Cumul de pluie [mm]</th><th>Période de retour [an]</th></tr>
<tr><td>6 min</td><td>7,4</td><td><2</td></tr>
<tr><td>30 min</td><td>23,6</td><td>2<T<5</td></tr>
<tr><td>1h</td><td>24,1</td><td><2</td></tr>
<tr><td>2h</td><td>26,7</td><td><2</td></tr>
<tr><td>3h</td><td>27,7</td><td><2</td></tr>
<tr><td>6h</td><td>38,9</td><td><2</td></tr>
<tr><td>12h</td><td>49,7</td><td><2</td></tr>
<tr><td>24 h</td><td>52,7</td><td><2</td></tr>
</table>
</td>
<td>faible réaction. Pour ce groupe, l'intensité des deux pics de crue est proportionnelle à l'intensité des pluies (6 min et 1h). Le deuxième pic n'est pas plus fort du fait de la saturation du sol mais du fait de pluies plus importantes.



Aucun évènement remarquable n'a été signalé sur l'Eygoutier et ses affluents et il n'y a pas de crues significatives sur les autres cours d'eau jaugés de la région.

Cet évènement pluie-débit a été retenu pour le calage Hydrologique uniquement.</td>
</tr>
<tr>
<td>Evénement du 26 octobre 2012 (n°4)</td>
<td>L'épisode pluviométrique du 26 octobre 2012, caractérisé par de nombreux orages localement très intenses est répertorié comme " événement mémorable" par le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine.

A La Garde, située à 10 km à l'est, les observations du radar permettent d'estimer un total de pluie de 65 mm tombés en 2 heures (soit entre 20 et 30 ans de période de retour si l'on se réfère aux statistiques 1971-2012 de la station météorologique de Toulon).</td>
<td>L'épisode du 26 octobre 2012 (n°4) est un évènement remarquable par le décès de deux étudiants à la Garde (qui ont chuté dans un canal d'écoulement des eaux de pluies) et les dégâts occasionnés (Arrêté de catastrophe naturelle pour inondations et coulées de boue sur les communes de La Garde, Le Pradet, Toulon).

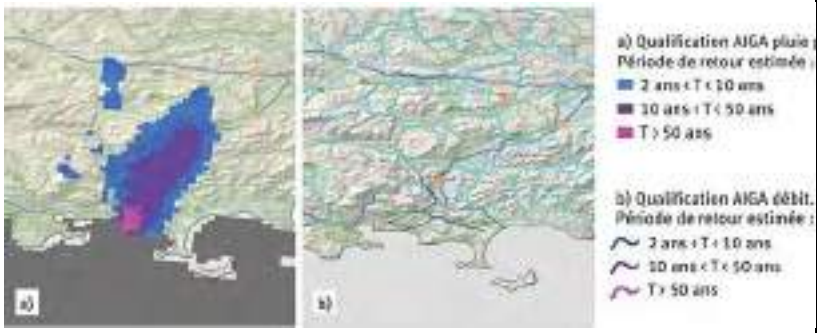
L'analyse de l'hydrogramme au pont de Bazeille et du cumul pluviométrique au pas de temps de 6min à la station de Toulon montre que la montée de crue est moins rapide que pour les deux autres crues (avec Ds =85min). Le temps de réaction entre le pic</td>
</tr>
</table>

A la station de Toulon, l'événement de pluie dure un peu moins d'une heure et demie (25.3 mm en 2h soit une période de retour inferieure 2 ans).

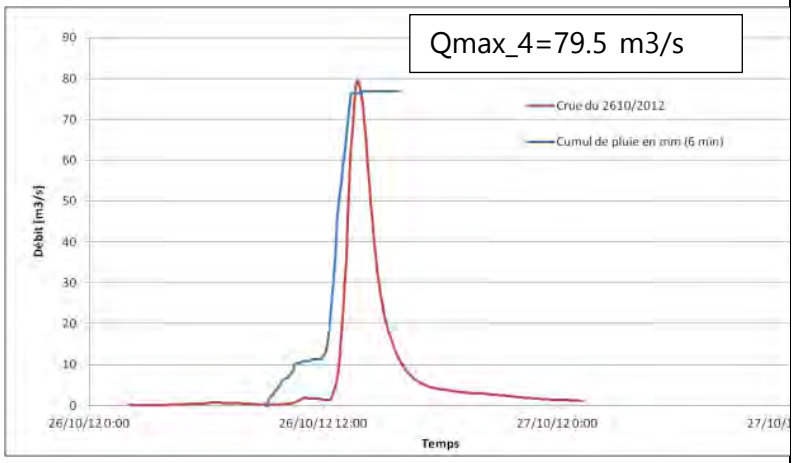


Selon l'évolution de l'aléa pluviométrique de l'événement du 26/10/2012 à Toulon par la méthode AIGA -IRSTEA entre 12h45 et 14h30 (UTC), l'orage s'est déplacé d'ouest vers le nord-est. Les zones d'intensité supérieures à 2 ans n'ont jamais touchées la station de Toulon la Mitre. L'épisode n'a pas touchée la station de Hyères.

C'est donc une pluie très localisée qui n'a pas fait réagir tout le bassin versant de l'Eygoutier.



d'intensité et la pointe de crue est plus long avec 60 min avec une pointe de crue qui a lieu le 26/10/2012 à 13h45 tandis que la pluie la plus intense sur 6 min a lieu à 12h42.



La pluviométrie au poste de Toulon n'étant pas représentative de l'événement sur le bassin versant, l'événement, ne peut être reproduit, il n'a pas été retenu.

Evénement du 8 septembre 2013 (n°23)

L'épisode pluvio-orageux du 8 septembre 2013 est très localisé mais a touché tout le bassin de l'Eygoutier.

Il n'est pas répertorié sur le site de Météo France "Pluies extrêmes en France métropolitaine".

Les données de pluie au pas de temps de 6 min, acquises auprès de Météo France au poste de Toulon, montre que l'événement est très court ; il s'est produit sur 1 h.

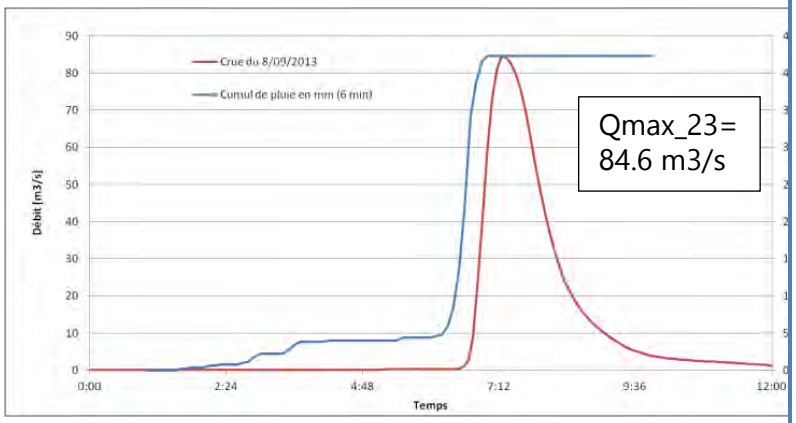


La pluie de septembre 2013 présente ainsi des cumuls sur 30 min et 6 min significatifs avec des temps de retour entre 10 et 20 ans.

Durée	Cumul de pluie glissant [mm]	Période de retour [an]
6 min	12,1	10<T<20
30 min	33,1	10<T<20
1h	37,9	5<T<10
2h	38,3	2<T<5
3h	38,5	2<T<5
6h	42,3	<2

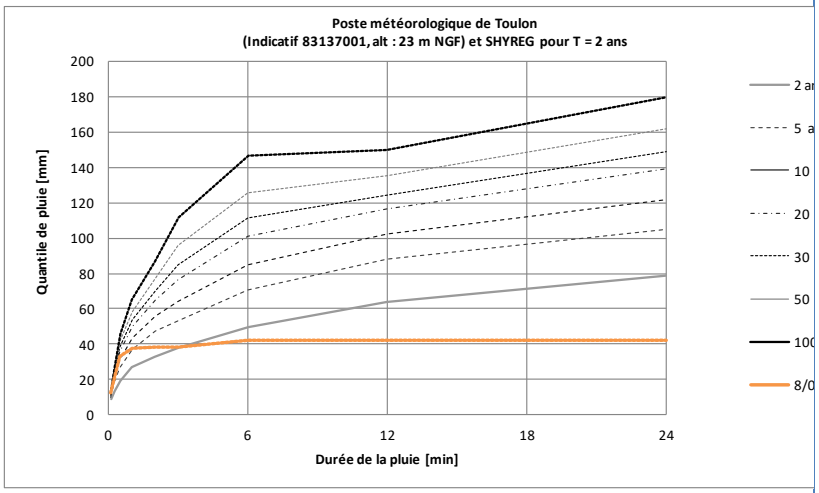
La crue du 8 septembre 2013 (n°23) est la plus forte enregistrée au pont de Bazeille entre 2012 et 2014 (avec Qmax = 84.6 m^3/s).

L'analyse de l'hydrogramme au pont de Bazeille et du cumul pluviométrique au pas de temps de 6min à la station de Toulon montre que la crue est très rapide et intense sur l'Eygoutier aval (montée et décrue très rapides avec Ds =65 min). Le temps de réaction entre le pic d'intensité et la pointe de crue est de 33 min.



Il n'y a pas eu de débordements pour l'Eygoutier mais des inondations liées essentiellement au ruissellement urbain signalées dans la plaine de la Garde et au Pradet. La Planquette était en limite de débordement (débordements localisés).

12h	42,3	<2
24 h	42,3	<2







Il n'y a pas eu de crues significatives sur les autres cours d'eau de la région (<< 2 ans).

Cet évènement pluie-débit a été retenu pour le calage couplé Hydrologie-Hydraulique.

4.3.3.4 Evènements retenus pour le calage du modèle hydrologique

Comme évoqué précédemment, seules les crues n°2 et n°23 ont été retenue pour le calage hydrologique. Le calage du modèle a ainsi été réalisé sur les évènements caractéristiques suivants :

- Evénement pluviométrique du 11 octobre 2012 (crue n°2) avec 2 crues successives.
- Evénement pluviométrique du 8 septembre 2013 (n°23) avec 1 crue.

Ces 3 crues présentent des données concomitantes (6 min) de débit (au pont de Bazeille) et de pluies (station Météo France de Toulou la Mitre).

La crue n°23 du 8 septembre 2013 est très approprié pour caler le modèle sur les crues de type courte et intense. La pluie de septembre 2013 présente des cumuls sur 30 min et 6 min significatifs avec des temps de retour entre 10 et 20 ans. De plus, il existe des PHE. Elle peut donc faire l'objet du calage couplé hydrologie-hydraulique.

4.4 CONSTRUCTION DU MODELE

4.4.1 Calcul des cheminements hydrologiques

Dans un premier temps, le modèle MESRI reconstitue le réseau hydrographique à partir des données du MNT. Une valeur de l'aire limite de drainage (en km²) pour la définition du réseau hydrographique de 0.2 km² a été adoptée suite à des tests de sensibilité (-pour ressembler au mieux aux couches de la BD Cartage). C'est lors de cette étape que des ajustements de la topographie ont été nécessaires.

Deux cartographies des distances sont automatiquement éditées (figures ci-dessous) :

- Cartographie des distances sur versant (cheminements sur versant) : il s'agit de la distance de chaque pixel « versant » au réseau hydrographique.
- Cartographie des distances dans le réseau hydrographique (cheminements en rivière) : il s'agit de la distance de chaque pixel « réseau » à l'exutoire du bassin versant.

Ces cartes de distances associées à des évènements pluvieux permettent de calculer les hydrogrammes de crue. Les débits sont calculés en considérant que la totalité du débit produit par les sous-bassins versant est transmis en aval.

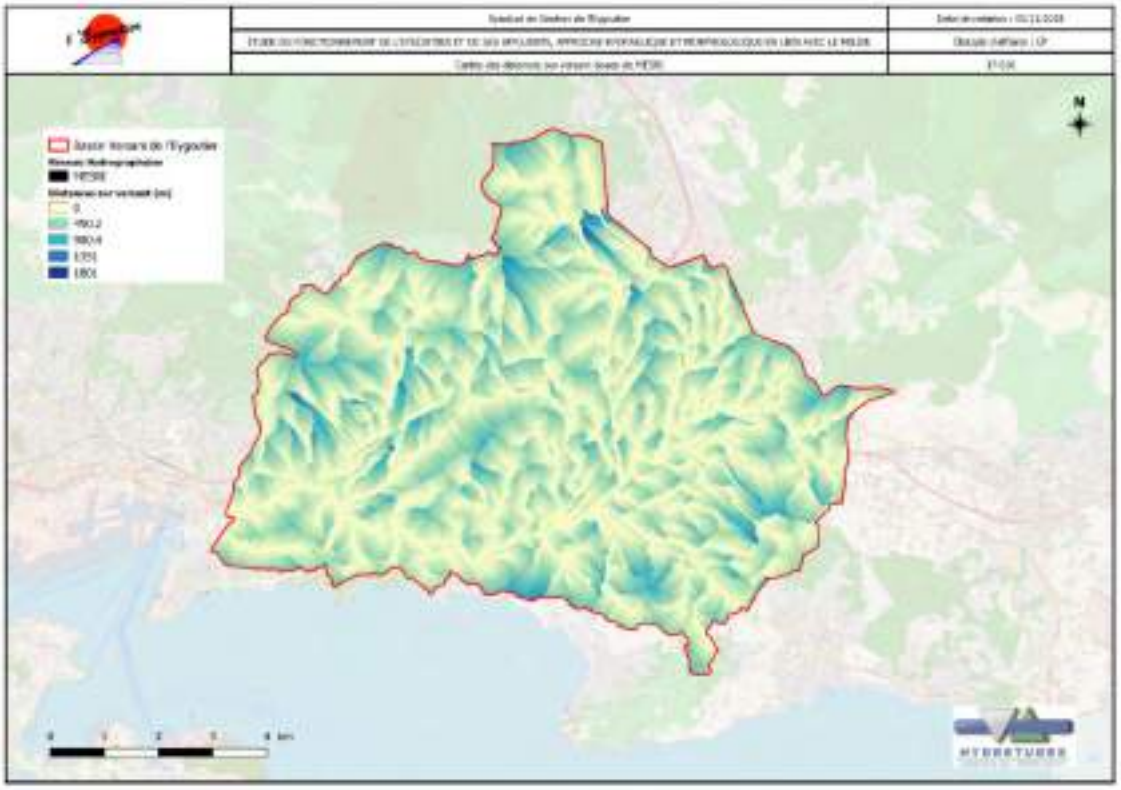


Figure 43 : Carte des distances sur versant issues du MNT 10 m

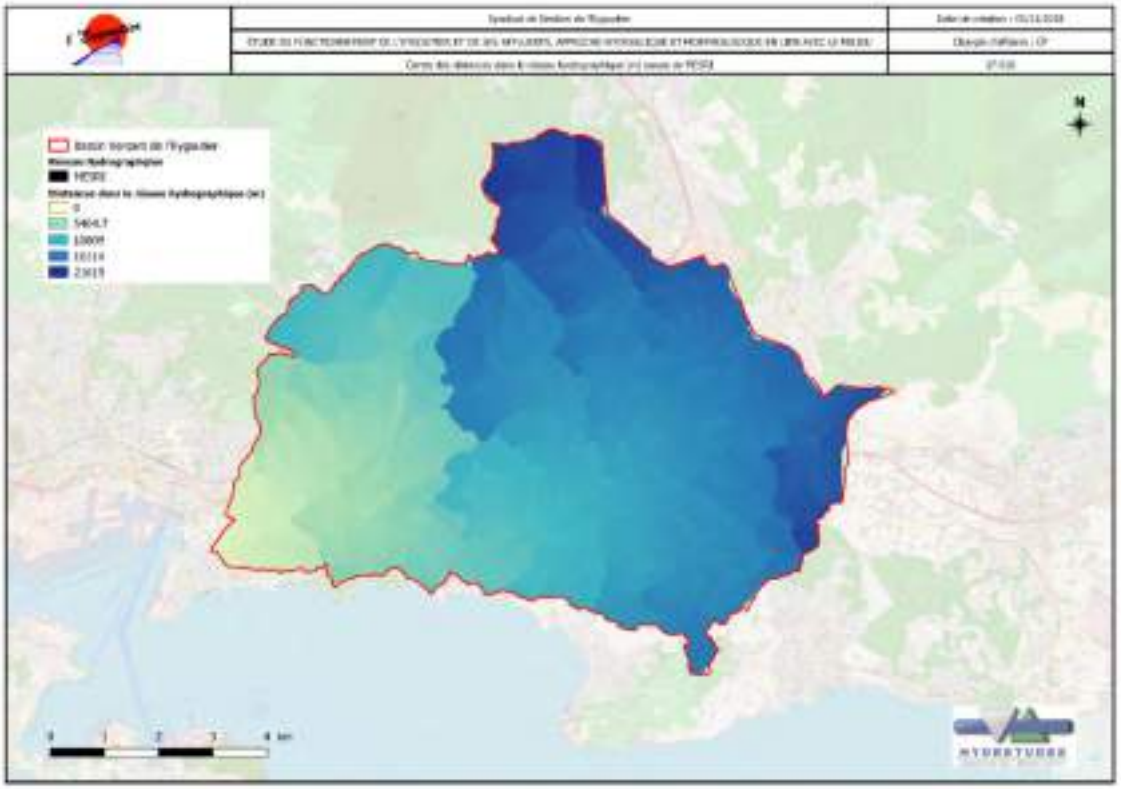


Figure 44 : Carte des distances dans le réseau hydrographique issues du MNT 10 m

4.4.2 Fonction de production

Pour L'Eygoutier, dont le bassin versant est fortement urbanisé, il est nécessaire de prendre en compte des différences de ruissellement en fonction de l'occupation du sol. Une régionalisation du paramètre de surface a ainsi été estimé en fonction de la valeur de classement de l'occupation du sol du Corine Land Cover 2014. Le paramètre de production de surface P_{surf} (P3) est alors définie comme suit suivant l'identifiant CCL :

- ID Corine Land Cover 2014 (0 à 140) : = P_{surf}x2
- ID Corine Land Cover 2014 (140 à 300) = P_{surf}
- ID Corine Land Cover 2014 (300 à 330) = P_{surf}/2
- ID Corine Land Cover 2014 (330 à 333) = P_{surf}
- ID Corine Land Cover 2014 >334 : P_{surf} =1 (tout ruisselle)

La carte ci-dessous représente l'occupation du sol telle qu'elle est prise en compte par MESRI.

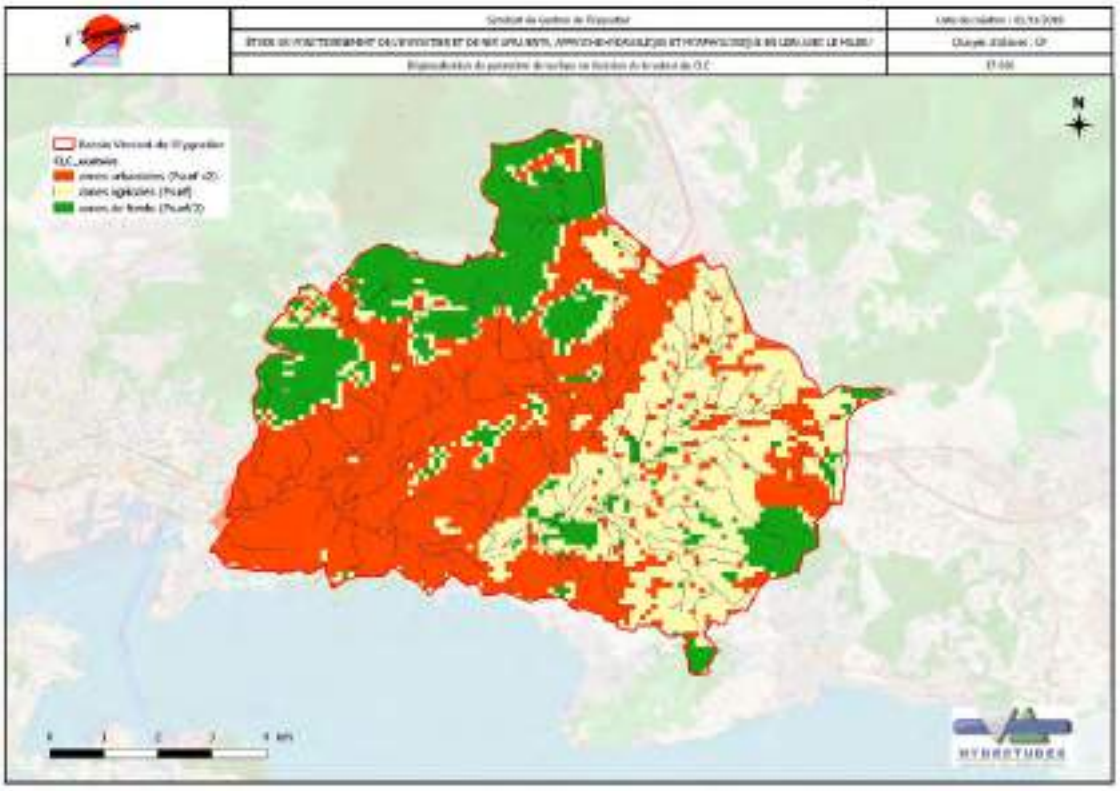


Figure 45 : Régionalisation du paramètre de surface en fonction de la valeur du CLC

4.5 CALAGE DU MODELE

Comme vu précédemment, le modèle MESRI nécessite le calage de cinq paramètres :

- P1 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement dans le réseau hydrographique V_t,
- P2 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement souterrain (subsurface) V_s,

- P3 : Paramètre de production de surface P_{surf},
- P4 : Paramètre de production de subsurface $P_{subsurf}$,
- P5 : Paramètre de récession de la courbe de tarissement K .

Le calage du modèle consiste à trouver le meilleur jeu de paramètres afin de coller au mieux aux débits estimés pour les trois hydrogrammes sélectionnés précédemment au Pont de Bazeille.

4.5.1 Principe et hypothèses du calage

Le calage est basé sur les différents principes et hypothèses suivants :

- La pluviométrie injectée dans le modèle est la **pluie enregistrée à Toulon la Mitre.** Cette station est jugée représentatives de la situation sur le bassin versant pour les événements pluie-débits de calage retenus.
- Une **pluie spatialement uniforme** été appliquées à l'ensemble des pixels du bassin versant. L'hypothèse est que la taille d'une cellule orageuse provoquant une crue significative à l'exutoire de l'Eygoutier est comparable avec celle du bassin versant.
- Les sorties du modèle hydrologique donnent des **hydrogrammes « hydrologiques »** qui ne prennent pas en compte d'une part les processus d'amortissement de la crue dans la plaine, même pour des petites crues[1], et d'autre part la dérivation artificielle des écoulements vers la mer (tunnel de Pont de la Clue). C'est bien le modèle hydraulique qui donnera l'hydrogramme réel entrant sur le bassin versant Toulonnais au pont de la Clue et non le modèle hydrologique.
- L'hypothèse d'une **déconnection des débits de pointe entre la crue Toulonnaise et la crue provenant de la plaine** est jugée cohérente étant donné le fonctionnement actuel du bassin de l'Eygoutier évoquées ci-dessus.

  Le débit de pointe provenant de la plaine se produisant de manière très décalée ET avec un amortissement très important (inondation dans la plaine et dérivation), les débits de pointes de la plaine, n'influencent pas ceux du bassin Toulonnais au pont de Bazeille.
- Le **modèle est ainsi calé sur la montée de la crue et le débit de pointe mesurés au pont de Bazeille**, c'est-à-dire pour les apports en eau provenant du bassin versant Toulonnais uniquement.

4.5.2 Paramètres retenus

De nombreux tests d'optimisation automatiques (260 par crue) puis visuels (10) ont été réalisés pour trouver le meilleur jeu de paramètres possibles.

[1] La 1er phase de l'étude a montré que les zones potentiellement inondables (plus de 40 km²) sont considérable au regard de la superficie globale du bassin versant.

Le tableau suivant récapitule le jeu de paramètre retenu pour le calage du modèle sur les évènements caractéristiques (crue n°2 et 23). Ce jeu de paramètre est relativement stable. La décrue ne peut être reproduite du fait de l'amortissement de la crue provenant du bassin versant amont et de la dérivation par le tunnel de la Clue. Ce jeu de paramètres calés sera donc utilisé pour toutes les modélisations hydrologiques de l'étude.

Tableau 12 : Paramètres retenus pour les modélisations MESRI

Site de calage	P1 Vitesse réseau (m/s)	P2 Vitesse souterraine (subsurface) (m/s)	P3 Production de surface (-)	P4 Production de subsurface (-)	P5 Courbe de tarissement K (-)
Eygoutier au pont de Bazeille	3.2	0.03	18	0.08	3

Les figures suivantes (Figure 46 et Figure 47) permettent de visualiser les résultats obtenus pour le meilleur jeu de paramètres optimisés sur les 3 crues de calage hydrologique.

