

Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) du Drac aval

Communes de
Champagnier, Champ-sur-Drac, Claix, Echirolles, Eybens, Fontaine,
Grenoble, Le Pont-de-Claix, Noyarey,
Saint-Georges-de-Commiers, Saint-Martin-d'Hères, Sassenage,
Seyssinet-Pariset, Seyssins, Varcès-Allières-et-Risset, Veurey-Voroise et Vif

Note de présentation
2 - Annexes relatives aux aléas
2-4 : Rapport hydrologique d'HYDRETUDES

Dossier d'approbation 2023



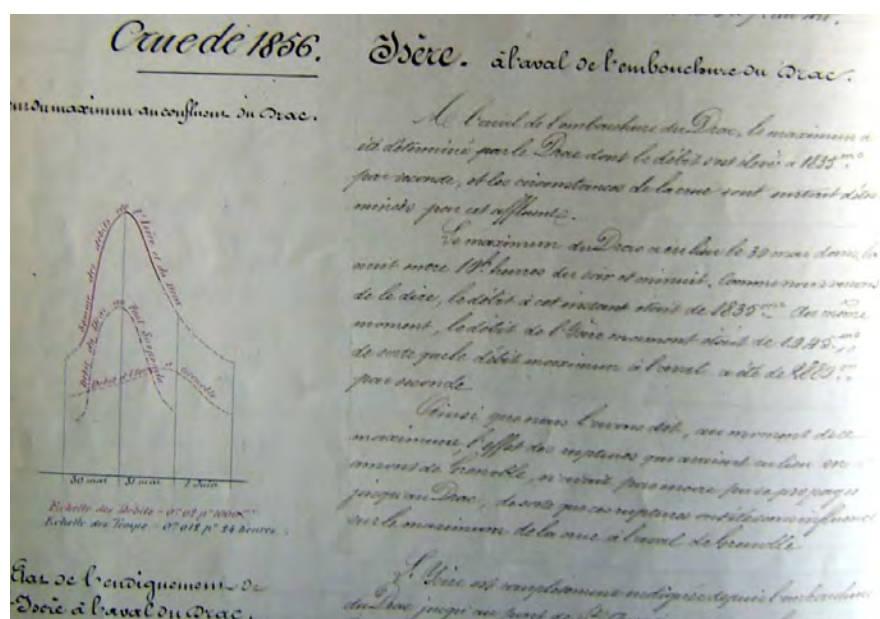
**Direction Départementale des
Territoires de l'Isère**

**17 bd Joseph Vallier BP 45
38040 Grenoble Cedex 9**

RAPPORT D'ETUDE

ANALYSE HYDROLOGIQUE

QUALIFICATION DES ALEAS DES CRUES DU DRAC, DU PONT DE LA RIVOIRE A LA CONFLUENCE AVEC L'ISERE



Renseignements et notes sur le bassin de l'Isère Mai 1857- Ingénieur GENTIL- Archives départementales de l'Isère - Photo SPC (Service de Prévision des Crues, 2016)

AR-16-015

INGEROP / HYDRETUDES

17/07/2017

Emetteur(s) HYDRETUDES
SAS
815 route de Champs Farçon
74370 Argonay
Tél. : 0450271726
contact-
contact@hydretudes.com



Réf. AR-16-015

Objet : QUALIFICATION DES ALEAS DES CRUES DU DRAC, DU PONT DE LA RIVOIRE A LA CONFLUENCE AVEC L'ISERE

Mission : Etude hydrologique

Type de document : Rapport d'étude

Société(s) : INGEROP / HYDRETUDES

Maître d'Ouvrage : DDT 38

Indice	Date	Titre du document	Phase	Statut du document	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
01	17/07/2017		Première diffusion	☒ Provisoire ☐ Définitif	Cécile PICOUET	Benoit CHAPON	Didier CLEMENT
02	07/05/2018			☐ Provisoire ☒ Définitif	Cécile PICOUET	Benoit CHAPON	Didier CLEMENT