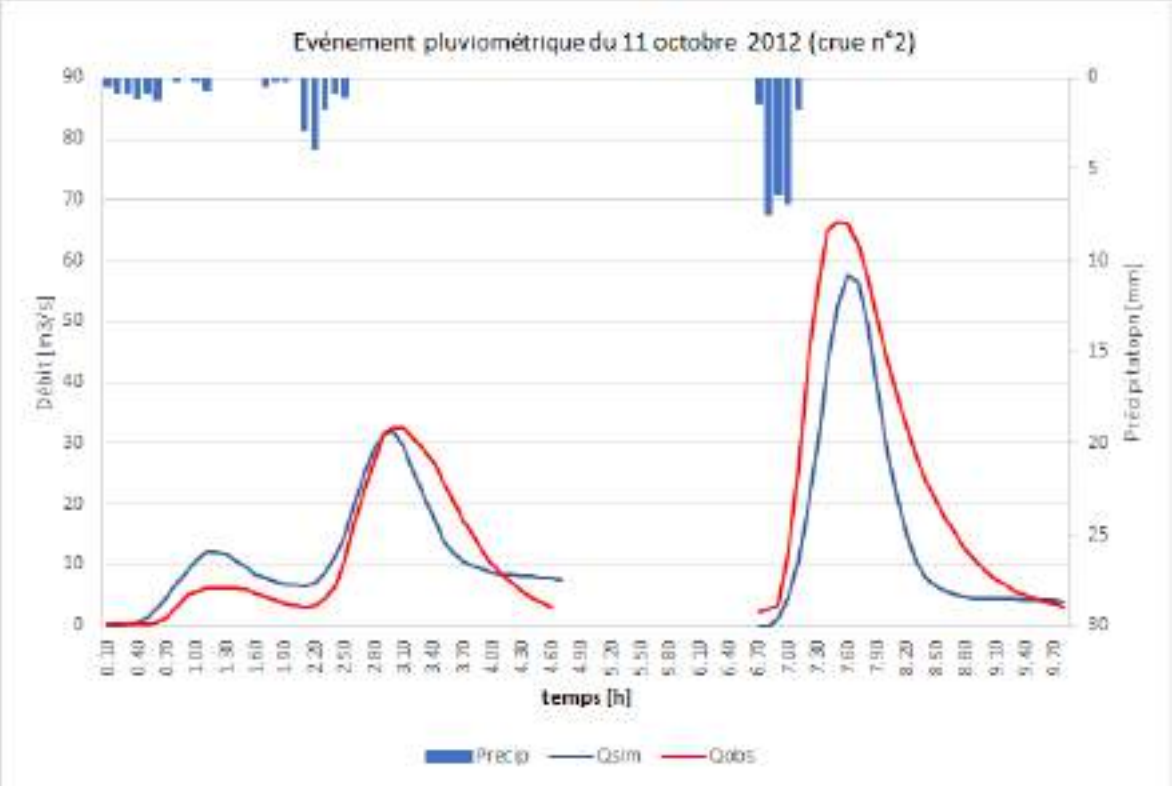


Figure 46 : Comparaison des débits observés (en rouge) et calculés (en bleu) pour les deux crues de calage du 10 et 11 octobre 2012

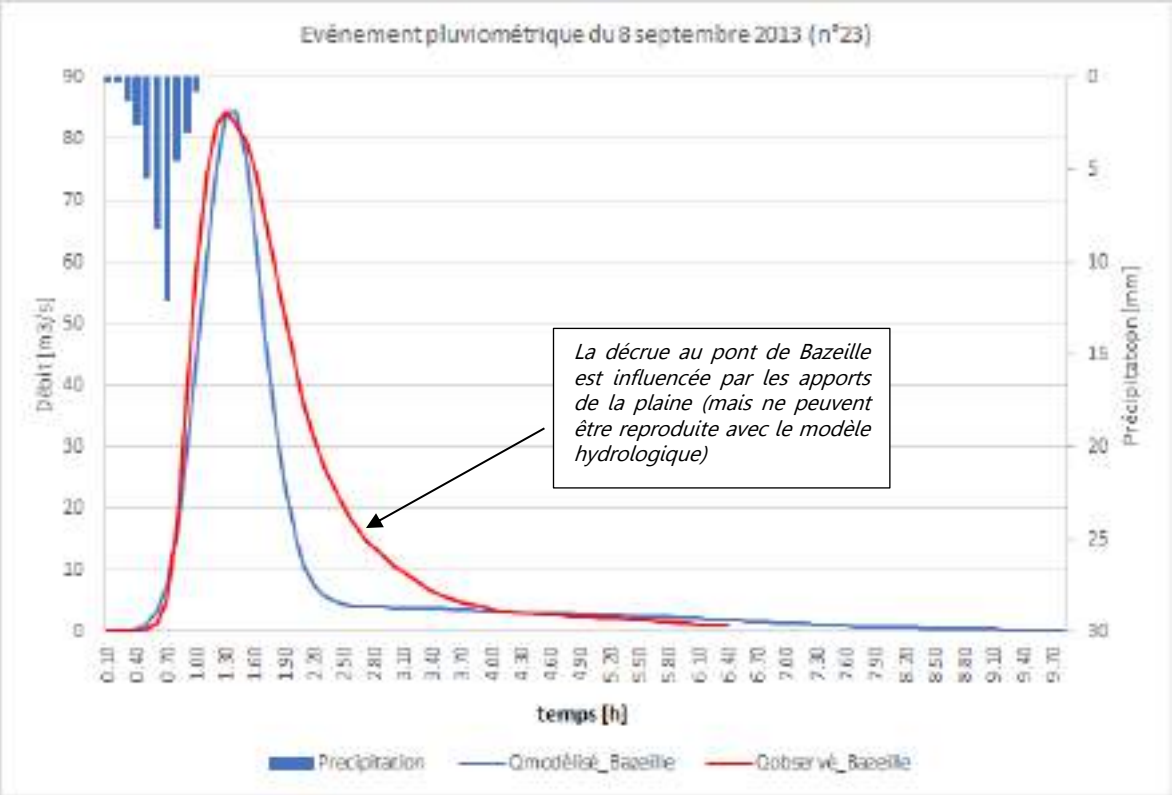


Figure 47 : Comparaison des débits observés (en rouge) et calculés (en bleu) pour la crue de calage de septembre 2013

Les montées de la crue et les pointes de crues sont bien reproduites. En revanche, les écoulements retardés arrivant du bassin de la plaine ne peuvent pas être reproduit par le modèle hydrologique. Cela explique en grande partie la mauvaise concordance des hydrogrammes en décrue.

Rappelons que cet aspect de laminage sera pris en compte dans le modèle hydraulique (injection de l'hydrogramme sortant au pont de la Clue dans le modèle hydraulique Toulonnais). Avec un hydrogramme « hydraulique » amortie et étalé, plus réaliste, provenant de la Plaine, il est probable de retrouver une décrue qui s'ajuste plus avec les débits observés.

4.6 EXPLOITATION DU MODELE

4.6.1 Conditions amont du modèle hydraulique (points d'injection)

La condition amont du modèle hydraulique (PHASE 4) correspond aux hydrogrammes générés par le modèle pluie-débit développé dans la présente étude aux 79 sous bassins versants étudiés homogènes identifié dans la PHASE 1 de l'étude.

Les injections de débit se font soit ponctuellement (cours d'eau, réseau pluvial ou en lit majeur), soit progressivement le long d'un tronçon de cours d'eau. Le type d'injection a été défini en fonction des modalités réelles d'apport en eau, à partir du tracé du réseau hydrographique, des plans du réseau pluvial et des reconnaissances de terrains.

La Figure 48 suivante présente les superficies et la position des exutoires des 79 sous bassins versants étudiés homogènes identifié dans la PHASE 1 de l'étude. Ils sont regroupés par

affluents.

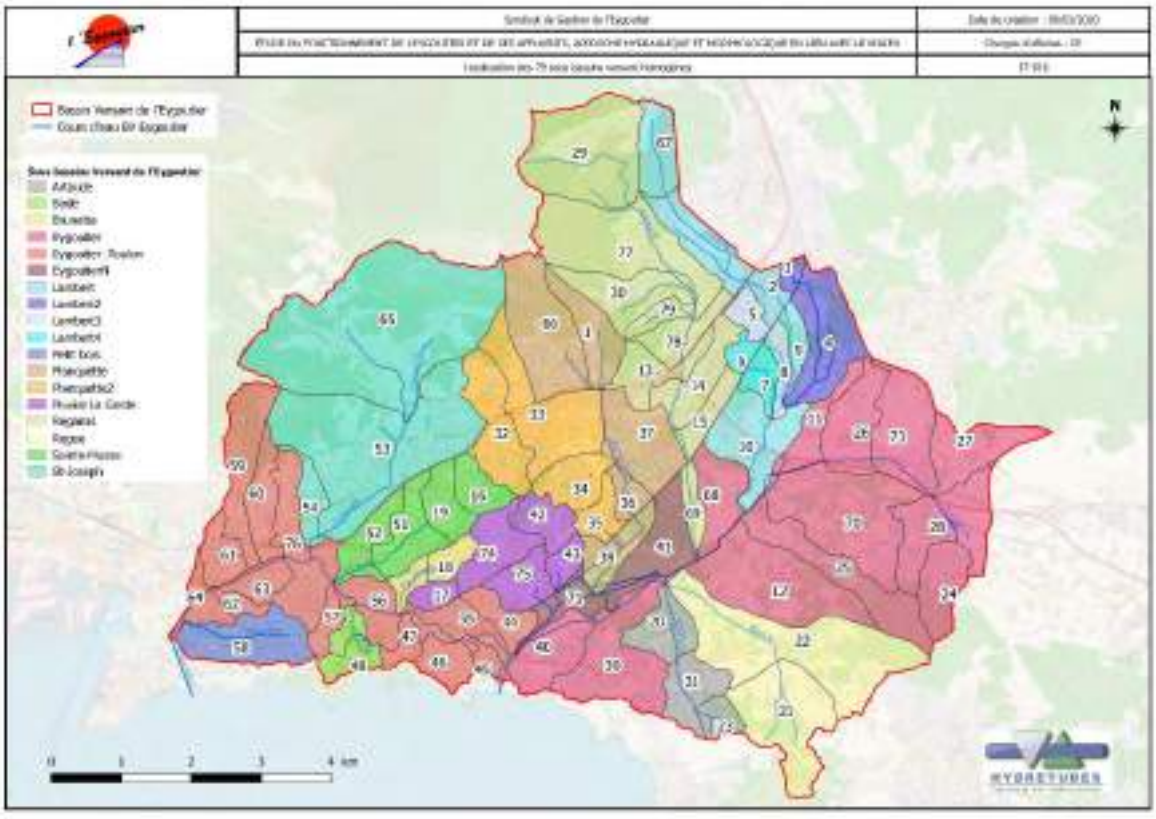


Figure 48 : Localisation des 79 sous bassins versants homogènes identifiés dans la PHASE 1 pour le calcul des hydrogrammes de crue

4.6.2 Points de calculs et sous-bassins versants homogènes

Pour l'exploitation du modèle Pluie-Débit calé, les débits ont été calculés sur 125 points de calcul pour l'ensemble du bassin versant étudié.

Du fait de la taille des mailles du MNT (10 m) et de la complexité de l'occupation du sol, les limites de certains bassins versants n'ont pas pu être totalement reconstituées par le modèle pluie-débit (se reporter à § 4.3.1). Les débits de crue sont alors calculés par la méthode de calcul de débit par homothétie de superficie de bassin versant :

$$Débit_x = \frac{Débit_y * Superficie_x}{Superficie_y}$$

Avec :

y : bassin versant de référence (sous bassins versants MESRI)

x : bassin versant recherché (sous bassins versants homogènes INGEROP-GEORIVE)

Cette méthode permet de garder l'information fournie par le modèle sur la réponse dite « géomorphologique » de chaque sous-bassin versant à une sollicitation pluvieuse, tout en gardant les bonnes superficies.

Au final, un débit de pointe et un hydrogramme sont calculés pour chacun des 78 sous bassins versants homogènes. Les hydrogrammes sont au même pas de temps que les données de pluies (pas de temps 6 min).

4.6.3 Pluies modélisées pour les besoins de l'étude hydraulique (PHASE 4)

Pour les besoins de l'étude hydraulique (PHASE 4), les débits et les hydrogrammes ont été générés à partir du modèle calé et de la procédure décrite ci-dessus pour chacun des 78 bassins versant homogènes et pour les pluies suivantes :

- Les **deux pluies historiques récentes** pour lesquelles des cotes PHE et des témoignages sont disponibles (nécessaires au calage du modèle hydraulique).
    - L'**évènement du 24/09/2006** qui est un évènement ayant entraîné des débordements significatifs (pour lequel 10 PHE sont disponibles, toutes situées dans la traversée de Toulon).
    - L'**évènements du 08/09/2013,** peu ou pas débordant (qui est aussi l'évènement de calage pour le modèle hydrologique).
- Les **deux pluies de référence** issues de la présente étude (§ 3. Référentiel).
    - **Pluie de projet de type 2, basée sur l'évènement de 1978** (Pluie centennale de 24 h de forme triangle semblable d'un point de vue statistique à la pluie de 1978).
    - **Pluie de projet de type 3, basée sur la pluie de 2006 et le gabarit DDTM** (Pluie de 2 h de forme double triangle calé sur l'événement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006). Cette pluie est plus que centennale.
- Et enfin, les **pluies de projet courantes** (2 à 50 ans).

Rappelons que le choix de distribution des pluies s'est porté sur **une pluie uniforme sur l'ensemble des pixels du bassin versant pour la modélisation pluie-débit.**

4.6.4 Débits et hydrogrammes des évènements historiques de calage

Les hydrogrammes des évènements historiques de calage sont illustrés dans les figures ci-dessous.

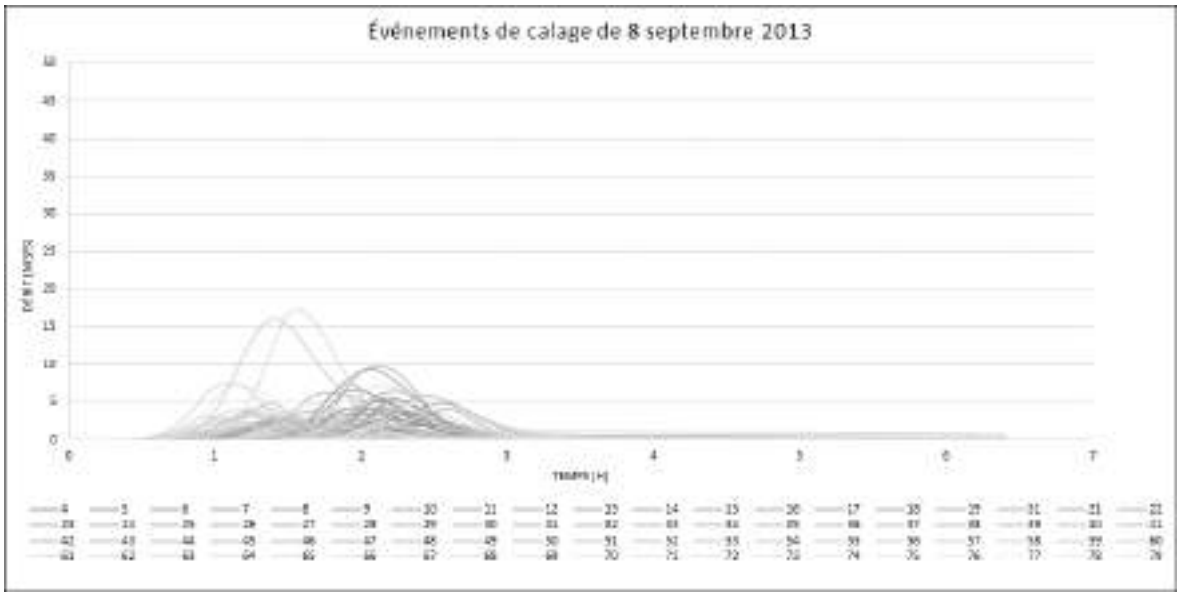


Figure 49 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement du 8 septembre 2013

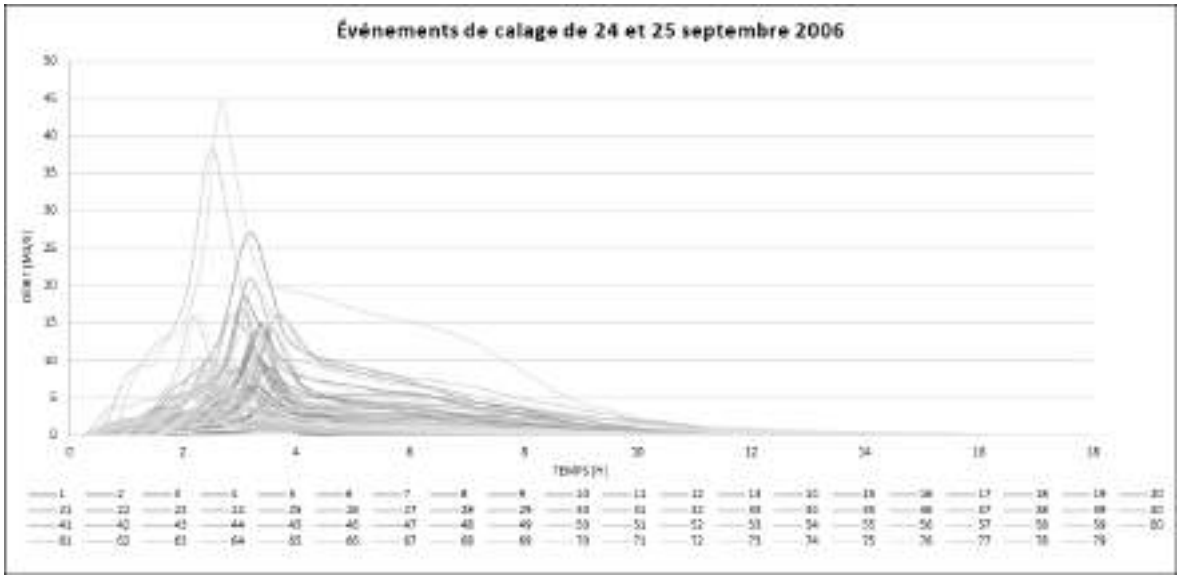


Figure 50 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement du 24 au 25 septembre 2006

Les débits de pointe et les débits spécifiques (rapport du débit Q - exprimé en m^3/s, et de la surface S de son bassin versant - exprimée en km^2) obtenus par le modèle pluie débit pour les 2 évènements de calage (24/09/2006 et 08/09/2013) sont donnés en annexe (cf. Tableau 18).

Les débits de pointe spécifiques moyen, minimums et maximums, sont récapitulés dans le tableau suivant ci-dessous :

Tableau 13 : Débits de pointe moyen, minimums et maximums pour les deux événements de calage de 2006 et 2013

	Surface des SBV [km²]	Événements de calage de 24 et 25 septembre 2006		Événements de calage de 8 septembre 2013	
		Débit [m3/s]	Débit spécifique [l/s/km²]	Débit [m3/s]	Débit spécifique [l/s/km²]
Moyenne	0.86	9.01	11.70	3.77	5.13
Min	0.13	1.26	2.59	0.68	2.16
Max	5.54	44.90	19.16	17.08	9.00

Les différences de débits spécifiques entre sous bassins versant homogènes s'expliquent en premier lieu par leurs superficies. La nature des processus dominant dépendant de la taille de celui-ci. Ils s'expliquent aussi par l'occupation du sol (forêts, zones agricoles ou urbaines) conduisant à une production de surface différenciée mais aussi par la forme des sous bassins versants conduisant à des cheminements jusqu'à l'exutoire plus ou moins long.

Les figures suivantes (Figure 51 et Figure 52) synthétisent la relation entre débits de pointes et superficies des sous bassins versants homogènes. Il est possible d'en déduire le débit pseudo spécifique calculé par la formule suivante :

$Débit\ Pseudo\ Spécifique = \frac{Débit\ de\ pointe}{Superficie^{\alpha}}$	Avec : Débit pseudo spécifique en $m^3/s/km^2$ Débit de pointe en m^3/s Superficie en km^2 α : coefficient

Remarque : Le débit pseudo spécifique est un ratio entre le débit et la superficie du bassin versant à la puissance α. Il traduit le fait que plus le bassin versant d'un cours d'eau est petit, plus il est rapide à réagir aux pluies, phénomène, lié aux temps de réaction des différents compartiments qu'il contient. Pour les crues ce coefficient est souvent pris entre 0.7 et 0.8 tirées de l'expérience sur des bassins versants instrumentés en stations hydrométriques. Par exemple, les travaux de Payrastre (afin de normaliser les débits estimés entre différents points du bassin versant) introduisent un coefficient de 0.8 (Payrastre 2005[2] ; Yoo et al. 2007[3]). Le coefficient de 0.8 n'est pas universel, et peut varier légèrement en fonction des spécificités régionales et des gammes de crues (étiage, module, crues courantes, extrêmes).

Les résultats MESRI pour les pluies historiques de 2006 et 2013 donnent des coefficients globaux de 0.75 et 0. 83 cohérents avec les données de la littérature pour les crues (cf. loi puissance). La dispersion des points (pour une même surface de sous-bassin versant) s'explique sans doute par les spécificités actuelles des sous bassins, fonction de l'occupation du sol (urbain, rural ou forêt) et de la pente.

[2] Payrastre, O. (2005). Faisabilité et utilité du recueil de données historiques pour l'étude des crues extremes de petits cours d'eau. Etude du cas de quatre bassins versants affluents de l'Aude. Champs sur Marne, Ecole Nationale Des Ponts et Chaussées (ENPC). Thèse de Doctorat: 390 p.

[3] Yoo, C., K. Kim, H. S. Kim and M. J. Park (2007). "Estimation of areal reduction factors using a mixed gamma distribution." Journal of Hydrology 335(3-4): 271-284.

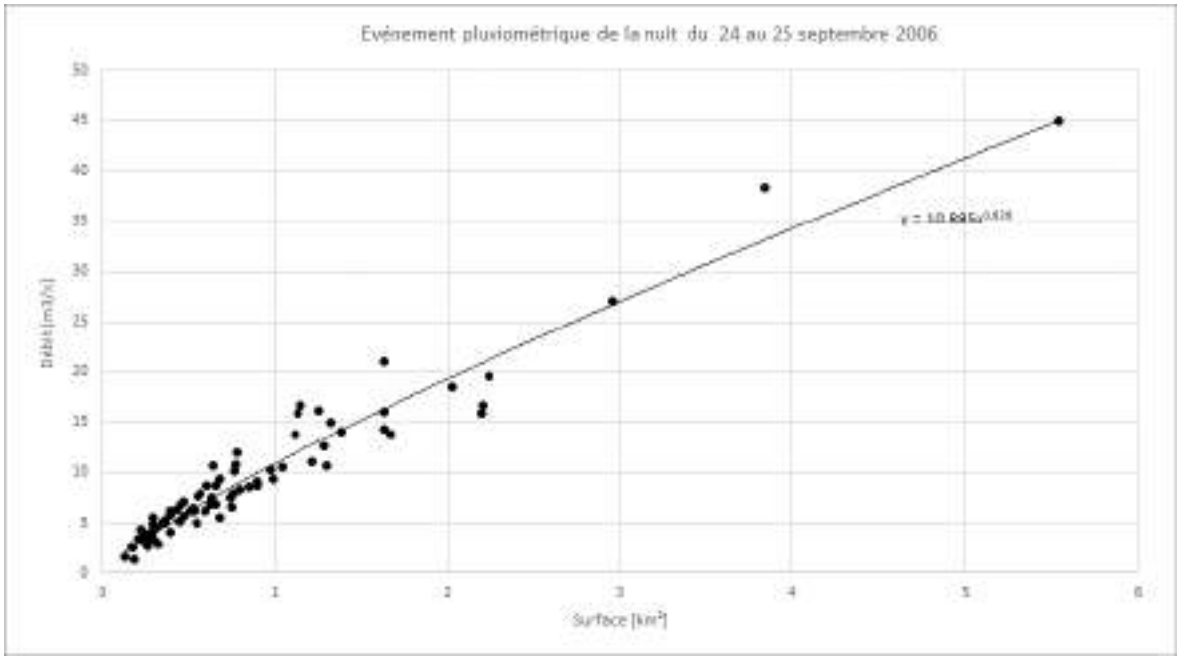


Figure 51 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour l'événement du 24 au 25 septembre 2006

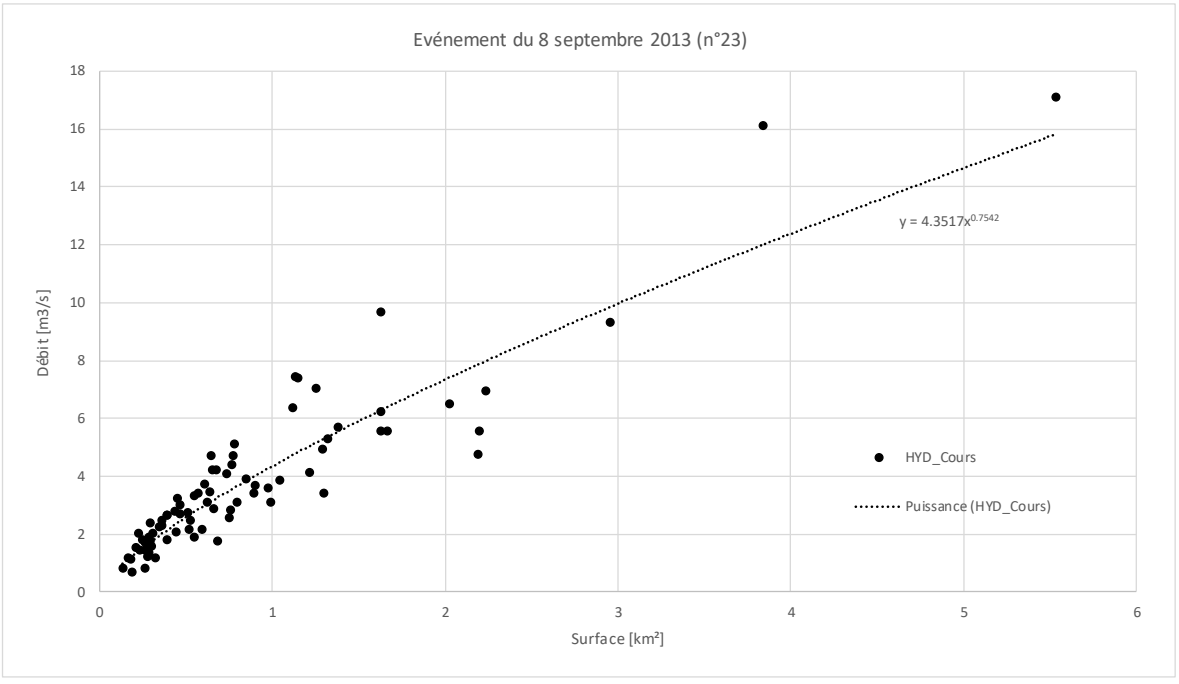


Figure 52 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour l'événement du 8 septembre 2013 (n°23)

4.6.5 Débits et hydrogrammes résultants pour les pluies de référence

Les hydrogrammes résultants pour les deux pluies de référence de type 2 (1978) et de type 3 (2006) sont illustrés dans les figures ci-dessous.

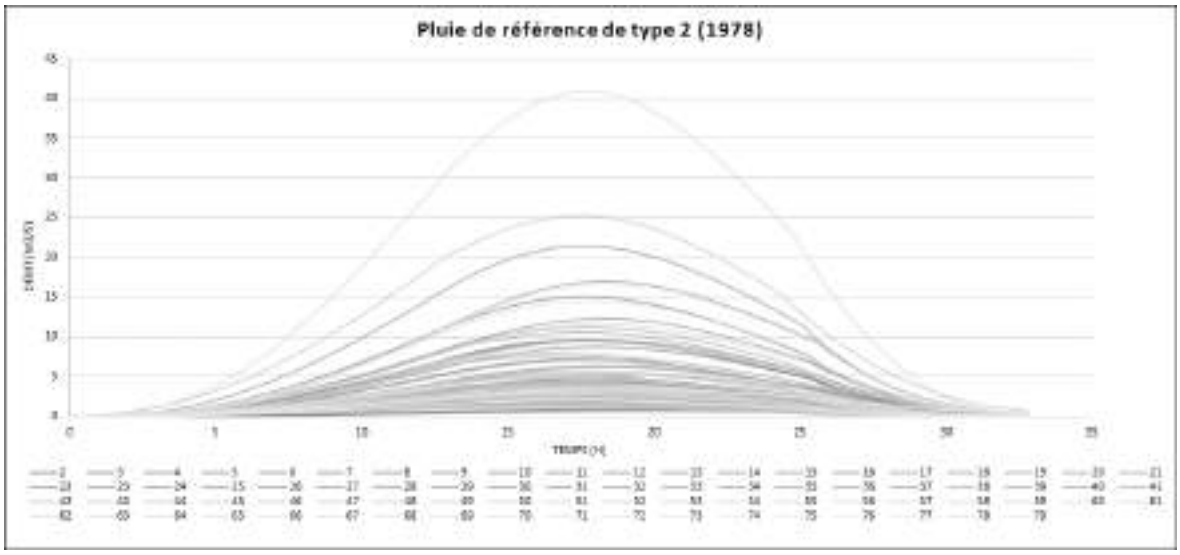


Figure 53 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de type 2 (1978) – Pluie longue 24h de temps de retour 100 ans.

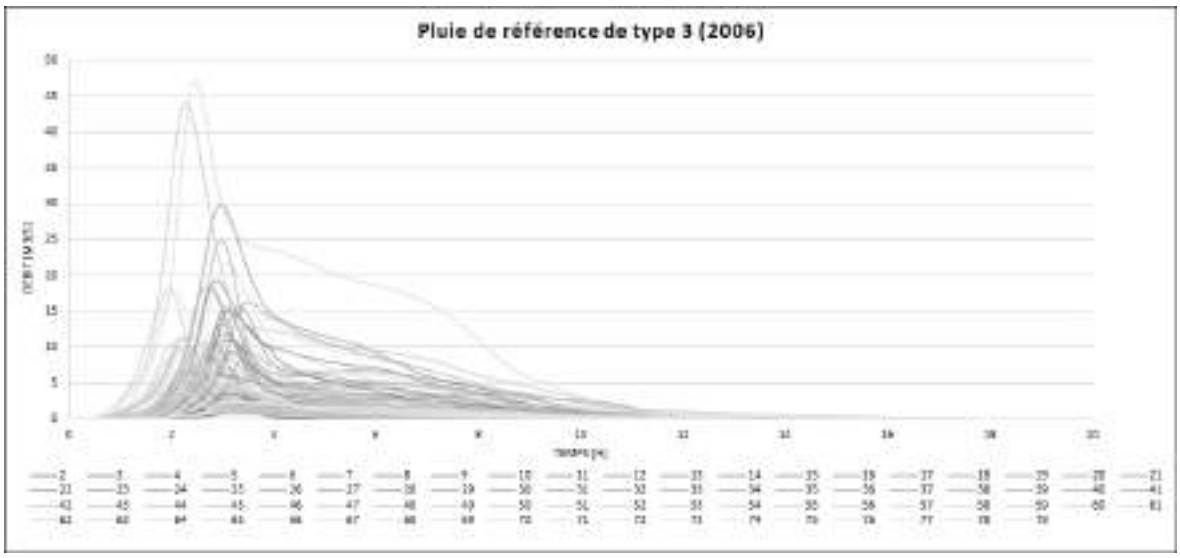


Figure 54 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de type 3 (2006) – Gabarit pluie DDTM

Les débits de pointe et les débits spécifiques obtenus par le modèle pluie débit pour ces 2 pluie de référence sont donnés en annexe (cf. Tableau 19). Les débits de pointe pour toutes les crues intermédiaires sont également reportés dans le Tableau 20 et le Tableau 21 de l'annexe.

Comme le montre les figures suivantes (Figure 56 et Figure 57), la pluie de projet de 24h gomme les différences de débits spécifiques entre sous bassins versant homogènes avec un ratio entre le débit et la superficie du bassin versant est une fonction puissance avec $\alpha = 1$ (Figure 55) : C'est la surface du bassin qui détermine le débit de pointe (quelques soit les autres caractères du sous*bassin). **Avec une pluie de longue durée, il n'y a plus d'effet**

de temps de réaction différencié entre sous-bassin versant de surface différente ; la réaction continue de tout le bassin versant est la source de la crue.

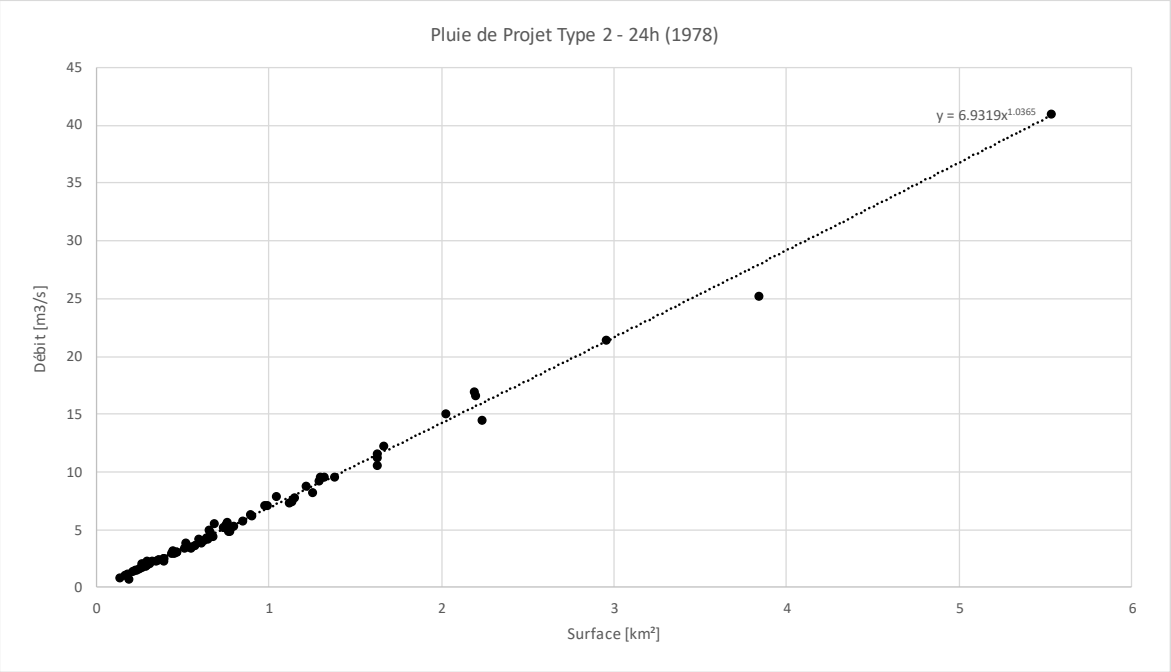


Figure 55 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour la pluie de projet type 2 24 h (Type 2 - 1978)

Les résultats MESRI pour la pluie de projet Type 3 avec le gabarit DDTM (Figure 57) que le ratio entre le débit et la superficie du bassin versant est une fonction puissance avec α =0.82. L'effet de surface est conservé mais la dispersion pour les bassins de même surface peut être importante. Cet aspect fait l'objet des paragraphes suivants (§ 4.6.6.2).

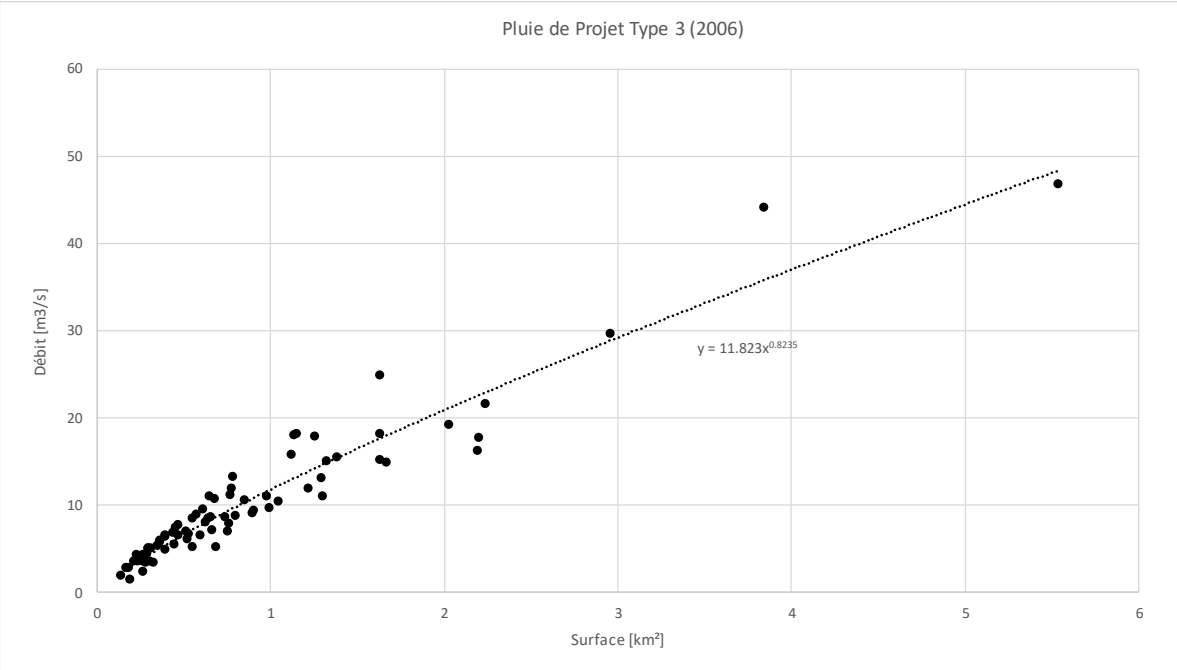


Figure 56 : Relation entre débits de pointe modélisés et surface pour la pluie de projet type 3 (Type 3 – DDTM 2006)

4.6.6 Comparaison des 2 crues de référence

L'objectif est ici d'identifier si les différences en termes de **débit de pointe** et **d'emprise de la zone inondable** entre les deux pluies de projet retenues sont reliables à une ou deux données spatiales faciles à acquérir par unités hydrologiques. En d'autres termes, il s'agit d'essayer de classifier les unités hydrologiques homogènes en fonction de leur réponse aux deux pluies de projets.

4.6.6.1 Données utilisées

Les résultats en termes de **surfaces inondables** issues du modèle hydraulique développé par INGEROP ont été exploitées (PHASE 4 : modélisation hydraulique et définition de l'aléa inondation), ainsi que les **caractéristiques des hydrogrammes** issus du modèle hydrologique pluie-débit (débits de pointes, volumes, durée caractéristique de la crue Ds).

Les **données spatiales** utilisées par unités hydrologiques définies en PHASE 1 sont la surface, l'altitudes maximum, minimum et les dénivelés spécifiques (indice générale représentatif du relief du bassin versant – voir ci-dessous) et enfin l'occupation du sol issu du CLC (% Zone agricole, % Zone de foret et % Zone urbaine).

D_s : dénivelée spécifique qui est un indice général représentatif du relief du bassin versant. Son expression est la suivante :

$$Ds = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{\sqrt{S}}$$

Plus D_s est grande, plus la réponse des bassins versants tend à être rapide. L'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) propose la classification suivante :

Type de relief	Intervalle de valeur du Ds
faible	10 < Ds < 25
assez faible	25 < Ds < 50
modéré	50 < Ds < 100
assez fort	100 < Ds < 250
fort	250 < Ds < 500
très fort	500 < Ds

4.6.6.2 Différences obtenues avec les deux pluies

❖ ***En termes d'hydrogrammes***

La comparaison des résultats obtenus par MESRI avec les deux pluies (cf. Figure 57) montre que les valeurs issues de la pluie de référence de Type 3 (2006) sont quasi toujours supérieures à la pluie de 24h à 2 exceptions près (67-Lambert, 29-Reganas à la limite nord du bassin avec -4% et -6 % d'écarts).

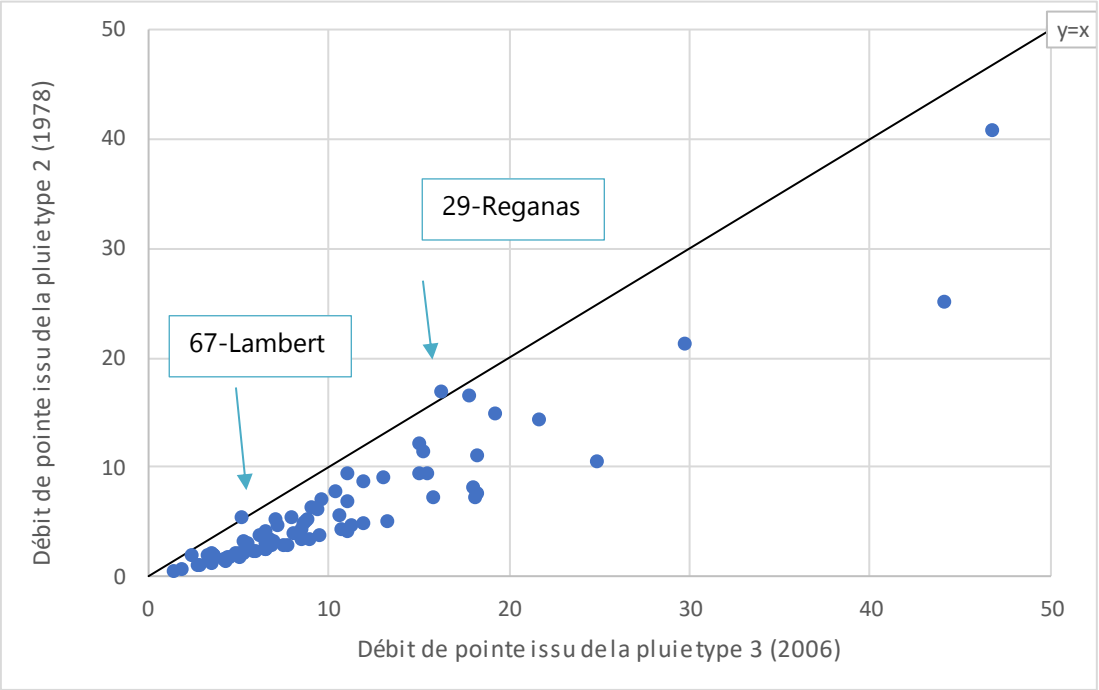
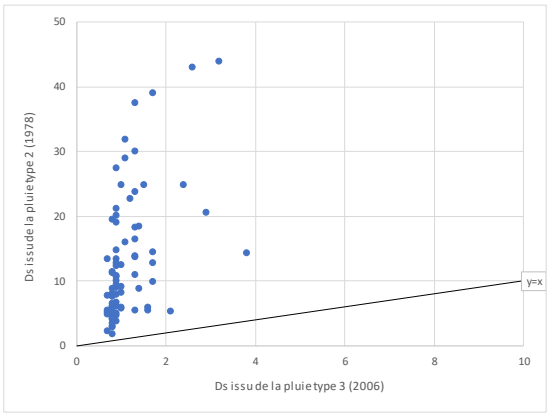
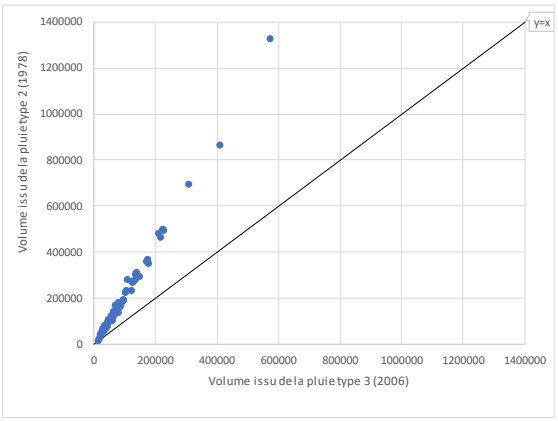


Figure 57 : Comparaison des débits de pointe modélisés (m3/s) pour les deux pluies de projet

Sans surprise, les volumes et les durées caractéristiques de la crue sont systématiquement plus importants pour la pluie de longue durée de type 2 (cf. Figure 58-a&b).



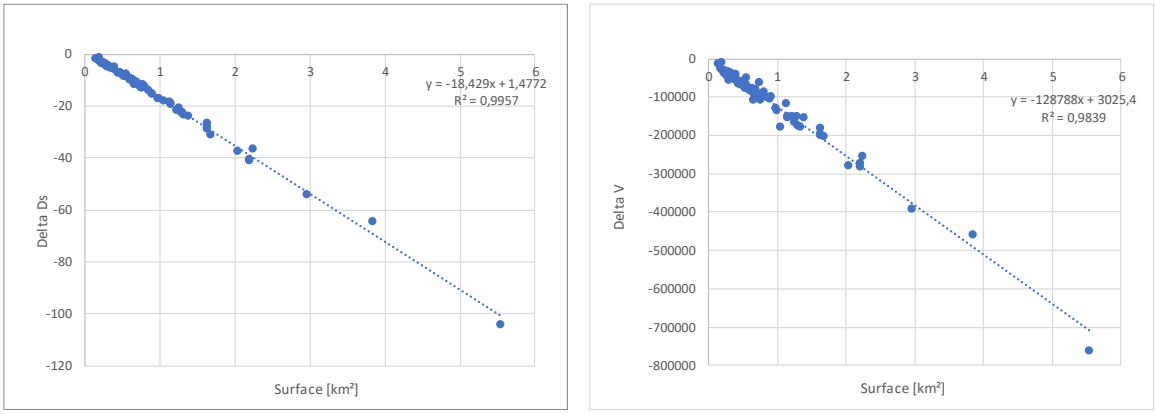
(a) Durée caractéristqiue de la crue Ds (h)



(b) Volume de la crue (m^3)

Figure 58. Relation entre les estimations obtenues pour les deux pluies de projets (type 1978, P100 sur 24h et type 2006, Gabarit DDTM sur 2h)

Comme le montre la Figure 59, pour les volumes et les durées caractéristqiues de la crue Ds, la différence entre les deux types de pluie s'expliquent entièrement par la surface des unités hydrologiques homogènes. Plus la surface est importante, plus les différences de volume et de durées caractéristqiues le sont.

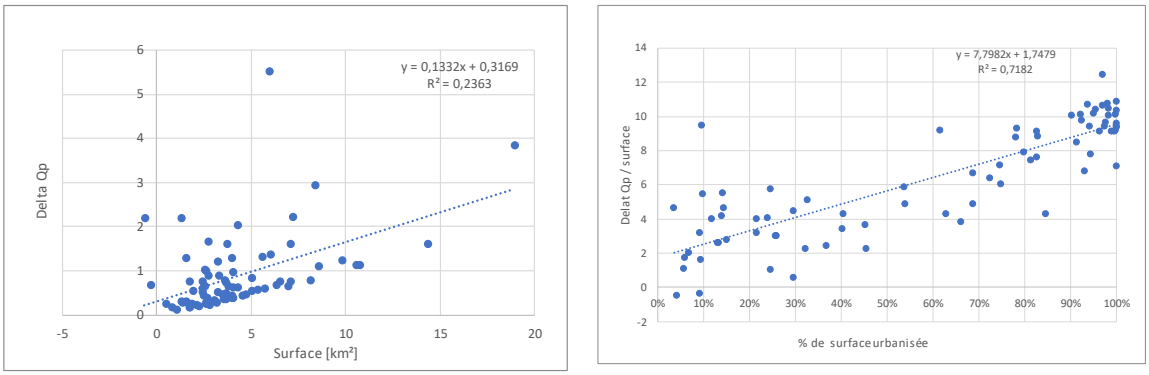


(a) Différence de durée caractéristqiue de la crue (h)

(b) Différence de volume de la crue (m^3)

Figure 59. Relation entre la différence d'estimations obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et la surface des unités hydrologiques homogènes

En revanche, la différence de débits de pointe entre les deux types de pluie (plus importante pour la pluie 2006) ne présente pas une variation linéaire avec la surface (cf. Figure 60-a. D'autres facteurs sont à prendre en compte. L'urbanisation semble ainsi expliquer, en partie, la variabilité (cf. Figure 60-b) avec une différence de débits de pointe spécifique (c'est-à-dire ramené à la surface) relativement bien corrélée au pourcentage de zone urbaine de l'unité hydrologique. Ces résultats sont conformes à la construction du modèle pluie-débit qui tient compte de l'occupation du sol.



(a) Différence de Débit de pointe de la crue (m^3/s)

(b) Différence de Débit de pointe spécifique

Figure 60. Relation entre la différence d'estimations obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et 1) la surface ou 2) le pourcentage de zone urbaine des unités hydrologiques homogènes

A titre d'illustration, la carte ci-dessous (Figure 61) présente la répartition spatiale par sous-bassin versant des débits spécifiques pour la pluie de projet DDTM 2006. Sans surprises, les débits spécifiques les plus faibles se retrouvent en zone rural ou de forêt, les plus forts en zones urbaines.

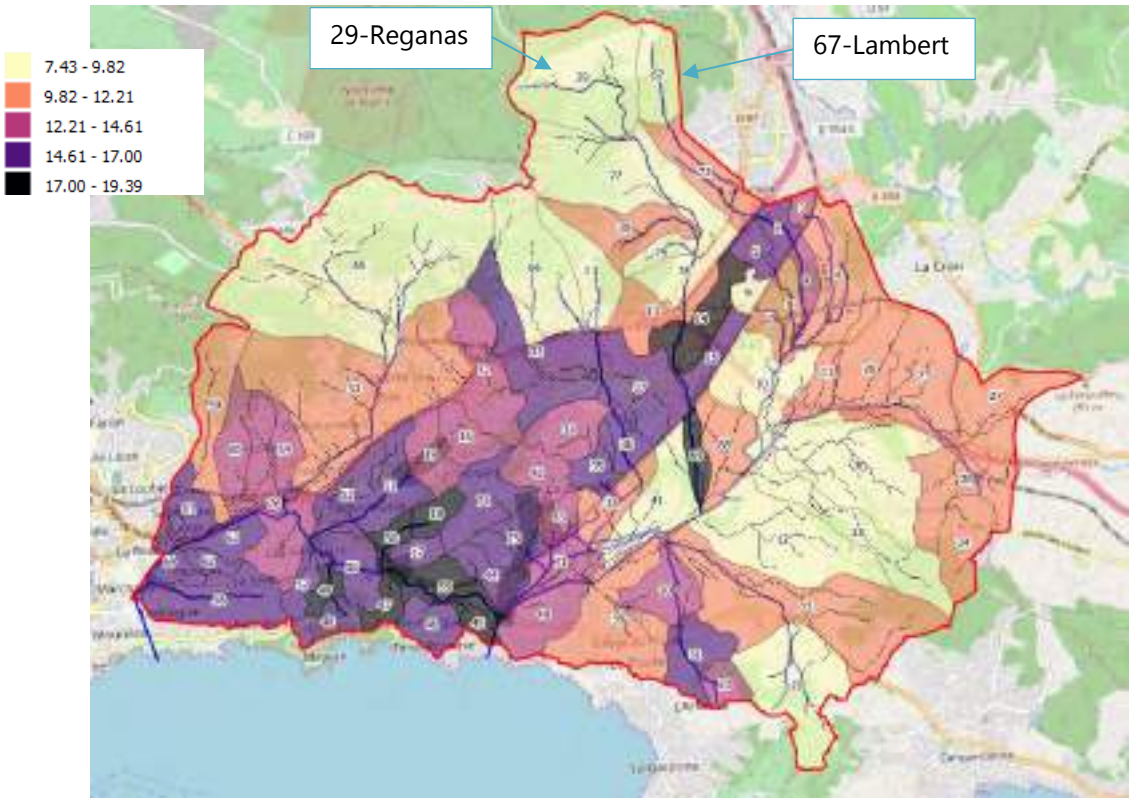


Figure 61 : Débits spécifiques pour la pluie de projet DDTM 2006 pour les 79 sous-bassins versants de l'étude

❖ *En termes de surfaces inondées*

Les figurent ci-dessous montrent les différences obtenues avec les deux pluies en termes de surfaces inondées (issues de la modélisation hydraulique).

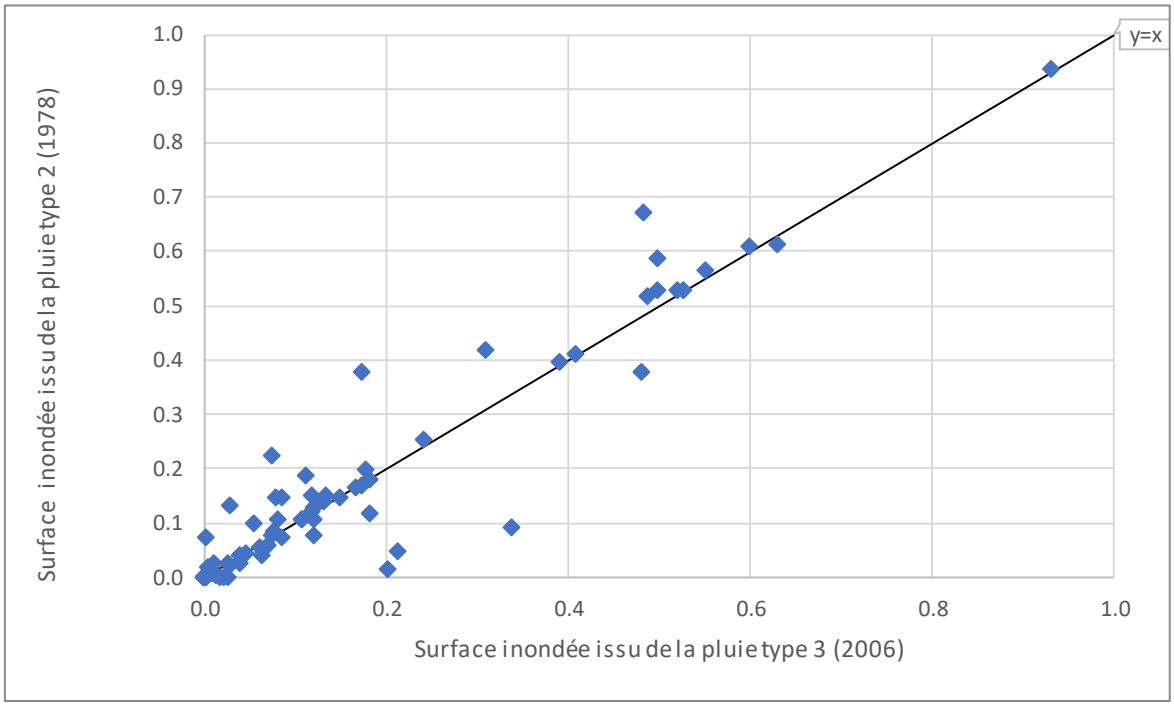
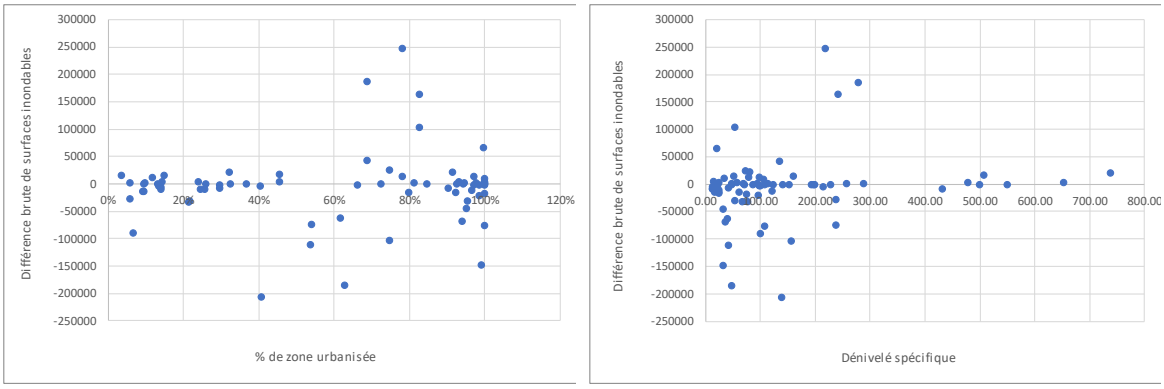


Figure 62 : Comparaison des surfaces inondées (km²) modélisées pour les deux pluies de projet

La différence de surfaces inondables (issues de la modélisation hydraulique) entre les deux pluies n'est pas systématiquement corrélée contrairement aux débits de pointe (issus de la modélisation hydrologique). Les variations de surface inondées entre les deux pluies de projets restent faibles entre -29% et +23%.

Une explication aurait pu se trouver dans les paramètres géographiques étudiés. Or, aucune corrélation ne ressort sur l'échantillon global, ni avec le pourcentage de zone urbaine, ni avec le dénivelé spécifique (cf. Figure 63).

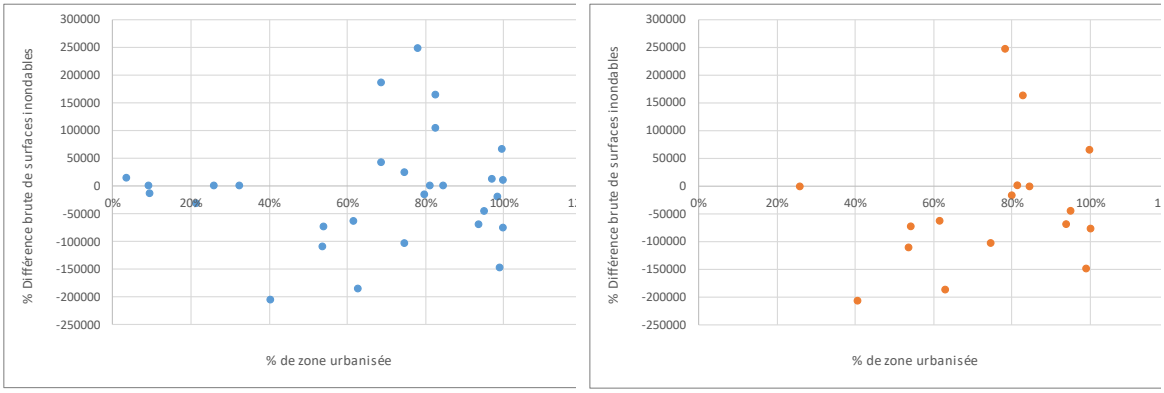


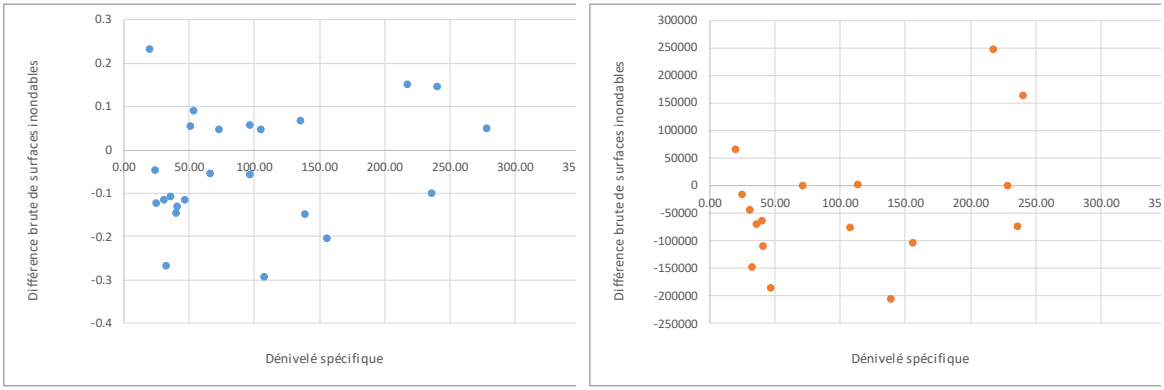
(a) Pourcentage de zone urbaine (b) dénivelé spécifique

Figure 63. Relation entre la différence en m² de surfaces inondables obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et a) le pourcentage de zone urbaine et b) le dénivelé spécifique des unités hydrologiques homogènes

Différents sous-échantillonnages ont été testés suivant la localisation (bassin amont / bassin aval par exemple), la surface des bassins (classe de surfaces), la différence en valeur absolu significatives, ...), mais sans résultats probants.