Chef de projet : Didier CLEMENT

Rédacteur(s) : Cécile PICOUET

Vérificateur(s) : Benoît CHAPON



SOMMAIRE

0.	RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE	12
0.1.	ARTICULATION DE L'ETUDE	12
0.2.	OBJECTIF ET DEMARCHE ADOPTEE	12
0.3.	SCENARIO CHOISI POUR LA CRUE DE REFERENCE DU DRAC	13
0.3.1.	Crue de mai 1856 : crue la plus remarquable du Drac sur le périmètre du PPRI	13
0.3.2.	Scenario de référence	15
1.	CONTEXTE DE L'ETUDE ET DEMARCHE ADOPTEE	17
1.1.	ANALYSE HYDROLOGIQUE VERSUS ANALYSE HYDRAULIQUE	17
1.2.	QUEL SCENARIO POUR LA CRUE DE REFERENCE DU DRAC ?	18
1.2.1.	Existe-t-il des crues historiques plus fortes que la crue centennale ?	18
1.2.2.	Comment établir un scenario de crue de référence ?	19
2.	CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DU DRAC	21
2.1.	BASSIN VERSANT ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE	21
2.2.	REGIME DES PRECIPITATIONS	22
2.2.1.	Précipitations moyennes annuelles	23
2.2.2.	Répartition des moyennes saisonnières	24
2.2.3.	Saisonnalisation du risque pluie	25
2.2.4.	Répartition spatiales des pluies extrêmes	26
2.3.	HYPOMETRIE ET OCCUPATION DU SOL	27
2.4.	GRANDS AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES	29
3.	ANALYSE DU FONCTIONNEMENT GLOBAL DU BASSIN VERSANT	34
3.1.	STATIONS HYDROMETRIQUES UTILISEES	34
3.2.	REGIMES HYDROLOGIQUES	35
3.2.1.	Régimes " naturels " du Drac et de la Romanche	35
3.2.2.	Régimes " influencés " du Drac et de la Romanche	36
3.3.	CRUES DU DRAC	38
3.3.1.	Répartition saisonnière des crues	38
3.3.2.	Répartition par type de temps des crues remarquables	39
3.3.3.	Dépendance entre les crues de la Romanche et celles du Drac	40
3.3.4.	Influence des aménagements sur les crues les plus remarquables	41
3.4.	DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE	43
3.4.1.	La Romanche à l'amont de la confluence Drac/Romanche	43
3.4.2.	Le Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche	44
3.4.3.	Le Drac à Grenoble	46
3.4.4.	L'Isère	48

3.4.5.	Autres affluents	48
3.5.	HYDROGRAMMES CARACTERISTIQUES DE CRUE	49
3.5.1.	Hydrogrammes de crues de la Romanche	50
3.5.2.	Hydrogrammes du Drac Amont	50
3.5.3.	Hydrogrammes des autres affluents	53
3.5.4.	Hydrogrammes de l'Isère	55
3.5.5.	Hydrogrammes du Drac Aval	56
4.	DEFINITION DE LA CRUE DE REFERENCE	58
4.1.	IDENTIFICATION DE LA PLUS FORTE CRUE SUR LE PERIMETRE PPRI DRAC AVAL	58
4.1.1.	Sources d'informations utilisées	58
4.1.2.	Les plus fortes crues connues.....	61
4.1.3.	Les temps de retour associés aux crues.....	66
4.1.4.	Approximation de la période de retour des événements passés et choix de la crue de référence 67	
4.2.	SCENARIO DE REFERENCE DU PPRI DU DRAC AVAL	68
4.2.1.	Débits de pointe, Temps de retour et concomitance des crues.....	68
4.2.2.	Forme des hydrogrammes de crue.....	69
5.	ANNEXE I : CRUES HISTORIQUES LES PLUS REMARQUABLES DU DRAC	74
5.1.	SOURCES D'INFORMATIONS UTILISEES	74
5.2.	ANALYSE CHRONOLOGIQUE DES GRANDES CRUES DE L'ISERE ET DU DRAC	81
5.3.	DEBITS DE POINTE ET HYDROGRAMMES	82
5.4.	ANALYSE DES PERTURBATIONS CLIMATIQUES A L'ORIGINE DES CRUES HISTORIQUES MAJEURES DU DRAC	94
5.4.1.	Phénomènes à l'origine des crues historiques du Drac et de la Romanche.....	94
5.4.2.	Concomitance des crues du Drac avec les crues de l'Isère ?	97
6.	ANNEXE II : ANALYSE DES DEBITS MESURES ACTUELLEMENT DISPONIBLES.....	102
6.1.	DONNEES DE DEBITS JOURNALIERS ISSUES DE LA BANQUE HYDRO	103
6.2.	ANALYSE DU REGIME DU DRAC ET DE LA ROMANCHE	105
6.2.1.	Les régimes " naturels" du Drac et de la Romanche	105
6.2.2.	Les régimes " influencés" du Drac et de la Romanche	109
6.3.	ANALYSE DES PLUS FORTES CRUES ENREGISTREES (MESUREES)	110
6.3.1.	Le Drac à Fontaine.....	110
6.3.2.	Le Drac à Monteynard	119
6.3.3.	Influence des aménagements sur les crues les plus remarquables	120
7.	ANNEXE III : ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES.....	128
7.1.	ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DE LA ROMANCHE	129
7.1.1.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX	130

7.1.2.	Prise en compte du laminage de l'onde de crue à l'aval de la plaine de Bourg d'Oisans	131
7.1.3.	Prise en compte du risque d'effondrement à court terme des ruines de Séchilienne	133
7.1.4.	Prise en compte du Projet Séchilienne – Moyenne et Basse Romanche du SYMBHI	134
7.2.	ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DU DRAC AMONT	135
7.2.1.	Analyse fréquentielle a priori "classique" (SOGREAH, 1999 - ANNEXE 1)	135
7.2.2.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (EDF, 1980 cité par BURGEAP, 2006).....	136
7.2.3.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (EDF, 2016 ANNEXE 1) 136	
7.2.4.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SCHADEX (EDF, 2016)	138
7.3.	ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DU DRAC AVAL	145
7.3.1.	Analyse fréquentielle "classique" avec données historiques (SOGREAH, 1976)	145
7.3.2.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SPEED (ARTELIA, 2013)	146
7.3.3.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (EDF, 2014 ANNEXE 1) 151	
7.3.4.	Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SCHADEX (EDF, 2014)	152
7.4.	ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DES AUTRES AFFLUENTS	156
7.5.	ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DE L'ISERE	157

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Extrait d'un croquis de profil en travers du Drac (Bouchayer, 1925)	14
Figure 2. Hydrogrammes de référence pour la crue du Drac dans le cadre du PPRi (en traits plein). Sans décalage des crues du Drac amont et de la Romanche. La condition aval de la crue de l'Isère correspondant à une crue décennale (trait tillé).....	16
Figure 3. Analyse hydrologique & hydraulique.....	18
Figure 4. Contexte hydrographique du bassin versant du Drac	22
Figure 5 : Altitude et valeur moyenne du cumul annuel moyen des précipitations calculé sur le bassin versant du Drac à Fontaine sur la période 1959-2010 (EDF, 2013)	23
Figure 6 : Normales pluviométriques sur le bassin du Drac à Fontaine	24
Figure 7 : Répartition saisonnière des températures et des cumuls mensuels moyens des pluies (EDF, 2013)	25
Figure 8 : Gradex mensuels des pluies (ajustement par somme de deux exponentielles) à Fontaine sur la période 1959-2010) (EDF, 2013).....	25
Figure 9 : Cumuls quotidiens décennaux de précipitation sur le bassin du Drac (Clouet, 2011).....	26
Figure 10 : MNT des bassins du Drac et de la Romanche et courbes hypsométriques (données d'altitude issues de la base de données IGN (BDTopo®).	27
Figure 11 : Occupation des sols pour les bassins du Drac et de la Romanche (d'après les données Corine Land Cover de 2000).	28