A titre d'illustration, les figures suivantes montrent les résultats pour un sous-échantillonnage constitués des unités hydrologiques homogènes pour lesquels la différence en valeur absolue est au moins de 5% (échantillon 1 : 27 unités homogènes sur 79) et de 10% (échantillon 2 : 19 unités homogènes sur 79). Aucune corrélation ne ressort sur l'échantillon n°1 ou n°2 avec le pourcentage de zone urbaine ou le dénivelé spécifique (cf. Figure 64).





Echantillon n°1 Echantillon n°2

Figure 64. Relation pour l'échantillon n°1 et n° 2 entre la différence en m² de surfaces inondables obtenues pour les deux pluies de projets (delta = 2006-1978) et 1) le pourcentage de zone urbaine et 2) des unités hydrologiques homogènes

Des régressions multiples ont également été testées. La meilleure des régressions multiples est obtenue sur l'échantillon n°2 (17 valeurs dont la différence en valeur absolue est au moins de 10%). Elle fait intervenir les paramètres : surface du bassin, altitude moyenne du polygone et % de zone urbaine) ; mais la dispersion reste très importante ce qui n'apportent pas plus la solution à la question d'une prédétermination statistiques.

4.6.6.3 Synthèse et conclusion

Il s'agissait ici d'essayer d'identifier une pluie type de projet pour diverses catégories d'unité hydrographique identifié dans la PHASE 1. Aucune relation simple n'a été trouvée pour discriminer les 79 unités hydrologiques. Les analyses effectuées aboutissent à l'impasse d'une indétermination statistiques.

L'urbanisation et la pente sont a priori des facteurs importants expliquant en grande partie la réponse des sous bassins versants aux deux pluies de projets. Cependant, bien qu'il existe une différence de surfaces inondables entre les deux pluies testées (forme 1978 ou 2006), aucun paramètre géographique étudié n'a permis de privilégier l'une ou l'autre pluie pour un des 79 sous-bassins versant homogène donné.

Nous recommandons ainsi de tester les deux pluies dans les projets. C'est cette méthode qui a été appliquée lors de la PHASE 4 avec une cartographie de synthèse correspondant à la concaténation des modélisations conduisant aux hauteurs d'eau les plus fortes en chaque secteur pour créer une carte unique sur l'ensemble du bassin versant.

4.6.7 Comparaison avec les résultats précédents

Les débits de pointes « hydrologiques » ont été estimés à certains points de contrôles des sous bassins versant pour les deux pluies de projet de référence et équivalentes à des crues rares (≥100 ans).

A titre d'illustration, la Figure 65 ci-dessous représente les hydrogrammes obtenus par modélisation pluie-débit au pont de Bazeille pour les 2 scenarios de pluies de références. Ils sont obtenus en faisant la **somme des hydrogrammes « hydrologiques » des unités de sous-bassins versants composant le bassin au point de contrôle** (en tenant uniquement compte des décalages hydrologiques).

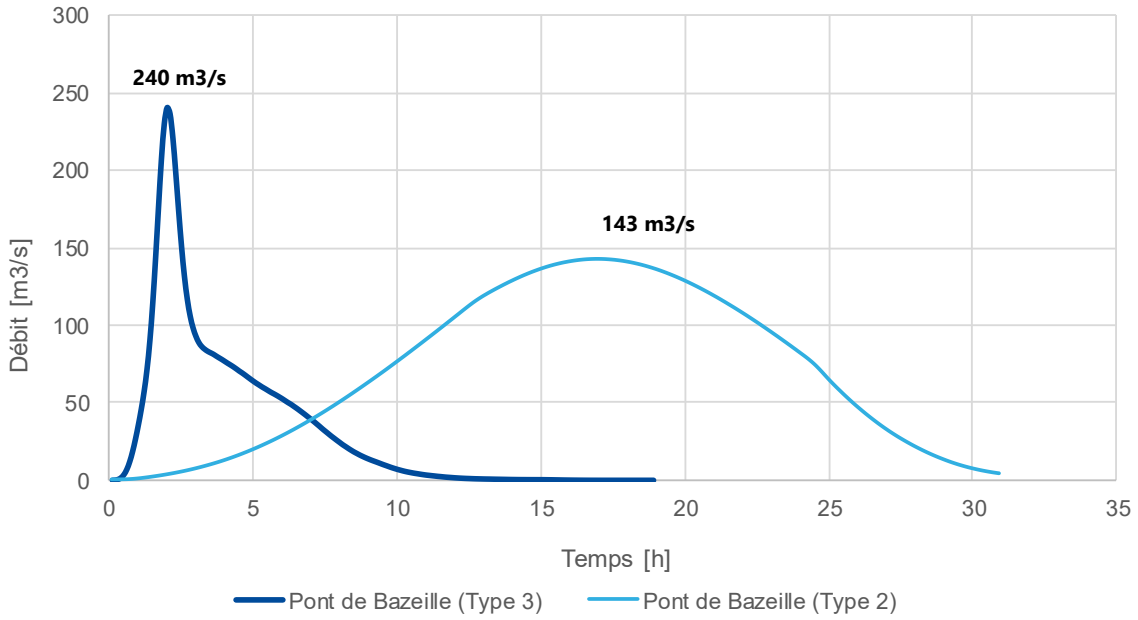


Figure 65 : Comparaison des 2 scenarios de pluies de références au pont de Bazeille

Les résultats de débits de pointes obtenues par sommation des hydrogrammes (cf. Tableau 14 ci-dessous) sont comparées aux estimations de débits de pointe « hydrologique » de temps de retour 100 ans (ci-dessous) et obtenues par ailleurs (COYNE&BELIER, 1979, SOGREAH, 2004, SCE, 2007, HYDRATEC, 2008, ARTELIA, 2013, SAFEGE, 2015).

Tableau 14. Données de débits de pointes obtenues pour des points de contrôles à l'exutoire de quelques sous bassin versants étudié par la modélisation Pluie-Débit MESRI

Point de contrôle	Surface [km²]	Type 2 (1978) 24h MESRI	Type 3 (2006) 2h MESRi
Planquette	8.14	55.3	100
Reganas	8.21	59.5	72.6
Sainte Musse	2.32	15	32.3
Saint-Jospeh	9.76	68.4	93.6
Pont de la clue	47.03	347.8	445
Pont de Bazeille (Tunnel Lamalgue)	21.09	142.8	240.6

Tableau 15. Données de débits de pointes obtenues pour des points de contrôles à l'exutoire de quelques sous bassin versants étudiés antérieurement

Point de contrôle	Surface [km²]	Q100	Source
Planquette	7.8	66.6	HYDRATEC, 2008
Reganas	7.9	67.4	HYDRATEC, 2008
Sainte Musse	3.3	45	SOGREAH, 2004
Sainte Musse	2.8	51	SCE, 2007
Saint-Jospeh	8.1	50	SOGREAH, 2004
Saint-Jospeh	8.5	128	SCE, 2007
Saint-Jospeh	9.36	112.2	SAFEGE, 2015
Pont de la clue	51	280	COYNE&BELIER, 1979; CETE, 1988; HYDRATEC, 2008; ARTELIA, 2013
Pont de Bazeille (Tunnel Lamalgue)	19	229.0	SCE, 2007

La Figure 66 ci-dessous représente les résultats sous forme graphique. Les deux droites représentent les régressions Qp/S pour les deux pluies de projet de référence aux points de contrôles.

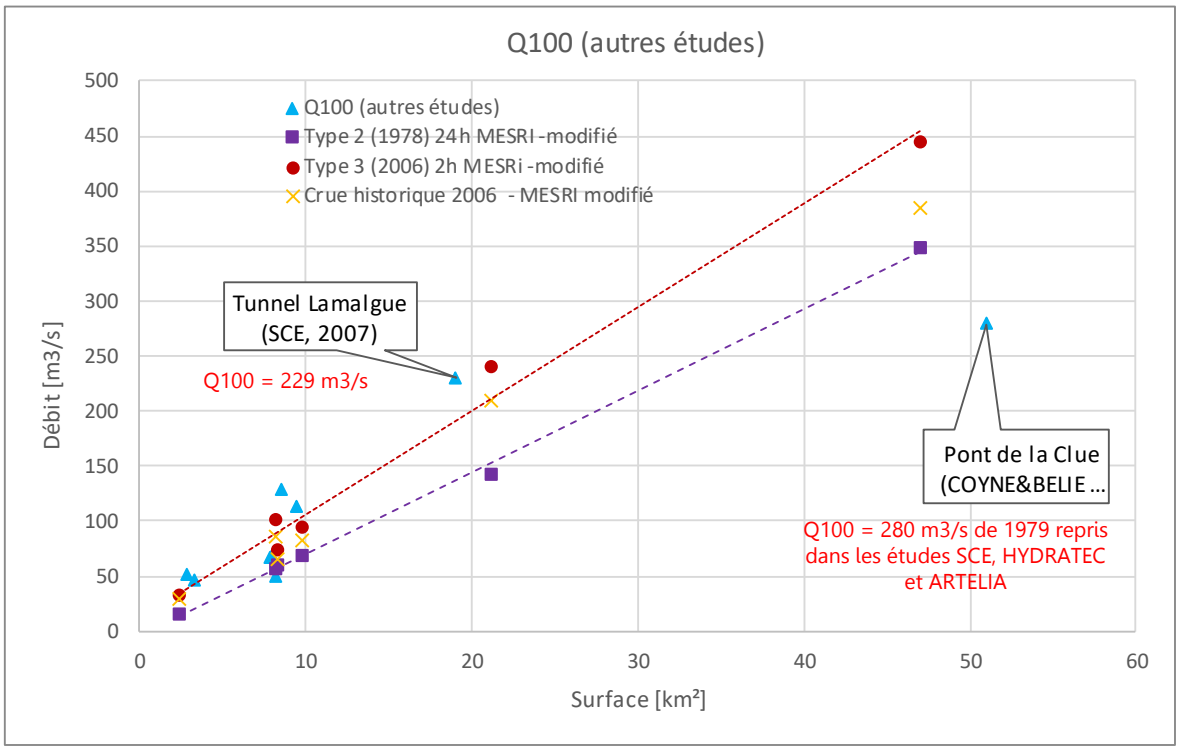


Figure 66 : Comparaison pour quelques points de contrôles des résultats issues de la modélisation hydrologique MESRI (crue historiques 2006, pluie de projet 24h (1978) et pluie DDTM 2006) avec les études antérieures.

Insistons sur le fait que la comparaison avec les résultats antérieurs est un exercice complexe, cela d'autant plus pour les bassins versant sont non jaugés, et du fait de la diversité des méthodes et des hypothèses prises, notamment sur le choix de la pluie de projet (durées, mais aussi les données de base (statistiques des pluies…) ou encore l'objectif de l'étude.

De plus, l'échelle de l'étude ou la taille des bassins versants considérés ne sont pas toujours les mêmes ou communiqués. Les superficies des sous-bassins versants ne sont pas toujours disponibles. Elles sont parfois différentes pour un même point de calcul (par rapport à nos estimations) du fait des sources anciennes utilisées pour délimiter les bassins versant.

Le découpage par petits sous-bassins versants homogènes pour la présente étude (79 sous bassins versants étudiés homogènes identifié dans la PHASE 1 de l'étude) ne permet, par exemple, pas toujours d'établir des comparaisons avec les études antérieures (découpage différent).

Cette comparaison exprime aussi toute la difficulté d'attribuer un temps de retour à un débit issu d'une pluie de projet dans un contexte de bassin versant non jaugés (pas de statistiques sur les débits).

Les quelques éléments suivants peuvent être retenus :

- Rappelons que pour certain sous bassin versant les débits centennaux hydrologiques sont repris d'une étude à une autre. Par exemple, le débit centennal de 280 m^3/s au pont de la Clue produit par Coyne et Bélier en 1979, est repris dans les études SCE, HYDRATEC et ARTELIA. Au pont de Bazeille (tunnel de Lamalque), une seule étude estime un débit centennal à 229 m^3/s (SCE, 2007). Des études récentes donnent en revanche des estimations de débits à l'exutoire de certains affluents (ARTELIA, 2013, SAFEGE, 2015) : Planquette, Reganas et Saint-Joseph.
- Concernant le Sainte Musse (S=2.3 km^2) les débits issus de la pluie de projet courte et intense de Type 3 (2006) sont les plus proches des estimations des Q100 précédentes de SOGREAH, 2004 (45 m^3/s pour S=3.3 km^2) et de SCE, 2007 (51m3/s pour S=2.8 km^2). Les différences de tailles prises en compte expliquent en partie la différence de valeur obtenues. Ramener à S= 2.8 km^2 ou 3.3 km^2, les débits issus de la pluie Type 3 DDTM (2006) deviennent 39 ou 45 m^3/s, ce qui devient cohérent.
- Pour le Reganas et la Planquette, l'étude HYDRATEC, 2008 donne respectivement Q100 = 67.6 m^3/s et 66.6 m^3/s pour ces deux bassins versants de surface similaires (S=7.8 et 7.9 km^2). La modélisation hydrologique MESRI donne des résultats similaires bien que plus faibles pour la pluie de projet Type 2 (Q100 = 55.3 m^3/s pour le Reganas et 59.5 m^3/s la Planquette). En revanche les débits sont très différents selon le bassin versant avec la pluie de Type 3 (2006). Le bassin versant de la Planquette, plus urbain et de forme moins allongée que celui de Reganas, réagit plus vite, ce qui induit une pointe de débit plus forte (100 m^3/s) avec le modèle MESRI. Les débits « hydrologiques » issues de l'étude INGEROP n'ont pas été calculés à l'exutoire, c'est pourquoi cette étude n'est pas prise pour cette comparaison. Les débits spécifiques par bassins versant élémentaires sont cohérents (voir ci-dessus). La différence de surface des bassins peut aussi expliquer les écarts.
- Comme le montre la figure ci-dessus, la modélisation hydrologique MESRI pour les deux pluies de projet donne des résultats bien plus important au Pont de la Clue (Q= 347.8 m^3/s et 445 m^3/s) par rapport aux estimations antérieures de 280 m^3/s produit par Coyne et Bélier en 1979. La prise en compte de l'urbanisation 2014 dans le modèle MESRI explique en partie cette différence d'estimation.

Rappelons encore que ce débit théorique est la somme des hydrogrammes « hydrologiques » des 53 sous-bassins versants composant le bassin de la plaine (en tenant compte des décalages hydrologiques). Il ne prend donc pas en compte les possibilités d'écrêtement très importantes sur ce bassin versant. Il n'est donné qu'à titre indicatif. C'est bien les débits estimés sur chacun des 53 sous-bassins homogènes amont qui seront injectés dans le modèle hydraulique.

A titre d'illustration les Figure 67 et Figure 68 suivantes montrent le très important amortissement du débit de pointe au pont de la Clue pour les deux pluies de référence suite au routage des 53 crues « hydrologiques » au travers du modèle hydraulique (PHASE 4). Etant donné que le tronçon amont est très débordant dans le modèle 2D, il est toutetois difficile d'extraire un hydrogramme pertinent au pont de la Clue. Le choix d'INGEROP a été de reconstituer le débit juste avant la diffluence en sommant les 2 hydrogrammes suivants :

- Hydrogramme de sortie du modèle hydraulique amont (soit après le pont de la clue), qui est injecté en condition amont du modèle représentant la partie toulonnaise.
- Hydrogramme transitant via le tunnel de la Clue (décharge vers la mer).

- Enfin, pour le bassin versant toulonnais au niveau du Tunnel de Lamalgue, les débits issus de la pluie Type 3 (240 m^3/s pour S= 21 km^2) sont celles qui se rapprochent le plus des données de l'étude SCE, 2007 (Q100 = 229 m^3/s pour S= 19 km^2). Ramener à la même surface, les débits issus de la modélisation deviennent 216.8 m^3/s et sont complémentent cohérents.

A noter encore que la modélisation hydrologique ne prend pas en compte les ouvrages hydrauliques (bassins de rétention de Sainte-Musse par exemple). Insistons encore sur le fait qu'il s'agit de débits théoriques issue d'une démarche de modélisation hydrologique « pure ». Le calage définitif afin de modéliser les écoulements aura lieu dans la phase de modélisation hydraulique.

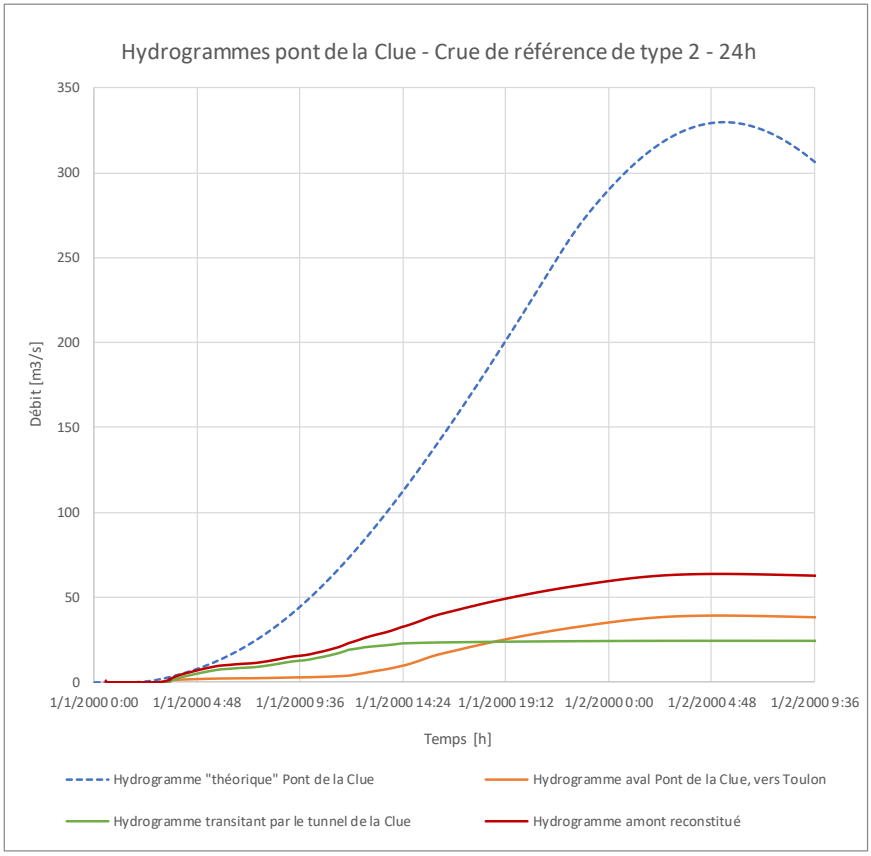


Figure 67 : Comparaison de l'hydrogramme « hydrologique » modélisé au pont de la Clue pour la pluie de référence 24h avec ceux issus de la PHASE 4 de modélisation hydraulique (53 hydrogrammes « hydrologiques » injectés)

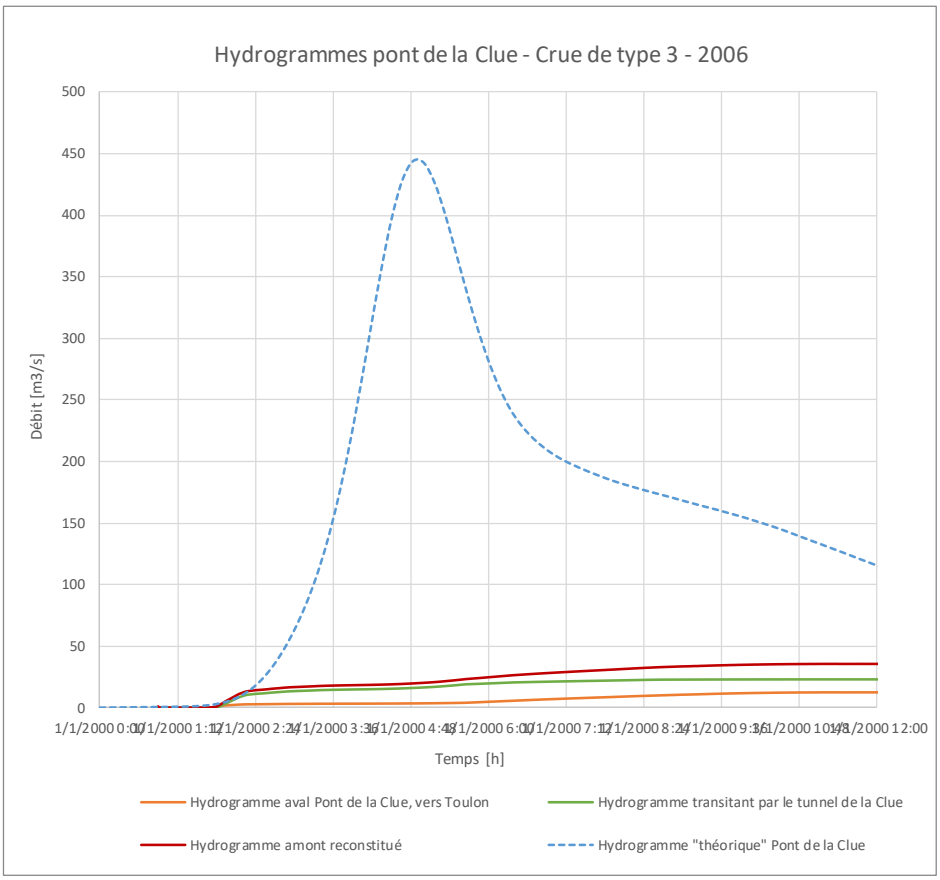


Figure 68 : Comparaison de l'hydrogramme « hydrologique » modélisé au pont de la Clue pour la pluie de référence DDTM 2h avec ceux issus de la PHASE 4 de modélisation hydraulique (53 hydrogrammes « hydrologiques » injectés)

5 REFERENCES

5.1 REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUES CITEES

HINGRAY, B., PICOUET, C. MUSY, A. (2009). Hydrologie 2. Une science de l'ingénieur. 12 Chapitres. Ed. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne. 650p.

CEREMA. (2014). Fiche n°3 – Conditions pluviométriques (V1 déc. 2014). Procédures d'autorisation et de déclaration des projets d'aménagementau titre du code de l'environnement rubrique 2.1.5.0 : rejets d'eaux pluviales. DGALN, Cerema – Rejets d'eaux pluviales. http://www.assainissement.developpement-durable.gouv.fr/documents/Fiche_SPE_EP_conditions_pluviometriques_integral_decembre_2014.pdf

ANDREASSIAN,V., J. LERAT, N. LE MOINE,ET C. PERRIN (2012). Neighbors: Nature's own hydrological models, Journal of Hydrology. Volumes 414–415, 11 January 2012, Pages 49-58.

LEBECHEREL, L. ; ANDREASSIAN, V. ; AUGEARD, B. ; SAUQUET, E. ; CATALOGNE, C. (2015). Connaître les débits des rivières : quelles méthodes d'extrapolation lorsqu'il n'existe pas de station de mesures permanentes ? ONEMA. 28p. https://irsteadoc.irstea.fr/exl-php/document-affiche/p_recherche_publication/OUVRE_DOC/43010?fic=2015/an2015-pub00048089.pdf

NICOLLE P., ANDREASSIAN, V., RIFFARD, M., PESCHARD, J., BOLDETTI, G., LE MOINE, N. (2012). Cartographie du débit de référence d'étiage et du débit moyen en France. Une approche distribuée pour garantir la continuité des estimations le long du réseau hydrographique. Partenariat 2011 ONEMA & IRSTEA – Domaine Hydro-morphologie et altérations physiques des hydrosystèmes continentaux – Action Prédétermination des étiages. 26p. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/2012_053.pdf

5.2 ETUDES ANTERIEURES

Année	Titre	MOE	MO	Intérêt
1967	Etude générale complémentaire- Etude hydraulique du Tunnel de la Clue	SCP	Département du VAR	Première étude hydrologique
1989 et 1990	Rapport de synthèse sur la rivière de l'Eygoutier sur Toulon - Estimation des débits d'orage décennaux.	Daragon Conseil S.A.	Ville de Toulon, service général des eaux	Synthèse des études existantes et nouveaux débits au tunnel de Lamalgue
1993	Schéma d'aménagement (hydrologie– hydraulique)	DARAGON	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)	Note de synthèse hydrologie (juin 1993)

1994	Aménagements hydrauliques du bassin versant de l'Eygoutier	SIB	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)	Analyse du basin versant et des crues (pluviométries locales, crues historiques…)
2002	Étude hydraulique : dimensionnement nouveau tunnel (AMO tunnel du pont de la Clue) - PHASE 1 et 2	Sogreah Daragon	SIAHE (Syndicat Intercommunal d'Aménagement Hydraulique de l'Eygoutier)	Modélisation hydraulique (plan de La Garde et du Pradet) inondabilité (T=10, 100 ans)
2003	Aménagement hydraulique du bassin versant de l'Eygoutier - Mission d'expertise sur les études - réalisées	CETE Méditerranée	DIREN PACA	Synthèse et avis sur les études antérieures (avant 2003)
2003	Notice de présentation. Etude architecturale de l'hôpital	Partie hydraulique : SOGREAH	CHI Toulon-La Seyne sur Mer	Descriptif BV, crues…
2007	Élaboration d'un schéma stratégique de lutte contre les inondations sur le bassin versant Toulonnais de l'Eygoutier	SCE	SIAHE	Modélisation hydraulique (aval pont de la Clue) : inondabilité (T=10, 50, 100 ans)
2008	**Calage des éléments hydrauliques du projet et études des impacts des aménagements – Plaine de la Garde**	**HYDRATEC**	**Conseil général du Var**	**Modélisation hydraulique (plan de La Garde et du Pradet) inondabilité (T=10, 100 ans). Etiages et débit annuel Aménagements réalisés**
2013	Etude de réalisation d'un seuil en amont du tunnel de l'Eygoutier au pont de la Clue à l'aide d'un modèle numérique	ARTELIA	SIAHE	Note hydraulique (aucune nouvelle analyse hydrologique n'a été réalisée)
2014	Quantification et qualification des apports solides et liquides de deux fleuves côtiers Méditerranéens	Thèse Dufresne, 2014 et Mémoire de stage de Master 2ème année de Ducros, 2014	Laboratoire d'Etude Radioécologiques en Milieu Continental et Marin (LERCM)	Débits au Pont de Bazeille
2015	Expertise hydraulique sur le secteur de l'Artaude	EGIS	Ville du Pradet	Diagnostic Artaude

2015	Étude hydraulique pour l'aménagement du ruisseau de Saint-Joseph	SAFEGE	SIAHE	Modélisation hydraulique (St Joseph) : inondabilité (T=2, 5, 10, 20, 100 ans)
2016	**Etude de la potentialité écologique du Las et de l'Eygoutier. Phase 1.**	**SCP**	**TPM**	**Données ponctuelles de jaugeages**
2016	**Mise à 2x3 voies de l'A57 Section Benoit Malon/Pierre Ronde - Dossier de déclaration Loi sur l'Eau - Pièce n°6.1 : Etude hydraulique des écoulements pluviaux**	**VINCI-INGEROP**	**ESCOTA**	**Mis à jour auprès de Météo-France des quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon (Indicatif : 83137001) Données ponctuelles de jaugeages**
2017	Étude hydraulique et AMC pour la définition du schéma d'aménagement du ruisseau de la Planquette	INGEROP	SIAHE	Modélisation hydraulique (Planquette) : inondabilité (T=2, 5, 10, 20, 100 ans)
2017	**Réalisation d'un seuil fixe au droit du tunnel de délestage du pont de la Clue sur l'Eygoutier - Etude hydromorphologique**	**SAFEGE SAS (SUEZ)**	**SIAHE**	**Etude hydromorphologique. Données ponctuelles de jaugeages**