Figure 12 : Principales caractéristiques des grand barrages sur le bassin versant du Drac à Fontaine (source des données : http://www.barrages-cfbr.eu/-Rhone-Alpes-.html).....	29
Figure 13. Comparaison des régimes naturels (débit moyen mensuel normé) sur la période commune (1984-2001) aux 3 stations de référence (données issues de la BANQUEHYDRO)	36
Figure 14. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station de la Romanche à Champeau (période de 1951-2014)	37
Figure 15. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station du Drac à Fontaine (période de 1984-2014)	37
Figure 16. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 (en %).....	39
Figure 17. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 en termes de débits moyens journaliers (en m ³ /s)	39
Figure 18. Distribution des 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 par type de temps (en m ³ /s) - (d'après données issues de EDF, 2014)	40
Figure 19. Distribution des 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 par type de temps (en m ³ /s) - (d'après données issues de EDF, 2016)	40
Figure 20. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observés sur le Drac à Monteynard (d'après EDF, 2016)	42
Figure 21. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observés sur le Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014).....	42
Figure 22. Ajustement ancien des débits du Drac à Grenoble selon une loi de Gumbel (SOGREAH, 1976)	47
Figure 23. Distribution des débits moyens 24 heures non centrés à Fontaine consécutifs à une pluie centrale d'épisode (EDF, 2014)	47
Figure 24. Atténuation de l'hydrogramme de crue dans la plaine du Bourg d'Oisans (d'après DDT, 2012)	50
Figure 25. Hydrogrammes de Crue à Notre Dame de Commiers (d'après BURGEAP, 2006)	51
Figure 26. Hydrogrammes centennaux de la Romanche et du Drac (d'après SOGREAH, 2011a).....	51
Figure 27. Hydrogramme de référence à Monteynard établi à partir d'une sélection de 98 événements observés sur 15 stations hydrométriques de fonctionnement hydrologique proche. En vert l'hydrogramme de référence est proposé (hydrogramme centré normé) (EDF, 2016).	52
Figure 28. Comparaison des hydrogrammes de référence (centré normé)	53
Figure 29. Hydrogrammes de référence d'une crue centennale pour les 2 affluents avals du Drac considérés dans le PPRi (Gresse, Lavanchon)	54
Figure 30. Hydrogrammes en amont et en aval de la zone d'étude pour les différentes crues de projet (EGIS, 2014).....	55
Figure 31. Hydrogrammes dans le lit mineur de l'Isère au droit des CIC (casiers d'inondation contrôlés) pour une crue trentennale à l'état projet (EGIS, 2014).....	55
Figure 32. Hydrogrammes caractéristiques du Drac à Claix (ARTELIA, 2013).....	56
Figure 33. Hydrogramme de référence d'une crue millénaire du Drac à Fontaine (EDF, 2014).....	57

Figure 34. Le cours ancien du Drac (source : Blanic, 1974)	59
Figure 35. Etat des travaux réalisés le long du Drac, par Jean Verduc – 1718 - ANNEXE II-40 (Cœur, 2003)	59
Figure 36. Changements du style fluvial du Drac entre 1948 et 1992 (Peiry et Nougier, 1994)	60
Figure 37. Crue du 30-31 mai 1957 (Gentil, 1857) - Commentaires SPC (2017).....	64
Figure 38. Crue d'Octobre 1928 (Pardé, 1929- page 369)	65
Figure 39. Crue du 15-16 septembre 1940 (Pardé, 1941)	66
Figure 40. Hydrogrammes de référence pour la crue du Drac dans le cadre du PPRi (en traits plein). Sans décalage des crues du Drac amont et de la Romanche. La condition aval de la crue de l'Isère correspondant à une crue décennale (trait tillé).....	69
Figure 41. Principales crues du Drac et de l'Isère dans la plaine de Grenoble (1600-1950) (D'après Cœur, 2008)	81
Figure 42. Evolution des débits mensuels naturels du Drac au Sautet et à Avignonet sur la période 1920-1954 avant les grands aménagements de Monteynard et de Saint Georges de Commiers (données issues de l'annuaire hydrologique numérisé de la SHF, 1954).	106
Figure 43. Evolution des débits mensuels naturels de la Romanche à Riouperoux avant les grands aménagements sur l'Eau d'Olle (données issues de l'annuaire hydrologique numérisé de la SHF, 1954).	106
Figure 44. Régime des débits (désinfluencé) du Drac au Monteynard (EDF, 2016). Les croix vertes représentent les années pour lesquelles les valeurs de débits dépassent le débit journalier moyen mensuel de temps de retour 10 ans.	107
Figure 45. Régime des débits (désinfluencé) du Drac à Fontaine (EDF, 2013). Les croix vertes représentent les années pour lesquelles les valeurs de débits dépassent le débit journalier moyen mensuel de temps de retour 10 ans.	108
Figure 46. Comparaison des régimes naturels (débit moyen mensuel normé) sur la période commune (1984-2001) aux 3 stations de référence (données issues de la BANQUEHYDRO).....	108
Figure 47. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station du Drac au Sautet (période de 1969-2002)	109
Figure 48. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station de la Romanche à Champeau (période de 1951-2014)	109
Figure 49. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station du Drac à Fontaine (période de 1984-2014)	110
Figure 50. Hydrogrammes des crues remarquables à pas de temps journaliers mesurés aux 3 stations hydrométriques étudiées sur la période 1983-2014 (données issues de la BANQUE HYDRO).....	111
Figure 51. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 (en % d'occurrence).....	112
Figure 52. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 en termes de débits moyens journaliers (en m ³ /s)	112
Figure 53. Exemple de crue de printemps. * Pluie spatiale définie à Fontaine (calculée par EDF, 2011) -** Cartes pluviométriques issues du site de MétéoFrance "Pluies extrêmes en France métropolitaine".	113

Figure 54. Exemple de crue d'Automne. * Pluie spatiale définie à Fontaine (calculée par EDF, 2011) - ** Cartes pluviométriques issues du site de MétéoFrance "Pluies extrêmes en France métropolitaine".....	115
Figure 55. Distribution des 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 par type de temps (en %) - (d'après données issues de EDF, 2014).....	117
Figure 56. Distribution mensuelle des cumul maximal sur l'épisode des précipitations sur 5 jours pour les 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2010 (en mm) - (d'après données issues de EDF, 2014)).....	117
Figure 57. Débit moyen journalier influencé maximal des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 vs Débit moyen journalier influencé maximal à +/- 3 jours de la Romanche à Champeau.....	118
Figure 58. Fréquence théoriques des débits moyens journaliers influencés maximal (QMJ) des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 en %).....	118
Figure 59. Distribution des 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 par type de temps (en %) - (d'après données issues de EDF, 2016)	120
Figure 60. Distribution mensuelle des cumul maximal sur l'épisode des précipitations sur 5 jours pour les 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 (en mm) - (d'après données issues de EDF, 2016)).....	120
Figure 61. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observés sur le Drac à Monteynard (d'après EDF, 2016)	122
Figure 62. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observés sur le Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014).....	123
Figure 63. Focus sur les 4 crues les plus remarquables du Drac à Fontaine en terme de débit journalier "naturel". Les hydrogrammes sont issus des données de débits journaliers mesurés (BANQUE HYDRO).....	125
Figure 64. Laminage de la crue de projet (disponibilité de l'ensemble des évacuateurs de crue)	126
Figure 65. Atténuation de l'hydrogramme de crue dans la plaine du Bourg d'Oisans (d'après DDT, 2012)	133
Figure 66. Comparaison des hydrogrammes des aléas de référence de 2006 et 2010 pour la Romanche (aval à Séchilienne). L'Hydrogramme de référence du PPRI Romanche aval à Séchilienne (aval des Ruines) avec débit de pointe $Q_p=600 \text{ m}^3/\text{s}$ est en rouge (d'après DDT, 2012).....	134
Figure 67. Comparaison des hydrogrammes de la Romanche à la confluence avec le Drac avant et après aménagements à Vizille (décalage de 6h40 entre la pointe de crue du Drac et celle de la Romanche) (d'après SOGREAH, 2011b).....	135
Figure 68. Extrapolation Gradex des débits au barrage de Monteynard (d'après EDF, 2016 - ANNEXE 1).....	137
Figure 69. Gradex mensuels des pluies au barrage de Monteynard sur la période (1959-2013) - (EDF, 2016)	139
Figure 70. Distribution MEWP des pluies centrales de la pluie spatiale au barrage de Monteynard (1959-2013)	140
Figure 71. Distribution des débits moyens 24 heures non centrés au barrage de MONTEYNARD consécutifs à une pluie centrale d'épisode.....	141