6 ANNEXES

6.1 MODULE ET QMNA5

Tableau 16 – Module (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les tronçons des cours d'eau concernés ainsi que pour les stations hydrométriques voisines

ID_BDCARTH	TOPONYME1	SURFACE	QABASN	QAMOY_MN	QAHAUN	ROBUSTES_1
620009622	fleuve le gapeau	185	0,993	1,316	1,743	Robuste
620010320	fleuve le gapeau	536	2,861	3,789	5,018	Robuste
620010320	fleuve le gapeau	536	2,861	3,789	5,018	Robuste
620009593	le réal martin	283	1,572	2,082	2,758	Robuste
620010788	rivière la reppe	87	0,427	0,565	0,749	Prudence
620010358	ruisseau de lambert	2	0,007	0,01	0,013	Robuste
620010642	ruisseau de lambert	9	0,038	0,051	0,067	Robuste
620010214	ruisseau de lambert	0	0,001	0,001	0,002	Robuste

620010467	ruisseau de lambert	4	0,016	0,022	0,029	Robuste
620010450	ruisseau de lambert	2	0,01	0,014	0,018	Robuste
620010490	ruisseau de lambert	7	0,032	0,043	0,057	Robuste
620010309	ruisseau de réganas	5	0,023	0,031	0,041	Robuste
620010713	ruisseau de réganas	7	0,032	0,042	0,056	Robuste
620010277	ruisseau de réganas	3	0,015	0,02	0,026	Robuste
620010695	ruisseau l'eygoutier	17	0,073	0,097	0,128	Robuste
620010682	ruisseau l'eygoutier	0	0,001	0,001	0,001	1 seul modèle
620010641	ruisseau l'eygoutier	8	0,033	0,043	0,058	Robuste
620010749	ruisseau l'eygoutier	33	0,135	0,179	0,237	Robuste
620010712	ruisseau l'eygoutier	20	0,084	0,112	0,148	Robuste
620010811	ruisseau l'eygoutier	35	0,145	0,192	0,255	Robuste
620010651	ruisseau l'eygoutier	2	0,008	0,01	0,014	Robuste
620010852	ruisseau l'eygoutier	51	0,203	0,269	0,356	Robuste
620010752	ruisseau l'eygoutier	33	0,136	0,181	0,239	Robuste
620010847	ruisseau l'eygoutier	38	0,151	0,2	0,265	Robuste
620010878	ruisseau l'eygoutier	69	0,266	0,353	0,467	Robuste
620010762	ruisseau l'eygoutier	55	0,206	0,273	0,361	Robuste
620009457	vallon des routes	27	0,145	0,192	0,254	Robuste

Tableau 17 – Débits caractéristiques d'étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les tronçons des cours d'eau concernés ainsi que pour les stations hydrométriques voisines

ID_BDCARTH	TOPONYME1	SURFACE	Q5BASN	Q5MOY_MN	Q5HAUN	ROBUSTES_1
620010320	fleuve le gapeau	536	0,001	0,092	0,403	Fragile
620009622	fleuve le gapeau	185	0,002	0,056	0,185	Prudence
620009593	le réal martin	283	0,009	0,022	0,151	Fragile
620010788	rivière la reppe	87	0	0,014	0,063	Fragile
620010358	ruisseau de lambert	2	0	0	0,001	Fragile
620010450	ruisseau de lambert	2	0	0	0,001	Fragile
620010642	ruisseau de lambert	9	0	0,001	0,005	Fragile
620010214	ruisseau de lambert	0	0	0	0	Fragile
620010490	ruisseau de lambert	7	0	0,001	0,004	Fragile
620010467	ruisseau de lambert	4	0	0	0,002	Prudence
620010713	ruisseau de réganas	7	0	0,001	0,005	Fragile
620010309	ruisseau de réganas	5	0	0,001	0,003	Fragile
620010277	ruisseau de réganas	3	0	0,001	0,002	Fragile
620010089	ruisseau de réganas	1	0	0	0,001	Fragile
620010712	ruisseau l'eygoutier	20	0,001	0,001	0,009	Fragile
620010811	ruisseau l'eygoutier	35	0,001	0,003	0,019	Prudence
620010695	ruisseau l'eygoutier	17	0,001	0,001	0,008	Fragile
620010752	ruisseau l'eygoutier	33	0,001	0,003	0,018	Prudence
620010847	ruisseau l'eygoutier	38	0,001	0,003	0,021	Prudence

620010641	ruisseau l'eygoutier	8	0,001	0	0,003	Fragile
620010749	ruisseau l'eygoutier	33	0,001	0,003	0,017	Prudence
620010878	ruisseau l'eygoutier	69	0	0,011	0,049	Prudence
620010762	ruisseau l'eygoutier	55	0,001	0,005	0,031	Prudence
620010651	ruisseau l'eygoutier	2	0	0	0,001	Fragile
620010852	ruisseau l'eygoutier	51	0,001	0,004	0,028	Prudence
620010682	ruisseau l'eygoutier	0	0	0	0	Fragile

6.2 DEBITS DE CRUE

Tableau 18 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les deux événements de calage de 2006 et 2013

			Événements de calage de 24 et 25 septembre 2006		Événements de calage de 8 septembre 20013	
id	Surface	HYD_Cours	Débit [m3/s]	Débit spécifique [l/s/km²]	Débit [m3/s]	Débit spécifique [l/s/km²]
20	0.65	Artaude	8.68	13.26	4.21	6.43
23	0.30	Artaude	3.35	11.30	1.58	5.35
31	0.68	Artaude	9.33	13.76	4.21	6.21
48	0.34	Bade	4.95	14.45	2.27	6.62
49	0.21	Bade	3.41	16.54	1.54	7.47
18	0.29	Brunette	4.84	16.69	2.39	8.23
50	0.22	Brunette	4.28	19.16	2.01	9.00
11	0.52	Eygoutier_Plaine	6.51	12.52	2.16	4.15
12	2.03	Eygoutier_Plaine	18.55	9.16	6.51	3.21
24	0.74	Eygoutier_Plaine	7.50	10.16	4.08	5.53
25	1.30	Eygoutier_Plaine	10.62	8.20	3.40	2.62
26	0.97	Eygoutier_Plaine	10.20	10.47	3.61	3.70
27	0.89	Eygoutier_Plaine	8.71	9.77	3.41	3.83
28	1.38	Eygoutier_Plaine	14.05	10.16	5.70	4.12
39	1.62	Eygoutier_Plaine	16.06	9.89	6.23	3.84
40	0.85	Eygoutier_Plaine	8.53	10.09	3.93	4.65
68	0.75	Eygoutier_Plaine	7.83	10.37	2.85	3.78
70	2.24	Eygoutier_Plaine	19.62	8.77	6.97	3.12
73	1.29	Eygoutier_Plaine	12.57	9.77	4.93	3.83
44	0.43	Eygoutier_Toulon	6.32	14.68	2.77	6.43
45	0.16	Eygoutier_Toulon	2.64	16.01	1.19	7.21
46	0.45	Eygoutier_Toulon	6.79	15.14	3.25	7.24
47	0.25	Eygoutier_Toulon	3.95	16.06	1.79	7.28
55	0.64	Eygoutier_Toulon	10.61	16.48	4.70	7.31
56	0.60	Eygoutier_Toulon	8.71	14.41	3.72	6.15
57	0.26	Eygoutier_Toulon	3.81	14.39	1.71	6.47
59	1.04	Eygoutier_Toulon	10.47	10.07	3.88	3.73

60	0.62	Eygoutier_Toulon	6.90	11.4	3.10	4.96
61	0.46	Eygoutier_Toulon	7.10	15.31	3.01	6.49
62	0.18	Eygoutier_Toulon	2.46	13.81	1.13	6.34
63	0.39	Eygoutier_Toulon	5.77	14.89	2.66	6.87
64	0.36	Eygoutier_Toulon	5.06	14.04	2.29	6.35
76	1.25	Eygoutier_Toulon	16.20	12.94	7.04	5.62
41	0.99	EygoutierN	9.34	9.43	3.09	3.12
71	0.44	EygoutierN	5.16	11.66	2.07	4.68
2	0.31	Lambert	2.02	6.58	2.02	6.58
9	0.28	Lambert	1.36	4.79	1.36	4.79
10	1.22	Lambert	4.15	3.41	4.15	3.41
67	0.68	Lambert	1.76	2.59	1.76	2.59
72	0.80	Lambert	3.11	3.91	3.11	3.91
3	0.13	Lambert2	1.61	12.05	0.81	6.08
4	1.32	Lambert2	14.95	11.32	5.31	4.02
5	0.28	Lambert3	3.94	13.92	1.88	6.62
8	0.28	Lambert3	3.45	12.31	1.22	4.36
6	0.18	Lambert4	1.26	6.83	0.68	3.67
7	0.32	Lambert4	2.91	9.11	1.17	3.67
58	1.13	Petit bois	15.88	14.00	7.46	6.58
1	0.75	Planquette	6.60	8.79	2.57	3.43
36	0.28	Planquette	4.09	14.54	1.82	6.46
37	1.15	Planquette	16.67	14.54	7.41	6.46
38	0.59	Planquette	6.19	10.42	2.16	3.64
66	1.63	Planquette	14.29	8.79	5.57	3.43
32	1.12	Planquette2	13.84	12.36	6.37	5.69
33	1.62	Planquette2	21.04	12.95	9.66	5.94
34	0.63	Planquette2	7.46	11.75	3.47	5.47
35	0.36	Planquette2	5.29	14.74	2.46	6.84
17	0.23	Pluvial La Garde	3.35	14.62	1.44	6.26
42	0.51	Pluvial La Garde	6.22	12.29	2.74	5.41
43	0.26	Pluvial La Garde	3.29	12.65	1.43	5.50
74	0.77	Pluvial La Garde	10.78	13.93	4.71	6.09
75	0.55	Pluvial La Garde	7.65	13.93	3.34	6.09
13	0.66	Reganas	6.81	10.36	2.88	4.37
14	0.78	Reganas	12.02	15.48	5.13	6.60
15	0.39	Reganas	6.19	15.95	2.67	6.89
29	2.19	Reganas	15.93	7.27	4.74	2.16
30	0.90	Reganas	9.08	10.11	3.69	4.11
69	0.29	Reganas	5.52	18.77	1.78	6.04
77	2.20	Reganas	16.76	7.62	5.54	2.52
78	0.55	Reganas	5.04	9.21	1.89	3.46

79	0.26	Reganas	2.65	10.12	0.83	3.19
21	1.67	Regue	13.79	8.27	5.58	3.35
22	2.95	Regue	27.02	9.14	9.34	3.16
16	0.46	Sainte-Musse	5.66	12.17	2.71	5.83
19	0.53	Sainte-Musse	6.13	11.66	2.48	4.72
51	0.76	Sainte-Musse	10.17	13.35	4.41	5.78
52	0.57	Sainte-Musse	7.90	13.94	3.40	6.00
53	3.84	St-Joseph	38.39	10.00	16.10	4.19
54	0.39	St-Joseph	4.06	10.51	1.78	4.61
65	5.54	St-Joseph	44.90	8.11	17.08	3.09

Tableau 19 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les deux pluies de projet

			Pluie de projet de type 2, basée sur l'évènement de 1978		**Pluie de projet de type 3, basée sur la pluie de 2006**	
id	Surface	HYD_Cours	Débit [m3/s]	Débit spécifique [l/s/km²]	Débit [m3/s]	Débit spécifique [l/s/km²]
20	0.65	Artaude	4.91	7.49	8.70	13.30
23	0.30	Artaude	2.12	7.16	3.65	12.33
31	0.68	Artaude	4.40	6.49	10.75	15.86
48	0.34	Bade	2.31	6.76	5.36	15.66
49	0.21	Bade	1.36	6.62	3.61	17.52
18	0.29	Brunette	1.95	6.74	5.09	17.56
50	0.22	Brunette	1.54	6.90	4.33	19.39
11	0.52	Eygoutier_plaine	3.80	7.31	6.23	11.99
12	2.03	Eygoutier_plaine	15.05	7.43	19.29	9.52
24	0.74	Eygoutier_plaine	5.14	6.96	8.77	11.88
25	1.30	Eygoutier_plaine	9.59	7.40	11.09	8.56
26	0.97	Eygoutier_plaine	7.04	7.23	11.06	11.35
27	0.89	Eygoutier_plaine	6.35	7.12	9.08	10.19
28	1.38	Eygoutier_plaine	9.58	6.93	15.57	11.26
39	1.62	Eygoutier_plaine	11.20	6.89	18.25	11.23
40	0.85	Eygoutier_plaine	5.69	6.73	10.68	12.63
68	0.75	Eygoutier_plaine	5.58	7.39	8.01	10.61
70	2.24	Eygoutier_plaine	14.47	6.47	21.68	9.69
73	1.29	Eygoutier_plaine	9.16	7.12	13.10	10.19
44	0.43	Eygoutier_Toulon	2.93	6.81	6.91	16.04
45	0.16	Eygoutier_Toulon	1.10	6.65	2.83	17.16
46	0.45	Eygoutier_Toulon	3.00	6.69	7.54	16.82
47	0.25	Eygoutier_Toulon	1.64	6.67	4.27	17.34
55	0.64	Eygoutier_Toulon	4.17	6.47	11.10	17.23
56	0.60	Eygoutier_Toulon	3.86	6.39	9.56	15.81
57	0.26	Eygoutier_Toulon	1.76	6.65	4.36	16.46

59	1.04	Eygoutier_Toulon	7.92	7.61	10.46	10.06
60	0.62	Eygoutier_Toulon	4.10	6.56	8.11	12.99
61	0.46	Eygoutier_Toulon	3.02	6.51	7.74	16.69
62	0.18	Eygoutier_Toulon	1.16	6.53	2.88	16.16
63	0.39	Eygoutier_Toulon	2.54	6.55	6.57	16.96
64	0.36	Eygoutier_Toulon	2.36	6.53	5.86	16.25
76	1.25	Eygoutier_Toulon	8.19	6.54	18.02	14.39
41	0.99	EygoutierN	7.09	7.16	9.69	9.79
71	0.44	EygoutierN	3.17	7.15	5.62	12.70
2	0.31	Lambert	2.02	6.58	5.12	16.67
9	0.28	Lambert	2.10	7.42	3.67	12.94
10	1.22	Lambert	8.75	7.19	11.94	9.82
67	0.68	Lambert	5.54	8.13	5.22	7.66
72	0.80	Lambert	5.27	6.62	8.84	11.11
3	0.13	Lambert2	0.87	6.47	1.93	14.40
4	1.32	Lambert2	9.57	7.25	15.12	11.45
5	0.28	Lambert3	1.88	6.63	4.57	16.12
8	0.28	Lambert3	2.09	7.46	3.41	12.17
6	0.18	Lambert4	0.67	3.65	1.47	7.99
7	0.32	Lambert4	2.24	7.02	3.53	11.05
58	1.13	Petit bois	7.39	6.52	4.08	3.60
1	0.75	Planquette	5.36	7.14	7.07	9.42
36	0.28	Planquette	1.90	6.76	4.49	15.96
37	1.15	Planquette	7.75	6.76	18.29	15.96
38	0.59	Planquette	4.22	7.09	6.62	11.13
66	1.63	Planquette	11.60	7.14	15.32	9.42
32	1.12	Planquette2	7.35	6.57	15.89	14.19
33	1.62	Planquette2	10.59	6.52	24.91	15.33
34	0.63	Planquette2	4.34	6.84	8.59	13.54
35	0.36	Planquette2	2.37	6.58	6.00	16.70
17	0.23	Pluvial La Garde	1.45	6.34	3.58	15.59
42	0.51	Pluvial La Garde	3.37	6.66	7.00	13.83
43	0.26	Pluvial La Garde	1.80	6.90	3.65	14.02
74	0.77	Pluvial La Garde	4.90	6.33	11.99	15.49
75	0.55	Pluvial La Garde	3.48	6.33	8.50	15.49
13	0.66	Reganas	4.75	7.23	7.28	11.07
14	0.78	Reganas	5.14	6.63	13.26	17.08
15	0.39	Reganas	2.55	6.57	6.52	16.81
29	2.19	Reganas	16.96	7.73	16.30	7.43
30	0.90	Reganas	6.19	6.90	9.49	10.57
69	0.29	Reganas	2.30	7.81	5.10	17.31
77	2.20	Reganas	16.56	7.54	17.84	8.12
78	0.55	Reganas	3.41	6.23	5.30	9.70

79	0.26	Reganas	2.05	7.83	2.51	9.58
21	1.67	Regue	12.28	7.37	15.02	9.01
22	2.95	Regue	21.41	7.24	29.78	10.08
16	0.46	Sainte-Musse	3.09	6.65	6.56	14.11
19	0.53	Sainte-Musse	3.52	6.69	6.73	12.80
51	0.76	Sainte-Musse	4.80	6.29	11.31	14.83
52	0.57	Sainte-Musse	3.60	6.36	8.95	15.79
53	3.84	St-Joseph	25.21	6.56	44.13	11.49
54	0.39	St-Joseph	2.27	5.89	4.91	12.70
65	5.54	St-Joseph	40.92	7.39	46.85	8.46

Tableau 20 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de type 2, basée sur l'évènement de 1978

			Pluie de projet 24 H de type 2, basée sur l'évènement de 1978					
			Débit [m3/s]					
id	Surface	HYD_Cours	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	50 ans	**100 ans (REF)**
20	0.65	Artaude	2.14	2.80	3.30	4.08	4.49	4.91
23	0.30	Artaude	0.92	1.21	1.43	1.77	1.94	2.12
31	0.68	Artaude	1.91	2.51	2.96	3.66	4.03	4.40
48	0.34	Bade	1.01	1.32	1.55	1.92	2.12	2.31
49	0.21	Bade	0.59	0.78	0.92	1.13	1.25	1.36
18	0.29	Brunette	0.85	1.11	1.31	1.63	1.79	1.95
50	0.22	Brunette	0.67	0.88	1.04	1.28	1.41	1.54
11	0.52	Eygoutier_plaine	1.65	2.17	2.55	3.16	3.48	3.80
12	2.03	Eygoutier_plaine	6.55	8.58	10.11	12.52	13.77	15.05
24	0.74	Eygoutier_plaine	2.23	2.93	3.45	4.27	4.70	5.14
25	1.30	Eygoutier_plaine	4.17	5.47	6.44	7.98	8.77	9.59
26	0.97	Eygoutier_plaine	3.06	4.01	4.73	5.86	6.44	7.04
27	0.89	Eygoutier_plaine	2.76	3.62	4.26	5.28	5.81	6.35
28	1.38	Eygoutier_plaine	4.17	5.46	6.43	7.97	8.76	9.58
39	1.62	Eygoutier_plaine	4.87	6.38	7.52	9.32	10.24	11.20
40	0.85	Eygoutier_plaine	2.47	3.24	3.82	4.73	5.20	5.69
68	0.75	Eygoutier_plaine	2.43	3.18	3.75	4.65	5.11	5.58
70	2.24	Eygoutier_plaine	6.29	8.25	9.71	12.04	13.23	14.47
73	1.29	Eygoutier_plaine	3.98	5.22	6.15	7.62	8.38	9.16
44	0.43	Eygoutier_Toulon	1.28	1.67	1.97	2.44	2.68	2.93
45	0.16	Eygoutier_Toulon	0.48	0.62	0.74	0.91	1.00	1.10
46	0.45	Eygoutier_Toulon	1.31	1.71	2.01	2.50	2.74	3.00
47	0.25	Eygoutier_Toulon	0.71	0.94	1.10	1.37	1.50	1.64
55	0.64	Eygoutier_Toulon	1.81	2.38	2.80	3.47	3.81	4.17
56	0.60	Eygoutier_Toulon	1.68	2.20	2.59	3.21	3.53	3.86

57	0.26	Eygoutier_Toulon	0.77	1.00	1.18	1.46	1.61	1.76
59	1.04	Eygoutier_Toulon	3.44	4.51	5.32	6.59	7.24	7.92
60	0.62	Eygoutier_Toulon	1.78	2.34	2.75	3.41	3.75	4.10
61	0.46	Eygoutier_Toulon	1.31	1.72	2.03	2.51	2.76	3.02
62	0.18	Eygoutier_Toulon	0.51	0.66	0.78	0.97	1.06	1.16
63	0.39	Eygoutier_Toulon	1.10	1.45	1.70	2.11	2.32	2.54
64	0.36	Eygoutier_Toulon	1.02	1.34	1.58	1.96	2.15	2.36
76	1.25	Eygoutier_Toulon	3.56	4.67	5.50	6.82	7.49	8.19
41	0.99	EygoutierN	3.08	4.04	4.76	5.90	6.48	7.09
71	0.44	EygoutierN	1.38	1.81	2.13	2.63	2.90	3.17
2	0.31	Lambert	0.88	1.15	1.36	1.68	1.85	2.02
9	0.28	Lambert	0.92	1.20	1.41	1.75	1.92	2.10
10	1.22	Lambert	3.81	4.99	5.88	7.28	8.00	8.75
67	0.68	Lambert	2.41	3.16	3.72	4.61	5.06	5.54
72	0.80	Lambert	2.29	3.00	3.54	4.38	4.82	5.27
3	0.13	Lambert2	0.38	0.49	0.58	0.72	0.79	0.87
4	1.32	Lambert2	4.17	5.46	6.43	7.97	8.76	9.57
5	0.28	Lambert3	0.82	1.07	1.26	1.56	1.72	1.88
8	0.28	Lambert3	0.91	1.19	1.40	1.74	1.91	2.09
6	0.18	Lambert4	0.29	0.38	0.45	0.56	0.61	0.67
7	0.32	Lambert4	0.97	1.28	1.50	1.86	2.05	2.24
58	1.13	Petit bois	3.22	4.51	4.97	6.15	6.76	7.39
1	0.75	Planquette	2.33	3.06	3.60	4.46	4.90	5.36
36	0.28	Planquette	0.83	1.09	1.28	1.58	1.74	1.90
37	1.15	Planquette	3.37	4.42	5.21	6.45	7.09	7.75
38	0.59	Planquette	1.83	2.40	2.83	3.51	3.86	4.22
66	1.63	Planquette	5.05	6.62	7.79	9.66	10.61	11.60
32	1.12	Planquette2	3.20	4.19	4.94	6.12	6.72	7.35
33	1.62	Planquette2	4.61	6.04	7.11	8.81	9.68	10.59
34	0.63	Planquette2	1.89	2.48	2.92	3.61	3.97	4.34
35	0.36	Planquette2	1.03	1.35	1.59	1.97	2.16	2.37
17	0.23	Pluvial La Garde	0.63	0.83	0.98	1.21	1.33	1.45
42	0.51	Pluvial La Garde	1.47	1.92	2.26	2.81	3.09	3.37
43	0.26	Pluvial La Garde	0.78	1.02	1.21	1.49	1.64	1.80
74	0.77	Pluvial La Garde	2.13	2.80	3.29	4.08	4.48	4.90
75	0.55	Pluvial La Garde	1.51	1.98	2.33	2.89	3.18	3.48
13	0.66	Reganas	2.07	2.71	3.19	3.95	4.34	4.75
14	0.78	Reganas	2.24	2.93	3.46	4.28	4.71	5.14
15	0.39	Reganas	1.11	1.46	1.71	2.12	2.33	2.55
29	2.19	Reganas	7.38	9.67	11.39	14.12	15.52	16.96
30	0.90	Reganas	2.69	3.53	4.16	5.15	5.66	6.19
69	0.29	Reganas	1.00	1.31	1.55	1.91	2.10	2.30
77	2.20	Reganas	7.21	9.44	11.12	13.78	15.15	16.56

78	0.55	Reganas	1.48	1.94	2.29	2.84	3.12	3.41
79	0.26	Reganas	0.89	1.17	1.38	1.71	1.87	2.05
21	1.67	Regue	5.34	7.00	8.25	10.22	11.23	12.28
22	2.95	Regue	9.31	12.21	14.38	17.81	19.58	21.41
16	0.46	Sainte-Musse	1.34	1.76	2.08	2.57	2.83	3.09
19	0.53	Sainte-Musse	1.53	2.01	2.37	2.93	3.22	3.52
51	0.76	Sainte-Musse	2.09	2.74	3.22	3.99	4.39	4.80
52	0.57	Sainte-Musse	1.57	2.05	2.42	3.00	3.29	3.60
53	3.84	St-Joseph	10.97	14.37	16.93	20.98	23.05	25.21
54	0.39	St-Joseph	0.99	1.30	1.53	1.89	2.08	2.27
65	5.54	St-Joseph	17.80	23.34	27.49	34.06	37.43	40.92

Tableau 21 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de type 3, basée sur l'évènement de 2006

			Pluie de projet 2h, de type 3, basée sur la pluie de 2006						
			Débit [m3/s]						
id	Surface	HYD_Cours	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans	**> 100 ans (REF)**
20	0.65	Artaude	2.41	3.26	3.88	4.96	5.48	6.19	**8.70**
23	0.30	Artaude	1.01	1.37	1.64	2.09	2.31	2.60	**3.65**
31	0.68	Artaude	2.99	4.04	4.82	6.16	6.80	7.68	**10.75**
48	0.34	Bade	1.49	2.01	2.40	3.07	3.38	3.82	**5.36**
49	0.21	Bade	1.01	1.36	1.62	2.07	2.29	2.58	**3.61**
18	0.29	Brunette	1.44	1.94	2.31	2.96	3.26	3.68	**5.09**
50	0.22	Brunette	1.22	1.65	1.97	2.51	2.77	3.13	**4.33**
11	0.52	Eygoutier_plaine	1.73	2.34	2.79	3.57	3.94	4.45	**6.23**
12	2.03	Eygoutier_plaine	5.33	7.19	8.58	10.96	12.11	13.69	**19.29**
24	0.74	Eygoutier_plaine	2.45	3.32	3.96	5.06	5.58	6.30	**8.77**
25	1.30	Eygoutier_plaine	3.08	4.15	4.95	6.32	6.99	7.90	**11.09**
26	0.97	Eygoutier_plaine	3.07	4.14	4.93	6.30	6.97	7.87	**11.06**
27	0.89	Eygoutier_plaine	2.52	3.41	4.06	5.19	5.74	6.48	**9.08**
28	1.38	Eygoutier_plaine	4.33	5.84	6.97	8.91	9.84	11.11	**15.57**
39	1.62	Eygoutier_plaine	5.05	6.81	8.12	10.38	11.47	12.97	**18.25**
40	0.85	Eygoutier_plaine	2.95	3.99	4.76	6.08	6.71	7.59	**10.68**
68	0.75	Eygoutier_plaine	2.22	3.00	3.58	4.58	5.05	5.71	**8.01**
70	2.24	Eygoutier_plaine	5.99	8.08	9.64	12.32	13.61	15.39	**21.68**
73	1.29	Eygoutier_plaine	3.64	4.92	5.86	7.49	8.28	9.35	**13.10**
44	0.43	Eygoutier_Toulon	1.92	2.60	3.10	3.96	4.37	4.94	**6.91**
45	0.16	Eygoutier_Toulon	0.79	1.07	1.27	1.63	1.80	2.03	**2.83**
46	0.45	Eygoutier_Toulon	2.10	2.84	3.39	4.34	4.78	5.40	**7.54**
47	0.25	Eygoutier_Toulon	1.19	1.61	1.92	2.45	2.71	3.06	**4.27**
55	0.64	Eygoutier_Toulon	3.11	4.20	5.01	6.41	7.07	7.98	**11.10**
56	0.60	Eygoutier_Toulon	2.66	3.60	4.29	5.48	6.05	6.83	**9.56**

57	0.26	Eygoutier_Toulon	1.21	1.64	1.95	2.49	2.75	3.11	**4.36**
59	1.04	Eygoutier_Toulon	2.92	3.95	4.70	6.01	6.63	7.49	**10.46**
60	0.62	Eygoutier_Toulon	2.25	3.03	3.62	4.63	5.11	5.78	**8.11**
61	0.46	Eygoutier_Toulon	2.14	2.90	3.45	4.41	4.88	5.51	**7.74**
62	0.18	Eygoutier_Toulon	0.80	1.08	1.29	1.65	1.82	2.05	**2.88**
63	0.39	Eygoutier_Toulon	1.83	2.48	2.95	3.77	4.17	4.70	**6.57**
64	0.36	Eygoutier_Toulon	1.62	2.19	2.62	3.34	3.69	4.17	**5.86**
76	1.25	Eygoutier_Toulon	5.02	6.78	8.09	10.34	11.42	12.89	**18.02**
41	0.99	EygoutierN	2.68	3.61	4.31	5.51	6.09	6.88	**9.69**
71	0.44	EygoutierN	1.56	2.10	2.51	3.20	3.54	4.00	**5.62**
2	0.31	Lambert	1.42	1.92	2.29	2.93	3.24	3.65	**5.12**
9	0.28	Lambert	1.02	1.38	1.64	2.10	2.32	2.62	**3.67**
10	1.22	Lambert	3.32	4.48	5.34	6.82	7.54	8.52	**11.94**
67	0.68	Lambert	1.46	1.97	2.34	3.00	3.31	3.74	**5.22**
72	0.80	Lambert	2.46	3.32	3.96	5.05	5.58	6.31	**8.84**
3	0.13	Lambert2	0.54	0.72	0.86	1.10	1.22	1.38	**1.93**
4	1.32	Lambert2	4.21	5.69	6.79	8.67	9.58	10.81	**15.12**
5	0.28	Lambert3	1.27	1.71	2.04	2.61	2.88	3.25	**4.57**
8	0.28	Lambert3	0.95	1.28	1.52	1.94	2.15	2.43	**3.41**
6	0.18	Lambert4	0.41	0.56	0.66	0.85	0.93	1.06	**1.47**
7	0.32	Lambert4	0.97	1.32	1.57	2.01	2.22	2.51	**3.53**
58	1.13	Petit bois	5.05	6.83	8.15	10.41	11.49	12.98	**18.12**
1	0.75	Planquette	1.97	2.66	3.17	4.05	4.48	5.06	**7.07**
36	0.28	Planquette	1.25	1.68	2.01	2.57	2.83	3.20	**4.49**
37	1.15	Planquette	5.07	6.86	8.18	10.45	11.54	13.03	**18.29**
38	0.59	Planquette	1.83	2.47	2.95	3.77	2.95	4.71	**6.62**
66	1.63	Planquette	4.27	5.76	6.87	8.78	9.70	10.96	**15.32**
32	1.12	Planquette2	4.40	5.95	7.10	9.07	10.01	11.31	**15.89**
33	1.62	Planquette2	6.89	9.30	11.10	14.18	15.66	17.70	**24.91**
34	0.63	Planquette2	2.39	3.23	3.85	4.92	5.43	6.14	**8.59**
35	0.36	Planquette2	1.67	2.25	2.69	3.43	3.79	4.28	**6.00**
17	0.23	Pluvial La Garde	0.99	1.34	1.60	2.05	2.26	2.55	**3.58**
42	0.51	Pluvial La Garde	1.95	2.63	3.14	4.01	4.43	5.00	**7.00**
43	0.26	Pluvial La Garde	1.01	1.37	1.63	2.08	2.30	2.60	**3.65**
74	0.77	Pluvial La Garde	3.34	4.51	5.38	6.88	7.59	8.58	**11.99**
75	0.55	Pluvial La Garde	2.37	3.20	3.82	4.88	5.38	6.08	**8.50**
13	0.66	Reganas	2.02	2.73	3.26	4.16	4.59	5.19	**7.28**
14	0.78	Reganas	3.68	4.96	5.92	7.57	8.36	9.44	**13.26**
15	0.39	Reganas	1.81	2.44	2.91	3.72	4.11	4.64	**6.52**
29	2.19	Reganas	4.51	6.08	7.25	9.26	10.23	11.57	**16.30**
30	0.90	Reganas	2.63	3.55	4.24	5.41	5.97	6.75	**9.49**
69	0.29	Reganas	1.43	1.93	2.30	2.94	3.25	3.67	**5.10**
77	2.20	Reganas	4.94	6.67	7.95	10.16	11.23	12.69	**17.84**

78	0.55	Reganas	1.47	1.98	2.36	3.02	3.34	3.77	**5.30**
79	0.26	Reganas	0.70	0.94	1.12	1.43	1.58	1.78	**2.51**
21	1.67	Regue	4.17	5.63	6.72	8.58	9.48	10.71	**15.02**
22	2.95	Regue	8.23	11.09	13.23	16.91	18.69	21.13	**29.78**
16	0.46	Sainte-Musse	1.82	2.45	2.93	3.74	4.13	4.67	**6.56**
19	0.53	Sainte-Musse	1.87	2.52	3.01	3.85	4.25	4.80	**6.73**
51	0.76	Sainte-Musse	3.13	4.24	5.05	6.45	7.13	8.05	**11.31**
52	0.57	Sainte-Musse	2.49	3.36	4.01	5.13	5.66	6.40	**8.95**
53	3.84	St-Joseph	12.21	16.48	16.48	21.05	27.75	31.37	**44.13**
54	0.39	St-Joseph	1.35	1.83	1.83	2.33	3.08	3.48	**4.91**
65	5.54	St-Joseph	13.02	17.59	20.97	26.79	29.59	33.43	**46.85**

Tableau 22 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI (Débit en m3/s) et la modélisation hydraulique de la PHASE 4 (Surface inondée en km²) pour les deux événements de références

id	HYD_Cours	Surface	Débit Q2006 [m3/s]	Surface inondée Q2006 [km²]	Débit Q1978 (24h) [m3/s]	Surface inondée Q1978 [km²]	Delta Débit de pointe [m3/s]	Delta Surface [km²]
1	Planquette	0,75	7,07	0,02	5,36	0,00	1,72	0,02
2	Lambert	0,31	5,12	0,08	2,02	0,08	3,10	-0,01
3	Lambert2	0,13	1,93	0,00	0,87	0,02	1,06	-0,02
4	Lambert2	1,32	15,12	0,60	9,57	0,61	5,55	-0,01
5	Lambert3	0,28	4,57	0,01	1,88	0,01	2,69	0,00
6	Lambert4	0,18	1,47	0,00	0,67	0,00	0,80	0,00
7	Lambert4	0,32	3,53	0,09	2,24	0,07	1,29	0,01
8	Lambert3	0,28	3,41	0,12	2,09	0,11	1,32	0,02
9	Lambert	0,28	3,67	0,17	2,10	0,17	1,56	0,00
10	Lambert	1,22	11,94	0,53	8,75	0,53	3,19	0,00
11	Eygoutier_plaine	0,52	6,23	0,18	3,80	0,18	2,43	0,00
12	Eygoutier_plaine	2,03	19,29	0,50	15,05	0,59	4,24	-0,09
13	Reganas	0,66	7,28	0,11	4,75	0,11	2,53	0,00
14	Reganas	0,78	13,26	0,12	5,14	0,15	8,11	-0,03
15	Reganas	0,39	6,52	0,05	2,55	0,10	3,97	-0,04
16	Sainte-Musse	0,46	6,56	0,00	3,09	0,00	3,47	0,00
17	Pluvial La Garde	0,23	3,58	0,00	1,45	0,00	2,12	0,00
18	Brunette	0,29	5,09	0,00	1,95	0,00	3,14	0,00
19	Sainte-Musse	0,53	6,73	0,02	3,52	0,00	3,21	0,02
20	Artaude	0,65	8,70	0,52	4,91	0,53	3,80	-0,01

21	Regue	1,67	15,02	0,00	12,28	0,00	2,74	0,00
22	Regue	2,95	29,78	0,63	21,41	0,61	8,38	0,02
23	Artaude	0,30	3,65	0,00	2,12	0,00	1,53	0,00
24	Eygoutier_plaine	0,74	8,77	0,00	5,14	0,07	3,63	-0,07
25	Eygoutier_plaine	1,30	11,09	0,08	9,59	0,11	1,50	-0,03
26	Eygoutier_plaine	0,97	11,06	0,17	7,04	0,17	4,02	0,00
27	Eygoutier_plaine	0,89	9,08	0,00	6,35	0,00	2,73	0,00
28	Eygoutier_plaine	1,38	15,57	0,17	9,58	0,38	5,99	-0,21
29	Reganas	2,19	16,30	0,00	16,96	0,00	-0,66	0,00
30	Reganas	0,90	9,49	0,05	6,19	0,04	3,29	0,00
31	Artaude	0,68	10,75	0,07	4,40	0,06	6,35	0,01
32	Planquette2	1,12	15,89	0,21	7,35	0,05	8,54	0,16
33	Planquette2	1,62	24,91	0,34	10,59	0,09	14,33	0,25
34	Planquette2	0,63	8,59	0,12	4,34	0,08	4,25	0,04
35	Planquette2	0,36	6,00	0,18	2,37	0,20	3,63	-0,02
36	Planquette	0,28	4,49	0,18	1,90	0,12	2,59	0,07
37	Planquette	1,15	18,29	0,48	7,75	0,38	10,54	0,10
38	Planquette	0,59	6,62	0,49	4,22	0,52	2,40	-0,03
39	Eygoutier_plaine	1,62	18,25	0,48	11,20	0,67	7,06	-0,19
40	Eygoutier_plaine	0,85	10,68	0,31	5,69	0,42	4,99	-0,11
41	EygoutierN	0,99	9,69	0,93	7,09	0,94	2,60	0,00
42	Pluvial La Garde	0,51	7,00	0,03	3,37	0,13	3,63	-0,10
43	Pluvial La Garde	0,26	3,65	0,11	1,80	0,19	1,85	-0,08
44	Eygoutier_Toulon	0,43	6,91	0,08	2,93	0,15	3,97	-0,06
45	Eygoutier_Toulon	0,16	2,83	0,00	1,10	0,00	1,73	0,00
46	Eygoutier_Toulon	0,45	7,54	0,01	3,00	0,02	4,54	-0,01
47	Eygoutier_Toulon	0,25	4,27	0,00	1,64	0,00	2,63	0,00
48	Bade	0,34	5,36	0,00	2,31	0,00	3,05	0,00
49	Bade	0,21	3,61	0,01	1,36	0,00	2,24	0,01
50	Brunette	0,22	4,33	0,04	1,54	0,02	2,79	0,01
51	Sainte-Musse	0,76	11,31	0,06	4,80	0,04	6,51	0,02
52	Sainte-Musse	0,57	8,95	0,06	3,60	0,06	5,35	0,00
53	St-Joseph	3,84	44,13	0,20	25,21	0,01	18,92	0,19
54	St-Joseph	0,39	4,91	0,03	2,27	0,02	2,63	0,00
55	Eygoutier_Toulon	0,64	11,10	0,08	4,17	0,15	6,93	-0,07
56	Eygoutier_Toulon	0,60	9,56	0,13	3,86	0,15	5,70	-0,02

57	Q10	0,26	4,36	0,00	1,76	0,00	2,60	0,00
58	Petit bois	1,13	18,12	0,00	7,39	0,00	10,73	0,00
59	Eygoutier_Toulon	1,04	10,46	0,03	7,92	0,03	2,55	0,00
60	Eygoutier_Toulon	0,62	8,11	0,04	4,10	0,04	4,02	0,00
61	Eygoutier_Toulon	0,46	7,74	0,07	3,02	0,08	4,72	0,00
62	Eygoutier_Toulon	0,18	2,88	0,01	1,16	0,01	1,72	0,00
63	Eygoutier_Toulon	0,39	6,57	0,04	2,54	0,04	4,03	0,00
64	Eygoutier_Toulon	0,36	5,86	0,11	2,36	0,10	3,50	0,00
65	St-Joseph	5,54	46,85	0,00	40,92	0,00	5,93	0,00
66	Planquette	1,63	15,32	0,02	11,60	0,00	3,72	0,02
67	Lambert	0,68	5,22	0,00	5,54	0,00	-0,32	0,00
68	Eygoutier_plaine	0,75	8,01	0,55	5,58	0,57	2,43	-0,01
69	Reganas	0,29	5,10	0,24	2,30	0,25	2,80	-0,01
70	Eygoutier_plaine	2,24	21,68	0,50	14,47	0,53	7,22	-0,03
71	EygoutierN	0,44	5,62	0,39	3,17	0,40	2,45	-0,01
72	Lambert	0,80	8,84	0,41	5,27	0,41	3,57	0,00
73	Eygoutier_plaine	1,29	13,10	0,12	9,16	0,13	3,94	-0,01
74	Pluvial La Garde	0,77	11,99	0,01	4,90	0,02	7,09	-0,01
75	Pluvial La Garde	0,55	8,50	0,07	3,48	0,22	5,03	-0,15
76	Eygoutier_Toulon	1,25	18,02	0,15	8,19	0,15	9,83	0,00
77	Reganas	2,20	17,84	0,13	16,56	0,14	1,28	-0,01
78	Reganas	0,55	5,30	0,12	3,41	0,12	1,90	0,00
79	Reganas	0,26	2,51	0,01	2,05	0,01	0,46	0,00



Siège social – Centre technique principal

815, route de Champ Farçon

74 370 ARGONAY

Tél : 04.50.27.17.26

Fax : 04.50.27.25.64

contact@hydretudes.com

Agence Alpes du Nord

Alpespaces

50, Voie Albert Einstein

73 118 FRANCIN

Tél : 04.79.96.14.57

Fax : 04.70.33.01.63

contact-savoie@hydretudes.com

Agence Alpes du Sud

Bât 2 – Résidence du Forest d'entrais

25, rue du Forest d'entrais

05 000 GAP

Tél : 04.92.21.97.26

Fax : 04.92.21.87.83

contact-gap@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

41 bis avenue des Allobroges

26 100 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04.75.45.30.57.

Fax : 04.75.45.30.57

contact-romans@hydretudes.com

Agence Grand Sud-Pyrénées

Immeuble Sud América

20, bd. de Thibaud

31 100 TOULOUSE

Tél : 05.62.14.07.43

Fax : 05.62.14.08.95

contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Océan Indien

45 rue luc lorion

97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02.62.96.82.45

Fax : 02.62.32.69.05

contact-reunion@hydretudes.com

Maitre d'ouvrage :
Syndicat de Gestion de l'Eygoutier
Mairie de la Garde -BP 121
83957 LA GARDE Cedex

Étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents, approche hydraulique et morphologique en lien avec le milieu

Phase 3 : Volet Hydrologie (de la pluie au débit)

HYDRETUDES



REFERENTIELS POUR LE BASSIN VERSANT DE L'EYGOUTIER

N° d'Affaire : 17-16
Version 3.2
Avril 2020

INGÉROP
INGEROP Conseil & Ingenierie – Agence d'Aix en Provence
Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laennec - Hall B - BP 20058
13545 AIX-EN-PROVENCE Cedex 4
Tel 04 42 50 63 00 - Fax 04 42 50 63 01
Courriel : ingerop.aix@ingerop.com – www.ingerop.com

GÉORIVES

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage : Syndicat de Gestion de l'Eygoutier

Affaire : Étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents, approche hydraulique et morphologique en lien avec le milieu

N° 17-016

Phase 3 : Volet Hydrologie (de la pluie au débit)

Emetteur : HYDRETUDES Alpes du Nord

Alpespace – Bât Alpamayo 429 Avenue Léonard de Vinci

73 800 STE HELENE DU LAC

Tél. : 04 79 96 14 57

Email : contact-savoie@hydretudes.com

www.hydretudes.com

Document : REFERENTIELS

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	17/01/2020	22/01/2020	Cécile Picouet	Benoit Chapon
2	06/03/2020		Cécile Picouet	Didier Clément
3	22/04/2020	30/04/2020	Cécile Picouet	Didier Clément
4				
5				

SOMMAIRE

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT 2
SOMMAIRE 3
FIGURES 4
TABLEAUX 4
1 AVANT PROPOS 5
1.1 Rappel du contexte de l'étude 5
1.2 Rappel du cadre physique 5
2 ETIAGE ET MODULE 8
3 REFERENTIEL PLUVIOMETRIQUE 9
3.1 Statistiques des pluies a utiliser 9
3.1.1 Rappel des données utilisées 9
3.1.2 Courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier 10
3.2 Scenarios de pluies de référence a utiliser 12
3.2.1 Forme des pluies 12
3.2.2 Quantiles à utiliser 14
3.2.3 Spatialisation de la pluie 15
4 DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE 15
4.1 Principe de la modélisation hydrologique 15
4.1.1 Le modèle MESRI 15
4.1.2 Pluies modélisées 16
4.2 Débits et hydrogrammes résultants pour les pluies de référence 17

FIGURES

Figure 1. Carte du réseau hydrographique, découpage en 79 sous-bassins versants 6

Figure 3 : Localisation de la station pluviométrique de Toulon La Mitre (83137001) du réseau Météo-France et des autres données utilisées pour les pluies de projet. 9

Figure 4. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issue des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG). 11

Figure 5 : Forme des pluies de référence Type 2 et Type 3 12

Figure 6 : Scenarios de pluies de référence type 2(1978) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 6 min. 13

Figure 7 : Scenarios de pluies de référence type 3 (2006) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare plus que centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 1 et 6 min 14

Figure 8. Caractéristiques statistiques des deux pluies de projets de référence 15

Figure 9 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de type 2 (1978) – Pluie longue 24h de temps de retour 100 ans. 17

Figure 10 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de type 3 (2006) – Gabarit pluie DDTM 17

TABLEAUX

Tableau 1. Débits caractéristiques module et étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul 8

Tableau 2. Ajustement de Montana pour les quantiles de précipitations représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issu des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG). 11

Tableau 3. Quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (en bleu les quantiles à utiliser pour établir les scenarios de référence pour les deux crues rares « 1978 » et « 2006 ») 14

Tableau 4 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de type 2, basée sur l'évènement de 1978 18

Tableau 5 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de type 3, basée sur l'évènement de 2006 20

1 AVANT PROPOS

1.1 RAPPEL DU CONTEXTE DE L'ETUDE

Le syndicat de Gestion de l'Eygoutier a élaboré, en partenariat avec la communauté d'Agglomération Toulon Provence Méditerranée, un Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI). La mission menée depuis 2017 par le groupement INGEROP/GEORIVES/HYDRETUDES s'inscrit dans ce cadre et vise à définir le fonctionnement hydraulique et hydrogéomorphologique de l'ensemble du bassin versant. Elle se décompose en 7 phases.

- Phase 1 : RECOLTE ET ANALYSE DES DONNEES DE BASE
- Phase 2 : HYDROGEOMORPHOLOGIE
- Phase 3 : HYDROLOGIE ET REFERENTIEL
- Phase 4 : MODELISATION HYDRAULIQUE ET DEFINITION DE L'ALEA
- Phase 5 : ENJEUX
- Phase 6 : ELABORATION DES PPRI
- Phase 7 : POINT D'INTERET A SUIVRE

La mission d'HYDRETUDES s'inscrivait dans la phase 3 de l'étude du fonctionnement de l'Eygoutier et de ses affluents « HYDROLOGIE ET REFERENTIEL ». Cette dernière comprenait deux étapes ayant fait l'objet de deux rapports :

- **Etape 1 : Fonctionnement du bassin versant**. Cette étape a fait l'objet d'un rapport « PHASE 3.1 » (avec annexes). Elle a abouti à l'identification des crues les plus remarquables sur le bassin versant, des courbes Intensités Durée Fréquence représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier et enfin à la définition de pluies de projet rares et plus courantes.
- **Etape 2 : Débits caractéristiques (étiage, module, crues)**. Cette étape, objet du rapport « PHASE 3.2 », avait pour objectif de proposer des estimations de débit de référence pour 1) les étiages et le module pour les 19 sous bassins versants d'intérêt identifiés pour la PHASE 2 et 2) les crues sur l'ensemble des 79 sous-bassins identifiés lors de la PHASE 1 et nécessaires pour la PHASE 4.

Le présent rapport est une synthèse des données de référence à utiliser pour les études hydrauliques futures sur le bassin versant de l'Eygoutier et de ses affluents.

1.2 RAPPEL DU CADRE PHYSIQUE

Les PHASE 1 et 3.1 de l'étude ont permis d'établir des invariants à prendre en compte pour cette phase de modélisation hydrologique pluie-débit (géologie, topographie, hydrographie, limites des sous bassins versant homogènes, occupation du sol, caractéristiques des pluies, fonctionnement du bassin versant…).

Les caractéristiques géomorphologiques et anthropiques du bassin versant de l'Eygoutier (S=68.12 km²) amènent à considérer deux grandes parties dont le fonctionnement hydrologique est différencié (cf. Figure 1) :

- **Une partie amont du bassin versant dit "bassin versant de la plaine de la Garde" en amont du pont de la Clue (S=44.06 km²)**, dont tous les affluents très urbanisée et très pentue se rejoignent dans une immense plaine naturelle.

  L'Eygoutier reçoit 3 affluents importants en rive droite :

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de Lambert	Linéaire de l'ordre de 5 km	Provenant du mont Coudon au Nord
Ruisseau de Réganas	Environ 8 km	L'Est du mont Coudon,
Ruisseau de la Planquette (ou ruisseau de Pierrascas)	Linéaire de 6.5 km	L'ouest du massif du Pierrascas

  Et en rive gauche, sur la commune du Pradet, l'Eygoutier reçoit des eaux de deux affluents mineurs :

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de la Règue	Linéaire de 3 km	Source au pied du massif de la Colle Noire (commune du Pradet).
Ruisseau de l'Artaude	Linéaire de 2.3 km	

- **Une partie aval dit "bassin versant de Toulon ou toulonnais" en aval du pont de la Clue (S=24.06 km²).** Cette partie aval est très fortement urbanisée également et quasiment « déconnectée » de l'amont (cette « déconnection » est à considérer au regard du temps de réponse de la partie aval du bassin versant par rapport à la partie amont).

  Sur ce secteur l'Eygoutier reçoit encore 2 affluents (RD) provenant des contreforts du Faron et du Coudon et 1 affluent mineur.

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de Sainte Musse	Linéaire d'un peu moins de 2 km	
Ruisseau de Saint Joseph et son affluent, le ruisseau de Sainte-Cécile	Linéaire de 4 km environ Linéaire de 1.5 km environ	Versant sud du massif du Coudon et du versant Est du Faron. Contexte résidentiel (extrémité amont) et urbain
La Bade		Affluent mineur

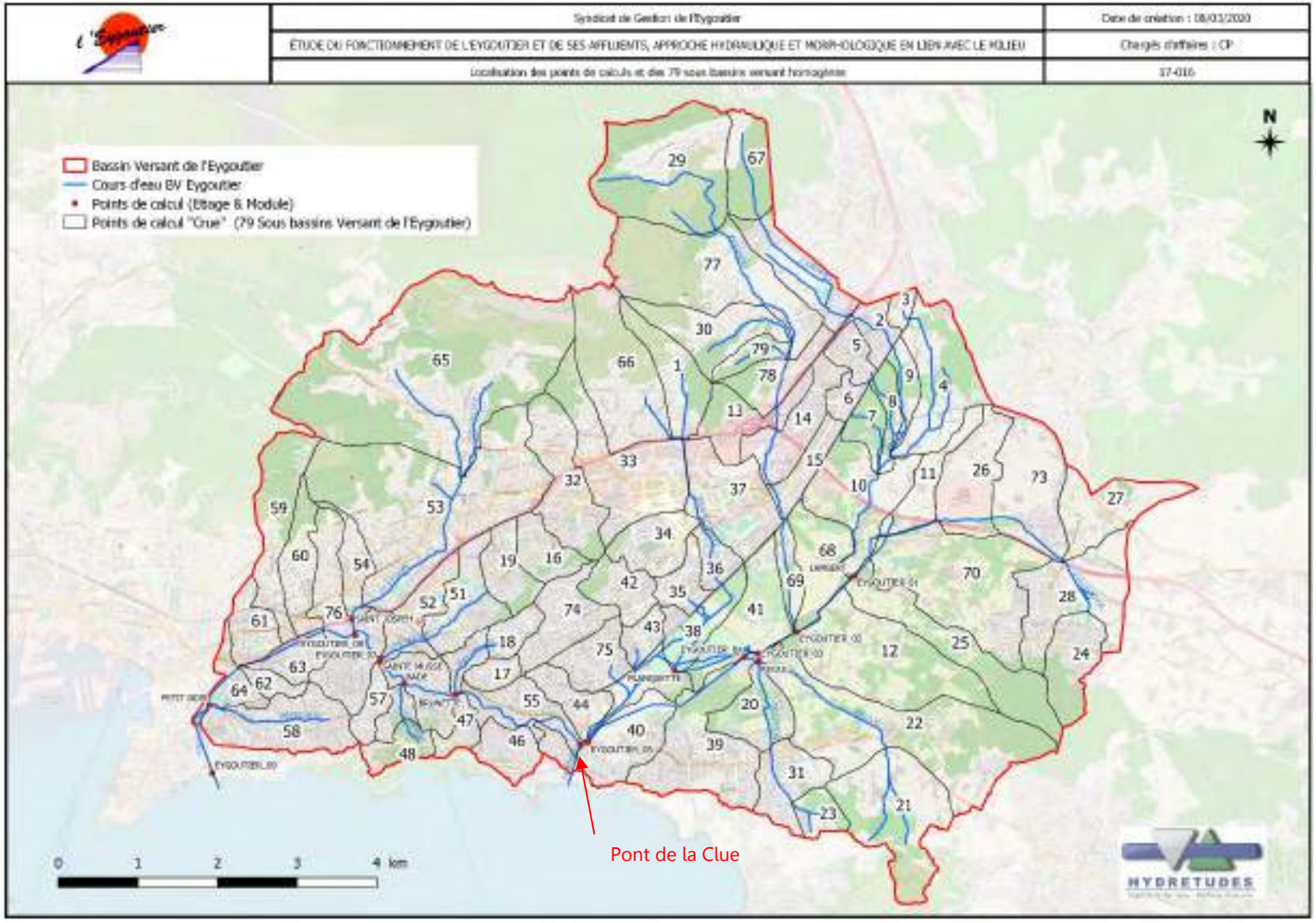
  En rive gauche, il reçoit encore 2 affluents.

Nom	Linéaire	Commentaire
Ruisseau de la Bade	Linéaire de 900 m environ	Affluent mineur
Le Petit Bois	Linéaire de 1.6 km environ	

Un **découpage en 79 sous-bassins versants**, présenté dans la Figure 1 suivante, a été réalisé lors de la PHASE 1. Il est établi en fonction des besoins de l'étude hydrologique et hydraulique, des thalwegs repérés lors des visites de terrain et des études antérieures de référence. Les surfaces des sous-bassins versants s'étendent entre 0.13 km² pour le plus petit et 5.54 km² pour le plus grand.

Page suivante :

Figure 1. Carte du réseau hydrographique, découpage en 79 sous-bassins versants (issu de la PHASE 1) et points d'intérêt identifiés dans la PHASE 2 pour le calcul des modules et étiages


Syndicat de Gestion de l'Eygoutier
Date de création : 08/03/2020
ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DE L'EYGOUTIER ET DE SES AFFLUENTS, APPROCHE HYDRAULIQUE ET MORPHOLOGIQUE EN LIEN AVEC LE MILIEU
Chargés d'affaires : CP
Localisation des points de calculs et des 79 sous-bassins versant homogènes
17-016
Bassin Versant de l'Eygoutier
Cours d'eau BV Eygoutier
Points de calcul (Etage & Module)
Points de calcul "Crue" (79 Sous bassins Versant de l'Eygoutier)
N
Pont de la Clue
0 1 2 3 4 km
HYDRETUDES

2 ETIAGE ET MODULE

Le choix des données de référence pour estimer les débits d'étiage et les modules s'est porté sur les données estimées sur les différents tronçons issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » (convention Onema-Cemagref/Irstea, 2010) réalisée dans le cadre de la convention Onema-Cemagref/Irstea, et disponible depuis 2011 (https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/debit-detiage-et-module/).