Figure 72. Diagramme de la méthode Schadx (Garavaglia, 2011)	142
Figure 73. Huit lois exponentielles simples calées sur les huit sous-échantillons par types de temps de la saison 1 (Déc- Août) et saison 2 (Sep- Nov). Pluviomètre de Saint-Étienne-en-Dévoluy, période 1953-2005. L'aire grisée représente l'intervalle de confiance bootstrap à 90%, calculé à l'aide de la méthode Bootstrap. Les flèches schématisent la direction du flux atmosphérique de basse couche de chaque type de temps.	143
Figure 74. a) Distribution MEWP de la saison 1 (Déc-Août) b) Distribution MEWP de la saison 2 (Déc-Août). c) Distribution composite globale. L'aire grisée représente l'intervalle de confiance 90%. Pluviomètre de Saint-Étienne-en-Dévoluy, période 1953-2005. L'aire grisée représente l'intervalle de confiance à 90%.	143
Figure 75. Définition graphique du coefficient de forme centré K_c (a)et non centré K_{nc} (b).....	145
Figure 76. Ajustement ancien des débits du Drac à Grenoble selon une loi de Gumbel (SOGREAH, 1976)	146
Figure 77. Analyse des pluies selon une loi de Gumbel (ARTELIA, 2013).....	147
Figure 78. Ajustement des débits réduits du Drac à Fontaine (ARTELIA, 2013) sur la période 1928-2008 (40 débits maximaux annuels). Les crues historiques son représentées par des ronds.....	148
Figure 79. Illustrations des relations de la méthode SPEED sur un diagramme de Gumbel (d'après ARTELIA, 2013)	150
Figure 80. Illustrations des relations de la méthode SPEED sur un graphique de corrélations equifréquence (d'après ARTELIA, 2013).....	150
Figure 81. Extrapolation Gradex des débits du Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014 - ANNEXE 1)...	151
Figure 82. Gradex mensuels des pluies à Fontaine sur la période (1959-2010) - (EDF, 2014).....	153
Figure 83. Distribution MEWP des pluies centrales de la pluie spatiale à Fontaine (1959-2010)	154
Figure 84. Distribution des débits moyens 24 heures non centrés à Fontaine consécutifs à une pluie centrale d'épisode	155

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Synthèse des informations retenues pour la crue du Drac du 30 mai 1856 (de l'amont vers l'aval).....	14
Tableau 2. Synthèse du scénario validé (de l'amont vers l'aval) lors du comité scientifique du 14 février 2017.....	15
Tableau 3 - Stations de mesure hydrométriques utilisées.....	34
Tableau 4 - Débits moyens journaliers remarquables mesurés aux 3 stations hydrométriques étudiées sur la période 1983-2014 (données issues de la BANQUE HYDRO).....	40
Tableau 5 - Débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine (EDF, 2014) et à Monteynard (EDF, 2016)	42
Tableau 6. Débits caractéristiques de crues de la Romanche	44
Tableau 7. Inventaire des données de débit disponibles sur le bassin versant du Drac à Monteynard (EDF, 2014).....	45
Tableau 8. Débits fréquentiels du Drac à Monteynard / Notre Dame de Commiers	45
Tableau 9. Débits fréquentiels du Drac à Fontaine	46
Tableau 10. Débits fréquentiels (en m ³ /s) de l'Isère dans la traversée de Grenoble (d'après EGIS, 2014)	48
Tableau 11. Débits fréquentiels des affluents du Drac à Grenoble	48
Tableau 12. Débits fréquentiels des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche (d'après SOGREAH, 1999)	54
Tableau 13. Synthèse des 5 plus fortes crues historiques estimées sur le périmètre du PPRi Drac aval (de l'amont vers l'aval) avec indication de la crue de l'Isère.	61
Tableau 14. Synthèse des analyses statistiques des débits de crues réalisées sur le périmètre du PPRi Drac aval (de l'amont vers l'aval) - en gras les estimations de crues centennales retenues.	67
Tableau 15. Les plus fortes crues historiques estimées sur le périmètre du PPRi Drac aval (de l'amont vers l'aval)	82
Tableau 16. Origine des crues les plus remarquables sur le Drac et la Romanche.....	95
Tableau 17. Débit de l'Isère pour les plus fortes crues historiques du Drac sur le périmètre du PPRi Drac aval	98
Tableau 18 – Liste des stations de mesures hydrométriques (en service ou arrêtées) sur le bassin versant du Drac	103
Tableau 19 - Stations de mesure hydrométriques utilisées.....	104
Tableau 20 - Périodes communes sur les 3 stations étudiées	104
Tableau 21 - Débits moyens journaliers remarquables mesurés aux 3 stations hydrométriques étudiées sur la période 1983-2014 (données issues de la BANQUE HYDRO).....	111
Tableau 22 - Débits moyens journaliers remarquables mesurés à Monteynard sur la période 1969-2012 et aux 3 stations hydrométriques étudiées	119
Tableau 23 - Récapitulatif des 10 plus fortes crues en volume observées au MONTEYNARD sur la période 1969 - 2012 (EDF, 2016).....	121