Le Tableau 1 suivant présente les estimations retenues pour le module et le QMNA5 pour les 19 sous bassins versants d'intérêt identifiés pour la PHASE 2

Tableau 1. Débits caractéristiques module et étiage (en m3/s) issus de la « cartographie consensuelle du module et du QMNA5 » pour les points de calcul

Nom	Rivière	SURFACE SBV INGEROP km²	MODULE BAS	MODULE MOY	MODULE HAUT	QMNA5
EYGOUTIER_01	ruisseau l'eygoutier	9,32	0,040	**0,053**	0,070	**0,00029**
EYGOUTIER_02	ruisseau l'eygoutier	17,91	0,073	**0,097**	0,128	**0,00085**
EYGOUTIER_03	ruisseau l'eygoutier	27,27	0,109	**0,145**	0,191	**0,00170**
EYGOUTIER_04	ruisseau l'eygoutier	36,14	0,143	**0,190**	0,251	**0,00271**
EYGOUTIER_05	ruisseau l'eygoutier	44,61	0,176	**0,234**	0,308	**0,00385**
EYGOUTIER_06	ruisseau l'eygoutier	45,04	0,177	**0,236**	0,311	**0,00391**
EYGOUTIER_07	ruisseau l'eygoutier	49,48	0,194	**0,258**	0,341	**0,00458**
EYGOUTIER_08	ruisseau l'eygoutier	52,92	0,208	**0,276**	0,364	**0,00512**
EYGOUTIER_09	ruisseau l'eygoutier	68,12	0,266	**0,354**	0,467	**0,00779**
LAMBERT_	Lambert	5,81	0,026	**0,036**	0,046	**0,00013**
REGANAS	Réganas	8,21	0,035	**0,048**	0,062	**0,00023**
ARTAUDE	Artaude	1,63	0,010	**0,014**	0,018	**0,00002**
BADE	Bade	0,55	0,006	**0,009**	0,011	**0,00000**
BRUNETTE	Brunette	0,51	0,006	**0,009**	0,010	**0,00000**
PETIT BOIS	Petit bois	1,13	0,008	**0,012**	0,015	**0,00001**
PLANQUETTE	Planquette	4,40	0,021	**0,028**	0,037	**0,00008**
REGUE	Regue	4,62	0,022	**0,029**	0,038	**0,00009**
SAINTE MUSSE	Sainte-Musse	2,32	0,013	**0,018**	0,023	**0,00003**
SAINT JOSPEH	St-Joseph	9,76	0,041	**0,056**	0,073	**0,00031**

Les estimations de module sont jugées comme fiables, bien que plus faibles que l'estimation avancée par SAFEGE-SUEZ (2017) au pont de la Clue (une incertitude sur le module retenue dans cette étude persiste puisque qu'elle ne fournit que le débit minimum biologique…).

L'incertitude sur les estimations des QMNA5 est en revanche plus grande, notamment sur les petits bassins versant. La comparaison avec les jaugeages SCP de 0.003 et 0.005 m^3/s au niveau du vallon des Amoureux, effectués en période de très base eaux en juin 2017 et septembre 2018, montrent que les estimations retenues restent cohérentes avec ces données de terrain.

3 REFERENTIEL PLUVIOMETRIQUE

Le référentiel pluviométrique comprend deux types de données (les données brutes sont disponibles en format EXCEL) :

1. **Les paramètres de l'ajustement de Montana** pour les quantiles de précipitations représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier.
2. **La définition des pluies de projets courantes (2 à 50 ans) et rares (≥100).**

Deux formes de pluies représentatives des pluies remarquables du bassin versant de l'Eygoutier ont ainsi été construites lors de l'étude hydrologique. Aucun paramètre géographique étudié n'ayant permis de privilégier l'une ou l'autre pluie pour un des 79 sous-bassins versant homogène donné, nous recommandons de tester les deux pluies pour les études hydrauliques futures sur le bassin versant de l'Eygoutier et ses affluents.

3.1 STATISTIQUES DES PLUIES A UTILISER

3.1.1 Rappel des données utilisées

Pour rappel, les quantiles de précipitation pour différentes durées et périodes de retour ont été récupérés aux deux stations de Toulon et d'Hyères, et au point de grille SHYREG (voir carte ci-dessous) :

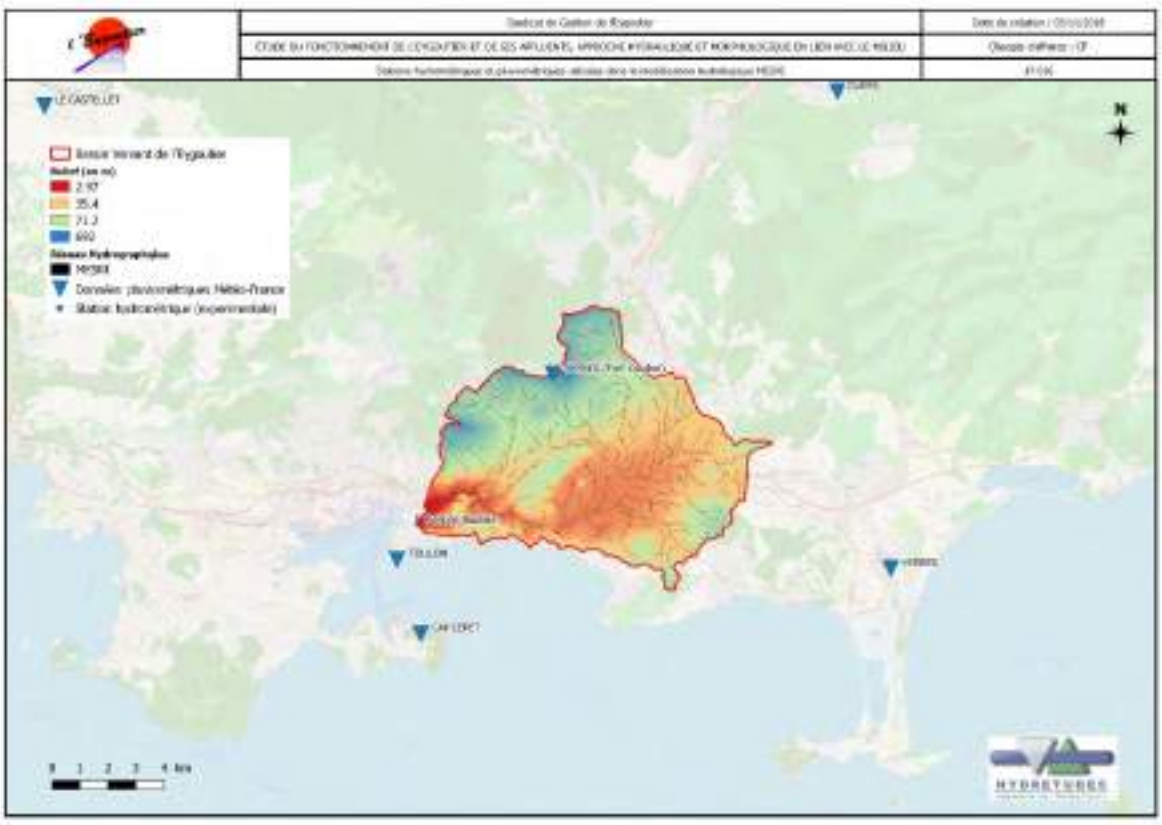


Figure 2 : Localisation de la station pluviométrique de Toulon La Mitre (83137001) du réseau Météo-France et des autres données utilisées pour les pluies de projet.

- Station de Toulon-La Mitre (Indicatif : 83137001) : Les quantiles de précipitation disponibles au poste de Toulon (Indicatif : 83137001) ont été mis à jour auprès de Météo-France dans le cadre de l'étude de l'élargissement de l'A57, réalisée au premier semestre 2016 par INGEROP (statistiques sur la période 1971-2012). La méthode utilisée est la méthode du renouvellement utilisée par Météo France jusqu'en 2012.
- Station de Hyères - Ban le Palyvestre (Indicatif : 83069001). Les données pluviométriques ont été mises à jour auprès de Météo France en 2018 au poste d'Hyères pour la présente étude par HYDRETUDES. La méthode d'ajustement utilisée est la loi Locale-Régionale GEV qui prévale depuis 2012 à Météo France. L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale–Régionale GEV pour les pas de temps 6mn, 30mn, 1 h, 6h et 12h contient 56 valeurs maximales annuelles pour la période 1982–2016 et provient également de la station 83031001 (LE_LUC) située sur un rayon de 37.6 km. L'échantillon pour l'épisode 24H contient 202 valeurs maximales annuelles sur la période 1977–2014 et provient également des 8 stations alentours : CAP_CEPET), CUERS–POUVEREL, TOULON, COLLOBRIERES, COGOLIN, LE_LUC, MONTFORT–SUR–ARGENS, ST_MAXIMIN–OLLI, situées sur un rayon de 49.2 km.
- Point de grille SHYREG - Le point de grille kilométrique (1 km²) est centré sur le Mont Coudon au nord de Toulon (alt. entre 600-700 m). Les quantiles de précipitations SHYREG pour les périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, et 100 ans) et les durées (1h, 2h, 3h, 4h, 6h, 12h, 24h, 48h, 72h) ont été acquises auprès de Météo France en 2018 par HYDRETUDES. La période couverte est 1980-1999.

Pour plus d'info sur les différentes méthodes d'estimation de durées de retour de précipitations extrêmes : http://climatheque.meteo.fr/Docs/DRR2R-methode.pdf

3.1.2 Courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier

Sur la base des quantiles de précipitation, issus des deux stations Météo-France (Toulon, Hyères) et du point de grille SHYREG, des coefficients de Montana ont été déterminés afin d'établir une statistique moyenne des pluies représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier.

Les estimations des coefficients de Montana (a,b) par la formule des hauteurs (avec l'intervalle de durée de pluie D) sont basées sur l'analyse réalisée dans la PHASE 3.1 sur les 3 jeux de données (quantiles de précipitation, durées, période de retour) issus des deux stations Météo-France (Toulon, Hyères) et du point de grille SHYREG. Au vu de la dispersion des quantiles poste à poste et compte tenu du découpage en sous-bassins versant envisagé (et du caractère urbain de certains de ces bassins versants), les régressions ont été obtenues avec deux points pivot à 1h et 6h.

Les paramètres de l'ajustement de Montana pour les quantiles de précipitations représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier sont reportés dans le Tableau 2 ci-dessous.

Remarque : Un ajustement n'est valable que pour la plage de durées de pluie pour laquelle il a été construit. L'utiliser en dehors de cette plage peut conduire à surestimer ou sous-estimer de façon très importante des intensités.

Tableau 2. Ajustement de Montana pour les quantiles de précipitations représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issu des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG).

$H=at^b$ (H en mm et T en min)		Période de retour (ans)						
Durées de la pluie	**Coefficients**	**2**	**5**	**10**	**20**	**30**	**50**	**100**
D ≤ 1h	a	3.29	3.81	4.18	4.37	4.44	4.53	4.57
	b	0.528	0.570	0.588	0.613	0.627	0.644	0.669
1h < D ≤ 6h	a	7.43	9.85	11.03	11.89	12.13	12.42	12.18
	b	0.328	0.332	0.345	0.362	0.376	0.392	0.422
6h < D ≤ 24h	a	7.29	10.45	14.95	21.04	25.46	33.09	50.68
	b	0.335	0.323	0.296	0.268	0.253	0.229	0.184

Les courbes IDF retenues (Figure 3) permettent soit d'identifier le temps de retour d'un événement historique soit de générer des quantiles de pluies pour différentes durées et périodes de retour (pluie de projet).

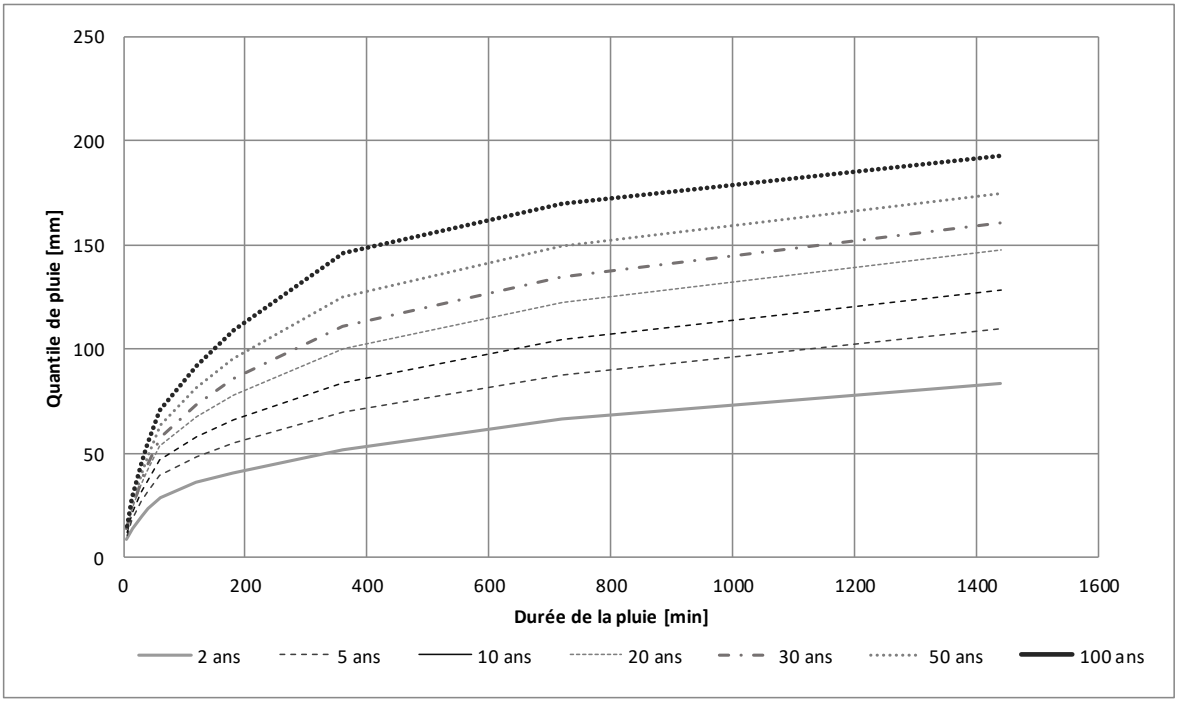


Figure 3. Courbe IDF représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (issue des données des 3 stations Toulon, Hyères, SHYREG).

La comparaison des quantiles proposés avec ceux des études antérieures montre une bonne concordance des estimations pour les faibles temps de retour. Pour le temps de retour 100 ans, les différences sont plus importantes. Les estimations sont très proches de celles d'Ingerop (2017) en étant supérieures (exceptés pour le pas de temps 6h). Les quantiles

proposés sont plus importants que ceux utilisés dans l'étude SCE de 2007 sauf pour les faibles pas de temps (<1 h).

3.2 SCENARIOS DE PLUIES DE REFERENCE A UTILISER

Des pluies de projet courantes (2 à 50 ans) et rares (≥100) ont été construites sur la base : 1) de l'intensité, de la forme, de la durée et de l'extension spatiale des pluies « historiques » faisant localement référence et 2) des courbes Intensité-Durée-Fréquence et des coefficients de Montana représentatifs du bassin de l'Eygoutier.

3.2.1 Forme des pluies

Deux formes de pluies représentatives des pluies remarquables du bassin versant de l'Eygoutier ont été construites lors de l'étude hydrologique (Figure 4) :

1. **Pluies de projet 24h, abondante et de longue durée (de durée 24h)**
2. **Pluies de projet 2h « 2006 », intense et courte (de durée 2h)**

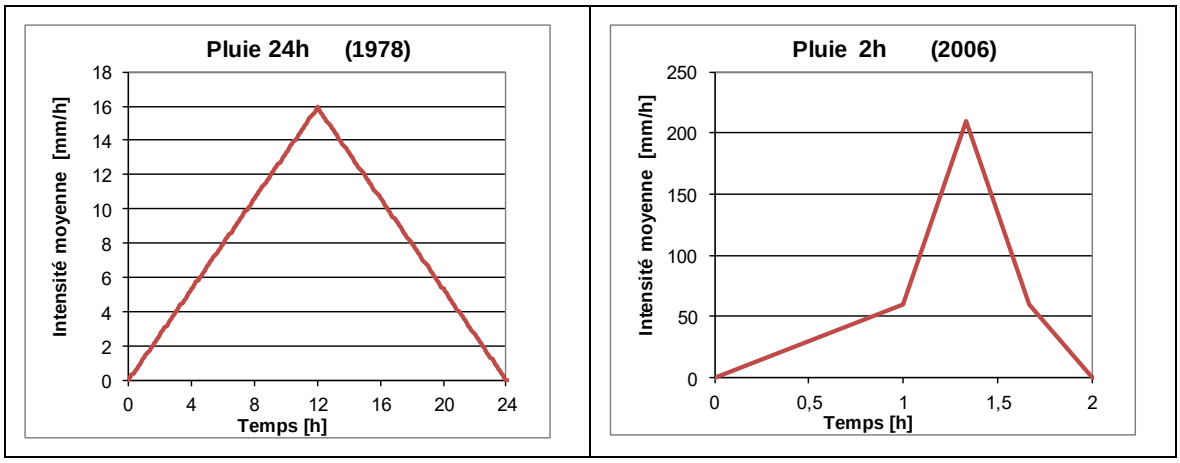


Figure 4 : Forme des pluies de référence 24h et 2h

Les éléments suivants ont été retenus pour ces deux scenarios de pluies.

3.2.1.1 Pluies de projet 24h (de durée 24h)

Il s'agit d'épisode de grande extension spatiale, avec des précipitations abondantes sur de longues durées (24h) ET des intensités remarquables sur 24h.

La pluie de référence rare de 24h « 1978 » est construite à partir de la pluie de temps de retour 100 ans sur 24h (déduite des courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier) et d'une forme de pluie triangle symétrique de 24h.

La pluie « rares » de 24h (1978) est ainsi uniquement centennale pour une durée de 24h. Pour les durées de pluie plus courtes les fréquences diminuent.

Les autres pluies, de temps de retour, 2, 5, 10, 30, et 50 ans, sont construites à partir des mêmes hypothèses à partir des cumuls 2, 5, 10, 30, et 50 ans et du gabarit triangle de 24h.

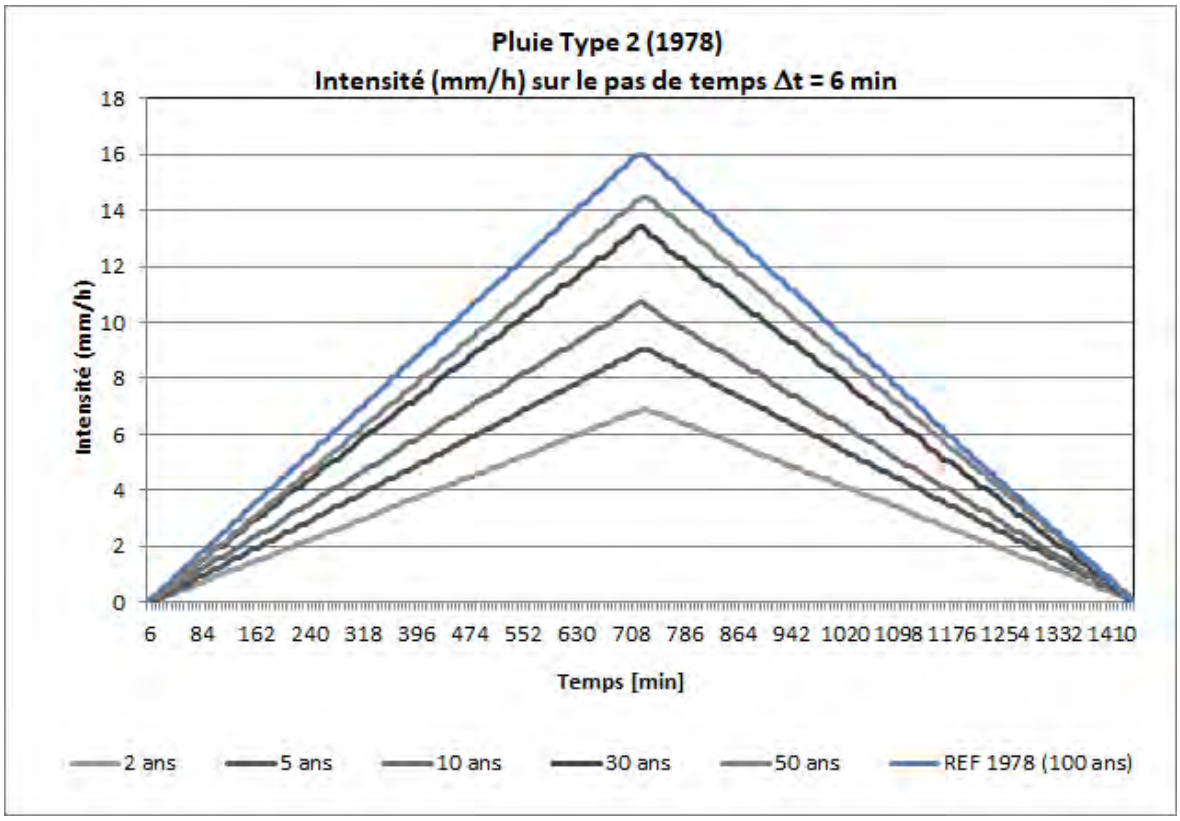


Figure 5 : Scenarios de pluies de référence 24h(1978) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 6 min.

3.2.1.2 Pluies de projet 2h « 2006 » (de durée 2h):

Ce sont des épisodes orageux nettement localisés (type méditerranéen) caractérisés par des intensités record sur des pas de temps très courts.

La pluie de référence rare de 2h « 2006 » est celle actée par la DDTM pour le Gapeau à partir des données de pluie de l'événement du 24-25 septembre 2006 enregistrées au Cap Cepet sur Saint-Mandrier par Météo-France au pas de temps de 6 min. Le gabarit proposé est une pluie de forme double-triangle avec un volume totale de 130 mm sur 2h et un volume de 90 mm sur la période intense de 40 min (pointe au 2/3) pour une pluie de 24h.

A l'inverse, de la pluie « 1978 » la pluie « rare » de 2h (2006) est plus que centennale sur les pas de temps fins (de 6 min à 2h) puis moins que centennale pour les durées de pluies supérieures. Elle reste d'ordre décennal pour une pluie de 24h.

Les autres pluies, de temps de retour, 2, 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans, sont en revanche construites à partir des courbes IDF représentatives des pluies du bassin versant de l'Eygoutier mais avec le même gabarit (pluie de forme double-triangle de durée 2h et de période intense de 40 min).

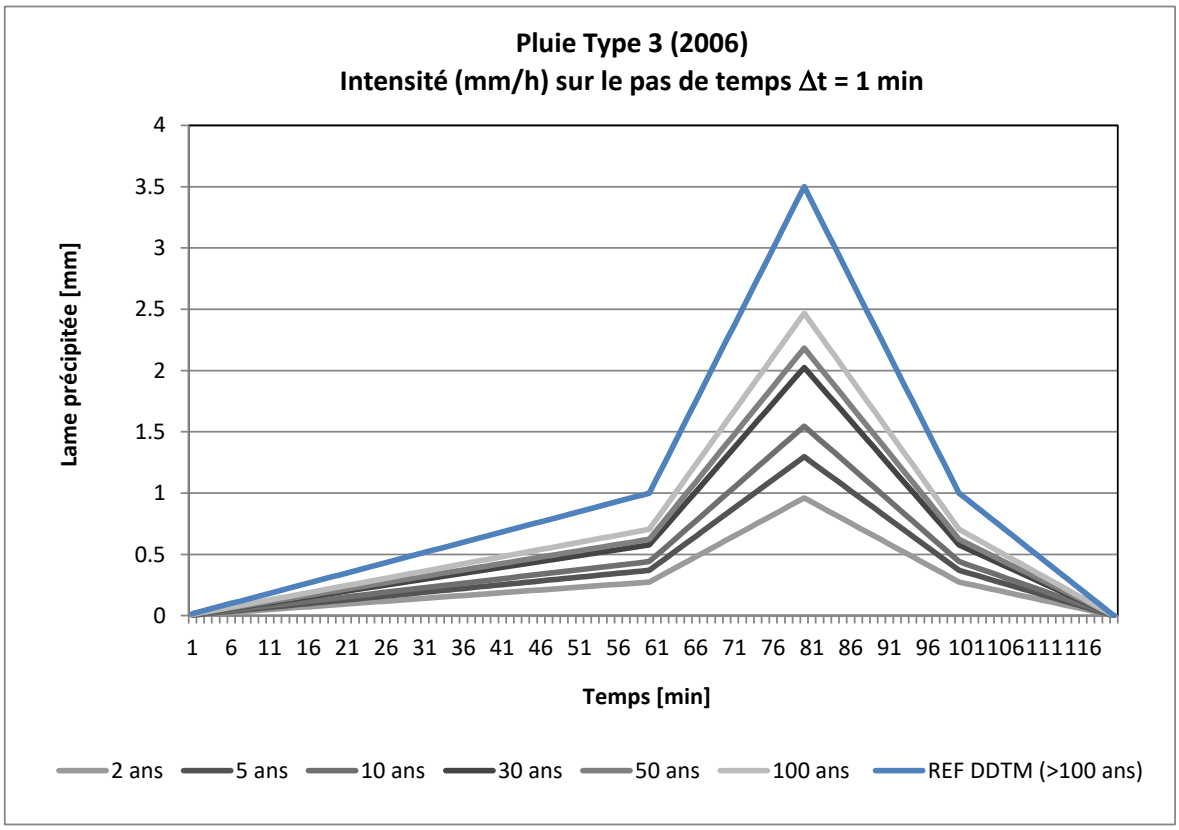


Figure 6 : Scenarios de pluies de référence 2h (2006) représentative des pluies du bassin versant de l'Eygoutier (en bleu le scenario de référence pour la crue rare plus que centennale - Les calculs ont été réalisés au pas de temps de 1 et 6 min

3.2.2 Quantiles à utiliser

Le tableau ci-dessous regroupe les quantiles de précipitation retenus pour construire les pluies de projet spatialement uniforme, sur les durées 40 min et 2h et 24 h pour les temps de retour de 2 à 100 ans. Les quantiles de la pluie de projet de référence rare « 2006 », calculés sur la base du gabarit DDTM, sont plus que centennaux pour les durées inférieures à 2 heures.

Tableau 3. Quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (en bleu les quantiles à utiliser pour établir les scenarios de référence pour les deux crues rares « 1978 » et « 2006 »)

		Quantiles de pluies pour différentes durées et période de retour (mm)						
Scenarios de pluies de référence	**Durées de la pluie**	**2 ans**	**5 ans**	**10 ans**	**30 ans**	**50 ans**	**100 ans**	**> 100**
Pluie de projet « 1978 »	**24 h**	**83**	**109**	**128**	**161**	**175**	**193**	**-**
Pluie de projet « 2006 »	**40 min**	**23**	**31**	**37**	**45**	**49**	**54**	**90**
	2 h	**36**	**48**	**57**	**75**	**81**	**92**	**130**

La figure suivante replace les deux pluies de projet de référence « rares » (1978 et 2006) sur les IDF proposées pour le bassin de l'Eygoutier.