Tableau 24 - Récapitulatif des 11 plus fortes crues en pointe observées à FONTAINE sur la période 1983-2010 (EDF, 2014).....	121
Tableau 25 - Débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine (EDF, 2014). Les rangs r des crues sont également indiqués.....	122
Tableau 26. Débits fréquents de la Romanche (d'après HYDRETUDES, 2008 dont annexe 5 de P. Lefort).....	130
Tableau 27. Débits fréquents de la Romanche à la confluence (d'après SOGREAH, 1999).....	131
Tableau 28. Débits centennaux de la Romanche (données issues du PPRI Romanche aval - DDT, 2012).....	133
Tableau 29. Débits fréquents du Drac (d'après SOGREAH, 1999).....	136
Tableau 30. Débits fréquents du Drac à Notre Dame de Commiers (d'après EDF, 1980 cité par BURGEAP, 2006).....	136
Tableau 31. Débits fréquents du Drac à Monteynard (d'après EDF, 2016 - ANNEXE 1).....	137
Tableau 32. Inventaire des données de débit disponibles sur le bassin versant du Drac à Monteynard	138
Tableau 33. Débits fréquents du Drac à Monteynard (d'après EDF, 2016).....	141
Tableau 34. Les crues caractéristiques du Drac dans la traversée de Grenoble (d'après SOGREAH, 1976 cité par ARTELIA, 2013).....	146
Tableau 35. Pluie journalière moyenne sur le bassin versant du Drac (d'après ARTELIA, 2013).....	147
Tableau 36. Caractéristique des stations limnimétriques jugés "naturel" (d'après ARTELIA, 2013) .	147
Tableau 37. Débits réduits et débits caractéristiques du Drac aval (ARTELIA, 2013).....	148
Tableau 38. Débits fréquents du Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014- ANNEXE 1).....	152
Tableau 39. Inventaire des données de débit disponibles sur le bassin versant du Drac à Fontaine.	152
Tableau 40. Valeurs des pluies centrales au temps de retour remarquables à Fontaine (Ajustement issu de la recomposition des 4 ajustements saisonniers) - EDF (2014)	155
Tableau 41. Débits fréquents du Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014).....	156
Tableau 42. Débits fréquents des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche (d'après SOGREAH, 1999)	156
Tableau 43. Pluies journalières maximales : Gradex saisonniers (d'après CIDEE, 2007)	157
Tableau 44. Débits fréquents des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche (d'après CIDEE, 2007)	157
Tableau 45. Débits fréquents de l'Isère dans la traversée de Grenoble (d'après EGIS, 2014)	158

o. RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE

o.1. ARTICULATION DE L'ETUDE

Pour réaliser la cartographie de l'aléa d'inondation par débordement de la partie du Drac comprise entre le pont de la Rivoire et sa confluence avec l'Isère, le service sécurité et risques de la direction départementale des territoires de l'Isère (DDT38/SSR) a mandaté deux bureaux d'étude spécialisés (HYDRETUDES et INGEROP).

La modélisation puis la construction des cartes d'aléa inondation conformément aux principes d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI) a pour objet d'établir le degré d'exposition d'une zone aux inondations, par l'étude de ses différents paramètres (fréquence, hauteur, vitesse...). Elle nécessite deux étapes : 1/ la définition de l'événement de crue de référence à retenir pour l'aléa et 2/ la modélisation (puis la cartographie) des écoulements de crue et des débordements.

La qualification des aléas des crues du Drac comprend ainsi 2 niveaux d'intervention pour 2 échelles :



- Le **bassin versant du Drac** (env. 3600 km²) pour l'aspect Hydrologique de l'étude. Intervention d'HYDRETUDES.
- Les **zones de débordements potentiels du Drac** du seuil du Pont de la Rivoire (commune de Vif) jusqu'à sa confluence avec l'Isère (commune de Grenoble). Intervention d'INGEROP.



o.2. OBJECTIF ET DEMARCHE ADOPTEE

L'objet de la présente étude réalisée par le bureau HYDRETUDES est ainsi de fournir à la Direction Départementale des Territoires de l'Isère (DDT38), les éléments techniques relatifs à la **détermination de la crue de référence du Drac** qui sera utilisée pour la définition de l'aléa inondation dans les modélisations hydrauliques du Pont de la Rivoire à la confluence avec l'Isère conformément aux principes d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI).

Cet événement de référence est défini selon les principes nationaux, comme la crue historique la plus importante connue ou une crue centennale modélisée si cette dernière est supérieure.