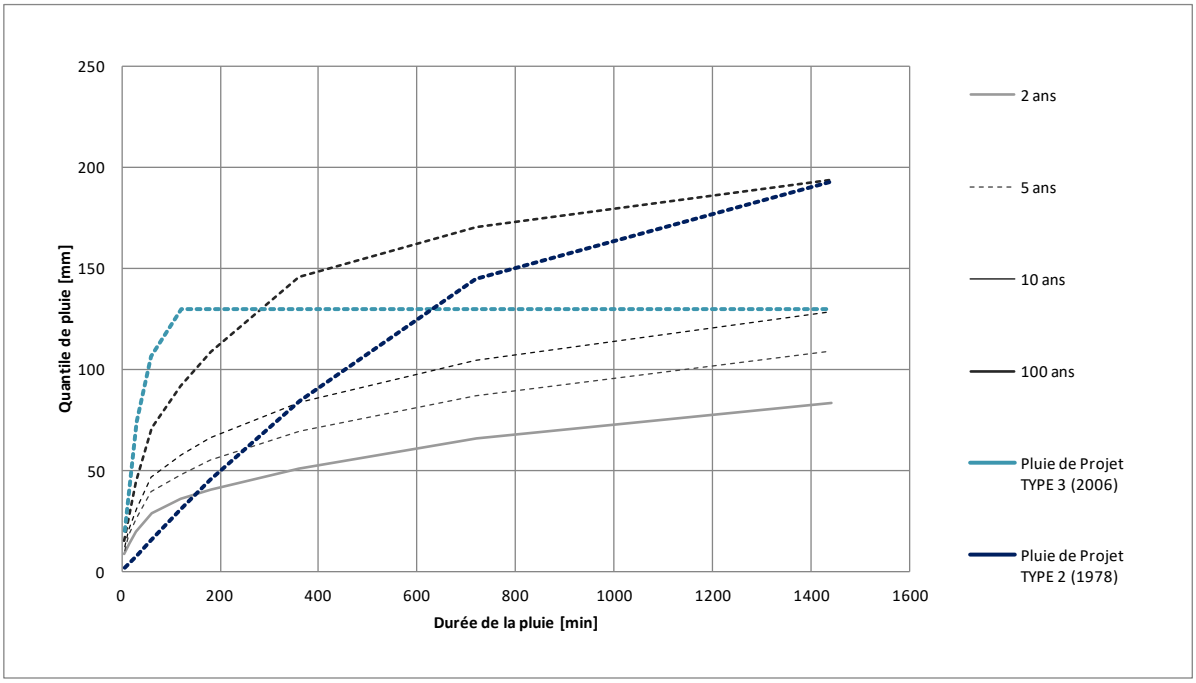


Figure 7. Caractéristiques statistiques des deux pluies de projets de référence

3.2.3 Spatialisation de la pluie

Le choix de distribution des pluies s'est porté sur **une pluie uniforme sur l'ensemble des pixels du bassin versant pour la modélisation pluie-débit.** L'approche menée dans cette étude est de caractériser les épisodes provoquant des crues exceptionnelles et généralisées de l'Eygoutier sur l'ensemble de son bassin versant. L'hypothèse est que la taille d'une cellule orageuse provoquant une crue significative à 'exutoire de l'Eygoutier est comparable avec celle du bassin versant.

4 DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE

Des estimations de débits de référence courantes (2 à 50 ans) et rares (≥100) sur l'ensemble des 79 sous-bassins identifiés lors de la phase 1 ont été obtenues par **modélisation pluie/débit**.

4.1 PRINCIPE DE LA MODELISATION HYDROLOGIQUE

4.1.1 Le modèle MESRI

MESRI est un modèle événementiel spatialisé et parcimonieux pour la prédétermination des crues. Il est développé par HYDRETUDES. Il permet à partir du Modèle Numérique de Terrain (MNT) et des pluies tombées sur le territoire d'estimer les débits à l'exutoire d'un bassin versant. Il analyse donc la morphologie du bassin versant et calcule la réponse hydrologique de celui-ci. La spatialisation opère principalement sur les pluies en entrée du modèle et sur les trajectoires d'écoulement de l'eau.

Le modèle MESRI nécessite le calage de cinq paramètres :

- P1 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement dans le réseau hydrographique V_t,
- P2 : Paramètre de vitesse moyenne d'écoulement souterrain (subsurface) V_s,
- P3 : Paramètre de production de surface P_{surf},
- P4 : Paramètre de production de subsurface $P_{subsurf}$,
- P5 : Paramètre de récession de la courbe de tarissement K .

La mise en œuvre du modèle MESRI nécessite l'acquisition de différents types de données :

- Un **Modèle Numérique de Terrain** (MNT) issue du RGE ALTI® pour établir le réseau hydrographique et les deux cartographies des distances (distances sur versant et distances dans le réseau hydrographique)
- Une **carte d'occupation du sol** pour prendre en compte les différences de ruissellement en fonction de l'occupation du sol (base de données Corine Land Cover de 2014)
- Des **séries chronologiques concomitantes de pluie et de débit**, indispensables pour le calage des paramètres. Ce dernier a été réalisé à partir d'hydrogrammes sélectionnés au Pont de Bazeille (issu des travaux universitaires entre 2012 et 2013 de la thèse de Dufresne (2014) et le mémoire de stage de Ducros (2014)). La pluviométrie injectée dans le modèle est la pluie enregistrée à Toulon la Mitre. Cette station est jugée représentatives de la situation sur le bassin versant pour les événements pluie-débits de calage retenus.

Rappelons que les sorties du modèle hydrologique donnent des **hydrogrammes « hydrologiques »** qui ne prennent pas en compte d'une part les processus d'amortissement de la crue dans la plaine, même pour des petites crues, et d'autre part la dérivation artificielle des écoulements vers la mer (tunnel de Pont de la Clue). C'est bien le modèle hydraulique qui donnera l'hydrogramme réel entrant sur le bassin versant Toulonnais au pont de la Clue et non le modèle hydrologique.

4.1.2 Pluies modélisées

Les débits et les hydrogrammes ont été générés à partir du modèle calé pour chacun des 78 bassins versant homogènes et pour :

- les **deux pluies de référence** (« rares ») issues de la présente étude.
    - **Pluie de projet de 24h, basée sur l'évènement de 1978** (Pluie centennale de 24 h de forme triangle semblable d'un point de vue statistique à la pluie de 1978).
    - **Pluie de projet de 2h, basée sur la pluie de 2006 et le gabarit DDTM** (Pluie de 2 h de forme double triangle calé sur l'événement pluviométrique de la nuit du 24 au 25 septembre 2006). Cette pluie est plus que centennale.
- Et enfin, les **pluies de projet courantes** (2 à 50 ans) pour les deux gabarits de pluie (24h et 2h).

Rappelons que le choix de distribution des pluies s'est porté sur **une pluie uniforme sur l'ensemble des pixels du bassin versant pour la modélisation pluie-débit.**

4.2 DEBITS ET HYDROGRAMMES RESULTANTS POUR LES PLUIES DE REFERENCE

Les hydrogrammes résultants pour les deux pluies de référence de 24h (1978) et de 2h (2006) sont illustrés dans les figures ci-dessous. Les données brutes sont disponibles en format EXCEL pour chacun des 79 sous-bassins versant.

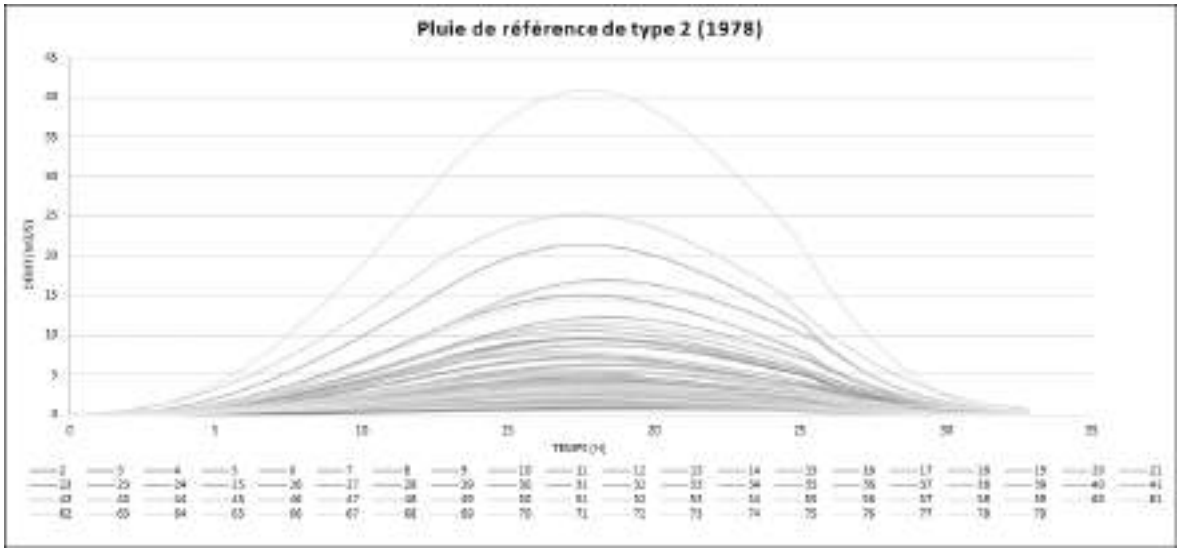


Figure 8 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de 24h (1978) – Pluie longue 24h de temps de retour 100 ans.

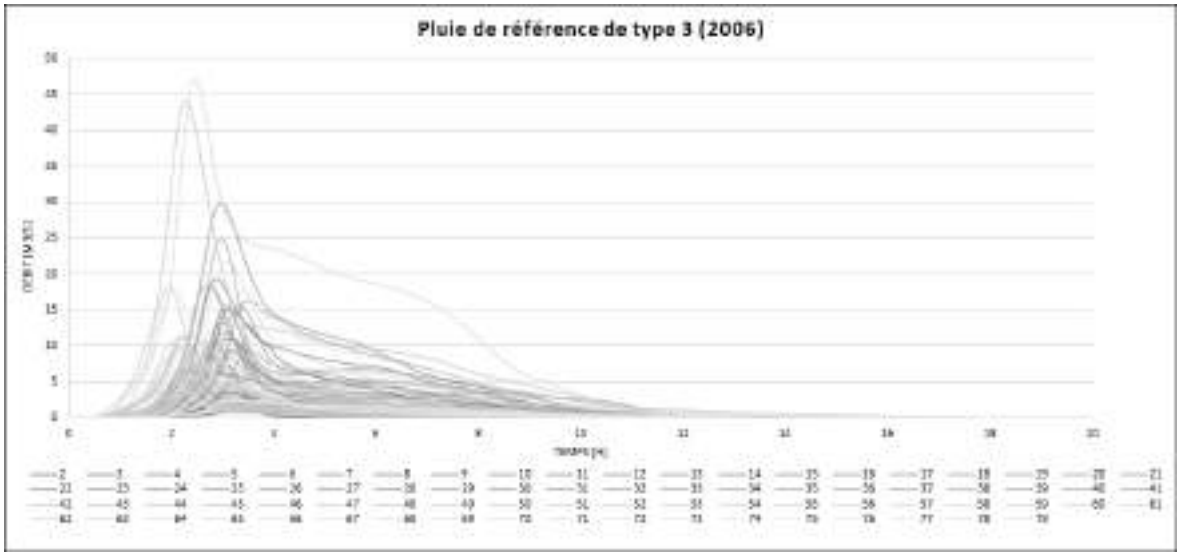


Figure 9 : Hydrogrammes de crue pour les 79 sous-bassins versants pour l'événement de référence de 2h (2006) – Gabarit pluie DDTM

Les débits de pointe obtenus par le modèle pluie débit pour les 2 types de pluie de référence sont donnés ci-dessous (cf. Tableau 4 et Tableau 5). Rappelons que les temps de retour indiqués pour les débits de pointe par sous-bassins versant correspondent à ceux de la pluie sur le pas de temps considéré qui l'a généré.

Tableau 4 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de 24h, basée sur l'évènement de 1978

			Pluie de projet 24h, basée sur l'évènement de 1978					
			Débit [m3/s]					
id	Surface	HYD_Cours	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	50 ans	**100 ans (REF)**
20	0.65	Artaude	2.14	2.80	3.30	4.08	4.49	4.91
23	0.30	Artaude	0.92	1.21	1.43	1.77	1.94	2.12
31	0.68	Artaude	1.91	2.51	2.96	3.66	4.03	4.40
48	0.34	Bade	1.01	1.32	1.55	1.92	2.12	2.31
49	0.21	Bade	0.59	0.78	0.92	1.13	1.25	1.36
18	0.29	Brunette	0.85	1.11	1.31	1.63	1.79	1.95
50	0.22	Brunette	0.67	0.88	1.04	1.28	1.41	1.54
11	0.52	Eygoutier_plaine	1.65	2.17	2.55	3.16	3.48	3.80
12	2.03	Eygoutier_plaine	6.55	8.58	10.11	12.52	13.77	15.05
24	0.74	Eygoutier_plaine	2.23	2.93	3.45	4.27	4.70	5.14
25	1.30	Eygoutier_plaine	4.17	5.47	6.44	7.98	8.77	9.59
26	0.97	Eygoutier_plaine	3.06	4.01	4.73	5.86	6.44	7.04
27	0.89	Eygoutier_plaine	2.76	3.62	4.26	5.28	5.81	6.35
28	1.38	Eygoutier_plaine	4.17	5.46	6.43	7.97	8.76	9.58
39	1.62	Eygoutier_plaine	4.87	6.38	7.52	9.32	10.24	11.20
40	0.85	Eygoutier_plaine	2.47	3.24	3.82	4.73	5.20	5.69
68	0.75	Eygoutier_plaine	2.43	3.18	3.75	4.65	5.11	5.58
70	2.24	Eygoutier_plaine	6.29	8.25	9.71	12.04	13.23	14.47
73	1.29	Eygoutier_plaine	3.98	5.22	6.15	7.62	8.38	9.16
44	0.43	Eygoutier_Toulon	1.28	1.67	1.97	2.44	2.68	2.93
45	0.16	Eygoutier_Toulon	0.48	0.62	0.74	0.91	1.00	1.10
46	0.45	Eygoutier_Toulon	1.31	1.71	2.01	2.50	2.74	3.00
47	0.25	Eygoutier_Toulon	0.71	0.94	1.10	1.37	1.50	1.64
55	0.64	Eygoutier_Toulon	1.81	2.38	2.80	3.47	3.81	4.17
56	0.60	Eygoutier_Toulon	1.68	2.20	2.59	3.21	3.53	3.86
57	0.26	Eygoutier_Toulon	0.77	1.00	1.18	1.46	1.61	1.76
59	1.04	Eygoutier_Toulon	3.44	4.51	5.32	6.59	7.24	7.92
60	0.62	Eygoutier_Toulon	1.78	2.34	2.75	3.41	3.75	4.10
61	0.46	Eygoutier_Toulon	1.31	1.72	2.03	2.51	2.76	3.02
62	0.18	Eygoutier_Toulon	0.51	0.66	0.78	0.97	1.06	1.16
63	0.39	Eygoutier_Toulon	1.10	1.45	1.70	2.11	2.32	2.54
64	0.36	Eygoutier_Toulon	1.02	1.34	1.58	1.96	2.15	2.36
76	1.25	Eygoutier_Toulon	3.56	4.67	5.50	6.82	7.49	8.19
41	0.99	EygoutierN	3.08	4.04	4.76	5.90	6.48	7.09
71	0.44	EygoutierN	1.38	1.81	2.13	2.63	2.90	3.17
2	0.31	Lambert	0.88	1.15	1.36	1.68	1.85	2.02
9	0.28	Lambert	0.92	1.20	1.41	1.75	1.92	2.10
10	1.22	Lambert	3.81	4.99	5.88	7.28	8.00	8.75

67	0.68	Lambert	2.41	3.16	3.72	4.61	5.06	5.54
72	0.80	Lambert	2.29	3.00	3.54	4.38	4.82	5.27
3	0.13	Lambert2	0.38	0.49	0.58	0.72	0.79	0.87
4	1.32	Lambert2	4.17	5.46	6.43	7.97	8.76	9.57
5	0.28	Lambert3	0.82	1.07	1.26	1.56	1.72	1.88
8	0.28	Lambert3	0.91	1.19	1.40	1.74	1.91	2.09
6	0.18	Lambert4	0.29	0.38	0.45	0.56	0.61	0.67
7	0.32	Lambert4	0.97	1.28	1.50	1.86	2.05	2.24
58	1.13	Petit bois	3.22	4.51	4.97	6.15	6.76	7.39
1	0.75	Planquette	2.33	3.06	3.60	4.46	4.90	5.36
36	0.28	Planquette	0.83	1.09	1.28	1.58	1.74	1.90
37	1.15	Planquette	3.37	4.42	5.21	6.45	7.09	7.75
38	0.59	Planquette	1.83	2.40	2.83	3.51	3.86	4.22
66	1.63	Planquette	5.05	6.62	7.79	9.66	10.61	11.60
32	1.12	Planquette2	3.20	4.19	4.94	6.12	6.72	7.35
33	1.62	Planquette2	4.61	6.04	7.11	8.81	9.68	10.59
34	0.63	Planquette2	1.89	2.48	2.92	3.61	3.97	4.34
35	0.36	Planquette2	1.03	1.35	1.59	1.97	2.16	2.37
17	0.23	Pluvial La Garde	0.63	0.83	0.98	1.21	1.33	1.45
42	0.51	Pluvial La Garde	1.47	1.92	2.26	2.81	3.09	3.37
43	0.26	Pluvial La Garde	0.78	1.02	1.21	1.49	1.64	1.80
74	0.77	Pluvial La Garde	2.13	2.80	3.29	4.08	4.48	4.90
75	0.55	Pluvial La Garde	1.51	1.98	2.33	2.89	3.18	3.48
13	0.66	Reganas	2.07	2.71	3.19	3.95	4.34	4.75
14	0.78	Reganas	2.24	2.93	3.46	4.28	4.71	5.14
15	0.39	Reganas	1.11	1.46	1.71	2.12	2.33	2.55
29	2.19	Reganas	7.38	9.67	11.39	14.12	15.52	16.96
30	0.90	Reganas	2.69	3.53	4.16	5.15	5.66	6.19
69	0.29	Reganas	1.00	1.31	1.55	1.91	2.10	2.30
77	2.20	Reganas	7.21	9.44	11.12	13.78	15.15	16.56
78	0.55	Reganas	1.48	1.94	2.29	2.84	3.12	3.41
79	0.26	Reganas	0.89	1.17	1.38	1.71	1.87	2.05
21	1.67	Regue	5.34	7.00	8.25	10.22	11.23	12.28
22	2.95	Regue	9.31	12.21	14.38	17.81	19.58	21.41
16	0.46	Sainte-Musse	1.34	1.76	2.08	2.57	2.83	3.09
19	0.53	Sainte-Musse	1.53	2.01	2.37	2.93	3.22	3.52
51	0.76	Sainte-Musse	2.09	2.74	3.22	3.99	4.39	4.80
52	0.57	Sainte-Musse	1.57	2.05	2.42	3.00	3.29	3.60
53	3.84	St-Joseph	10.97	14.37	16.93	20.98	23.05	25.21
54	0.39	St-Joseph	0.99	1.30	1.53	1.89	2.08	2.27
65	5.54	St-Joseph	17.80	23.34	27.49	34.06	37.43	40.92

Tableau 5 : Résultats obtenus avec la modélisation MESRI pour les pluies de projet de 2h, basée sur l'évènement de 2006

			Pluie de projet 2h, basée sur la pluie de 2006						
			Débit [m3/s]						
id	Surface	HYD_Cours	2 ans	5 ans	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans	**> 100 ans (REF)**
20	0.65	Artaude	2.41	3.26	3.88	4.96	5.48	6.19	**8.70**
23	0.30	Artaude	1.01	1.37	1.64	2.09	2.31	2.60	**3.65**
31	0.68	Artaude	2.99	4.04	4.82	6.16	6.80	7.68	**10.75**
48	0.34	Bade	1.49	2.01	2.40	3.07	3.38	3.82	**5.36**
49	0.21	Bade	1.01	1.36	1.62	2.07	2.29	2.58	**3.61**
18	0.29	Brunette	1.44	1.94	2.31	2.96	3.26	3.68	**5.09**
50	0.22	Brunette	1.22	1.65	1.97	2.51	2.77	3.13	**4.33**
11	0.52	Eygoutier_plaine	1.73	2.34	2.79	3.57	3.94	4.45	**6.23**
12	2.03	Eygoutier_plaine	5.33	7.19	8.58	10.96	12.11	13.69	**19.29**
24	0.74	Eygoutier_plaine	2.45	3.32	3.96	5.06	5.58	6.30	**8.77**
25	1.30	Eygoutier_plaine	3.08	4.15	4.95	6.32	6.99	7.90	**11.09**
26	0.97	Eygoutier_plaine	3.07	4.14	4.93	6.30	6.97	7.87	**11.06**
27	0.89	Eygoutier_plaine	2.52	3.41	4.06	5.19	5.74	6.48	**9.08**
28	1.38	Eygoutier_plaine	4.33	5.84	6.97	8.91	9.84	11.11	**15.57**
39	1.62	Eygoutier_plaine	5.05	6.81	8.12	10.38	11.47	12.97	**18.25**
40	0.85	Eygoutier_plaine	2.95	3.99	4.76	6.08	6.71	7.59	**10.68**
68	0.75	Eygoutier_plaine	2.22	3.00	3.58	4.58	5.05	5.71	**8.01**
70	2.24	Eygoutier_plaine	5.99	8.08	9.64	12.32	13.61	15.39	**21.68**
73	1.29	Eygoutier_plaine	3.64	4.92	5.86	7.49	8.28	9.35	**13.10**
44	0.43	Eygoutier_Toulon	1.92	2.60	3.10	3.96	4.37	4.94	**6.91**
45	0.16	Eygoutier_Toulon	0.79	1.07	1.27	1.63	1.80	2.03	**2.83**
46	0.45	Eygoutier_Toulon	2.10	2.84	3.39	4.34	4.78	5.40	**7.54**
47	0.25	Eygoutier_Toulon	1.19	1.61	1.92	2.45	2.71	3.06	**4.27**
55	0.64	Eygoutier_Toulon	3.11	4.20	5.01	6.41	7.07	7.98	**11.10**
56	0.60	Eygoutier_Toulon	2.66	3.60	4.29	5.48	6.05	6.83	**9.56**
57	0.26	Eygoutier_Toulon	1.21	1.64	1.95	2.49	2.75	3.11	**4.36**
59	1.04	Eygoutier_Toulon	2.92	3.95	4.70	6.01	6.63	7.49	**10.46**
60	0.62	Eygoutier_Toulon	2.25	3.03	3.62	4.63	5.11	5.78	**8.11**
61	0.46	Eygoutier_Toulon	2.14	2.90	3.45	4.41	4.88	5.51	**7.74**
62	0.18	Eygoutier_Toulon	0.80	1.08	1.29	1.65	1.82	2.05	**2.88**
63	0.39	Eygoutier_Toulon	1.83	2.48	2.95	3.77	4.17	4.70	**6.57**
64	0.36	Eygoutier_Toulon	1.62	2.19	2.62	3.34	3.69	4.17	**5.86**
76	1.25	Eygoutier_Toulon	5.02	6.78	8.09	10.34	11.42	12.89	**18.02**
41	0.99	EygoutierN	2.68	3.61	4.31	5.51	6.09	6.88	**9.69**
71	0.44	EygoutierN	1.56	2.10	2.51	3.20	3.54	4.00	**5.62**
2	0.31	Lambert	1.42	1.92	2.29	2.93	3.24	3.65	**5.12**
9	0.28	Lambert	1.02	1.38	1.64	2.10	2.32	2.62	**3.67**
10	1.22	Lambert	3.32	4.48	5.34	6.82	7.54	8.52	**11.94**

67	0.68	Lambert	1.46	1.97	2.34	3.00	3.31	3.74	**5.22**
72	0.80	Lambert	2.46	3.32	3.96	5.05	5.58	6.31	**8.84**
3	0.13	Lambert2	0.54	0.72	0.86	1.10	1.22	1.38	**1.93**
4	1.32	Lambert2	4.21	5.69	6.79	8.67	9.58	10.81	**15.12**
5	0.28	Lambert3	1.27	1.71	2.04	2.61	2.88	3.25	**4.57**
8	0.28	Lambert3	0.95	1.28	1.52	1.94	2.15	2.43	**3.41**
6	0.18	Lambert4	0.41	0.56	0.66	0.85	0.93	1.06	**1.47**
7	0.32	Lambert4	0.97	1.32	1.57	2.01	2.22	2.51	**3.53**
58	1.13	Petit bois	5.05	6.83	8.15	10.41	11.49	12.98	**18.12**
1	0.75	Planquette	1.97	2.66	3.17	4.05	4.48	5.06	**7.07**
36	0.28	Planquette	1.25	1.68	2.01	2.57	2.83	3.20	**4.49**
37	1.15	Planquette	5.07	6.86	8.18	10.45	11.54	13.03	**18.29**
38	0.59	Planquette	1.83	2.47	2.95	3.77	2.95	4.71	**6.62**
66	1.63	Planquette	4.27	5.76	6.87	8.78	9.70	10.96	**15.32**
32	1.12	Planquette2	4.40	5.95	7.10	9.07	10.01	11.31	**15.89**
33	1.62	Planquette2	6.89	9.30	11.10	14.18	15.66	17.70	**24.91**
34	0.63	Planquette2	2.39	3.23	3.85	4.92	5.43	6.14	**8.59**
35	0.36	Planquette2	1.67	2.25	2.69	3.43	3.79	4.28	**6.00**
17	0.23	Pluvial La Garde	0.99	1.34	1.60	2.05	2.26	2.55	**3.58**
42	0.51	Pluvial La Garde	1.95	2.63	3.14	4.01	4.43	5.00	**7.00**
43	0.26	Pluvial La Garde	1.01	1.37	1.63	2.08	2.30	2.60	**3.65**
74	0.77	Pluvial La Garde	3.34	4.51	5.38	6.88	7.59	8.58	**11.99**
75	0.55	Pluvial La Garde	2.37	3.20	3.82	4.88	5.38	6.08	**8.50**
13	0.66	Reganas	2.02	2.73	3.26	4.16	4.59	5.19	**7.28**
14	0.78	Reganas	3.68	4.96	5.92	7.57	8.36	9.44	**13.26**
15	0.39	Reganas	1.81	2.44	2.91	3.72	4.11	4.64	**6.52**
29	2.19	Reganas	4.51	6.08	7.25	9.26	10.23	11.57	**16.30**
30	0.90	Reganas	2.63	3.55	4.24	5.41	5.97	6.75	**9.49**
69	0.29	Reganas	1.43	1.93	2.30	2.94	3.25	3.67	**5.10**
77	2.20	Reganas	4.94	6.67	7.95	10.16	11.23	12.69	**17.84**
78	0.55	Reganas	1.47	1.98	2.36	3.02	3.34	3.77	**5.30**
79	0.26	Reganas	0.70	0.94	1.12	1.43	1.58	1.78	**2.51**
21	1.67	Regue	4.17	5.63	6.72	8.58	9.48	10.71	**15.02**
22	2.95	Regue	8.23	11.09	13.23	16.91	18.69	21.13	**29.78**
16	0.46	Sainte-Musse	1.82	2.45	2.93	3.74	4.13	4.67	**6.56**
19	0.53	Sainte-Musse	1.87	2.52	3.01	3.85	4.25	4.80	**6.73**
51	0.76	Sainte-Musse	3.13	4.24	5.05	6.45	7.13	8.05	**11.31**
52	0.57	Sainte-Musse	2.49	3.36	4.01	5.13	5.66	6.40	**8.95**
53	3.84	St-Joseph	12.21	16.48	16.48	21.05	27.75	31.37	**44.13**
54	0.39	St-Joseph	1.35	1.83	1.83	2.33	3.08	3.48	**4.91**
65	5.54	St-Joseph	13.02	17.59	20.97	26.79	29.59	33.43	**46.85**



Siège social – Centre technique principal

815, route de Champ Farçon

74 370 ARGONAY

Tél : 04.50.27.17.26

Fax : 04.50.27.25.64

contact@hydretudes.com

Agence Alpes du Nord

Alpespaces

50, Voie Albert Einstein

73 118 FRANCIN

Tél : 04.79.96.14.57

Fax : 04.70.33.01.63

contact-savoie@hydretudes.com

Agence Alpes du Sud

Bât 2 – Résidence du Forest d'entrais

25, rue du Forest d'entrais

05 000 GAP

Tél : 04.92.21.97.26

Fax : 04.92.21.87.83

contact-gap@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

41 bis avenue des Allobroges

26 100 ROMANS SUR ISERE

Tél : 04.75.45.30.57.

Fax : 04.75.45.30.57

contact-romans@hydretudes.com

Agence Grand Sud-Pyrénées

Immeuble Sud América

20, bd. de Thibaud

31 100 TOULOUSE

Tél : 05.62.14.07.43

Fax : 05.62.14.08.95

contact-toulouse@hydretudes.com

Agence Océan Indien

45 rue luc lorion

97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02.62.96.82.45

Fax : 02.62.32.69.05

contact-reunion@hydretudes.com