Il s'agissait ainsi de répondre aux différentes questions essentielles suivantes :

- Existe-t-il des crues historiques plus fortes que la crue centennale ? Sont-elles suffisamment documentées pour servir d'événement de référence ?
- Quel scénario de référence (hydrogrammes) faut-il injecter dans les modélisations hydrauliques pour respecter la crue de référence du Drac de l'amont à l'aval ?

La méthode adoptée dans l'étude hydrologique repose sur les étapes suivantes :

1. **Analyse du fonctionnement global du bassin versant du Drac.**
2. **Repérage des plus fortes crues connues** à partir des données sur les crues disponibles sur le Drac (archives historiques ; rapports techniques ; données hydrométriques anciennes et modernes ...).
3. **Estimation des pointes de crues pour différentes périodes de retour¹** à partir des analyses statistiques, issues d'études antérieures, des crues extrêmes du Drac (amont et aval), de la Romanche et de l'Isère.
4. **Approximation de la période de retour des événements passés.** Vérifier si l'extrapolation des débits observés aux stations de mesures (par une des méthodes décrite et utilisée dans les études sur le Drac) est en accord avec la distribution des crues historiques.
5. **Choix de la crue de référence.** Il s'agit à ce stade de définir « la plus forte crue connue » et de lui associer un temps de retour. Si celle-ci est plus faible qu'une crue centennale il est alors nécessaire de déterminer la crue de référence centennale. Si une crue centennale s'est déjà produite, notamment dans un passé lointain ; elle doit être suffisamment documentée pour servir d'événement de référence.
6. **Choix des hydrogrammes de référence** à injecter dans le modèle hydraulique. La forme des hydrogrammes de crue sur le Drac, la Romanche et l'Isère sont issus des études antérieures.
7. **Proposition d'un scénario de référence** qui représente de manière cohérente l'événement de référence depuis l'amont vers l'aval. C'est à ce stade que les hypothèses de concomitance de crues (Drac/Romanche et Drac/Isère), de la prise en compte des apports des affluents sur le bassin versant intermédiaire et du rôle des barrages ont été abordées.

Cette démarche puis le scénario de référence qui a été au final choisi ont été validés au cours de 3 comités scientifiques réunissant un panel d'experts : les 23 juin 2016, 21 novembre 2016 et 14 février 2017.

0.3. SCENARIO CHOISI POUR LA CRUE DE REFERENCE DU DRAC

0.3.1. CRUE DE MAI 1856 : CRUE LA PLUS REMARQUABLE DU DRAC SUR LE PERIMETRE DU PPRI

L'analyse des données anciennes (e.g. Gentil, 1857 ; Pardé, 1925 a et b ; Bouchayer, 1925 ; Pardé, 1929, Pardé, 1941, Pardé 1942) et modernes (données hydrométriques) montrent qu'il faut rechercher la crue la plus remarquable du Drac (en amont et en aval de la confluence avec la Romanche) dans les données anciennes.

C'est la **crue historique de 1856** qui a au final été retenue comme la crue de référence du PPRI du Drac aval avec un débit historique estimé de l'ordre de 1800 m³/s à Fontaine. En effet, c'est la plus forte crue connue, plus que centennale, présentant des estimations de débit de pointe dans la traversée de Grenoble.

Cette crue est relativement bien documentée pour l'époque, suffisamment pour avoir quelques éléments « opérationnels » avec des estimations des débits de pointe proches des estimations de la

¹ La période de retour est l'intervalle de temps moyen séparant deux événements au moins aussi fort que celui pris comme référence. Elle permet de calculer la probabilité qu'un tel événement survienne au cours d'une année particulière. Par exemple dire qu'un événement a une période de retour de 100 ans signifie que l'on a théoriquement une chance sur 100 qu'un événement au moins aussi fort se produise au cours de l'année à venir.

crue centennale. De plus, le fait que les digues aient résistées sur le Drac dans la traversée de l'agglomération lors de la crue est un gage de robustesse des estimations de débits sur Fontaine.

D'après la Revue de géographie alpine de 1925, Bouchayer (p 614), indique que la crue de 1856 a effectivement constituée un sérieux avertissement pour la population et les pouvoirs publics. Les digues ont ainsi été relevées, entre 1871 et 1878, à un mètre au dessus de la crête de la contre-digue. Le schéma ci-dessous montre à titre d'illustration la ligne d'eau de la crue du Drac suivant la direction du cours Berriat.

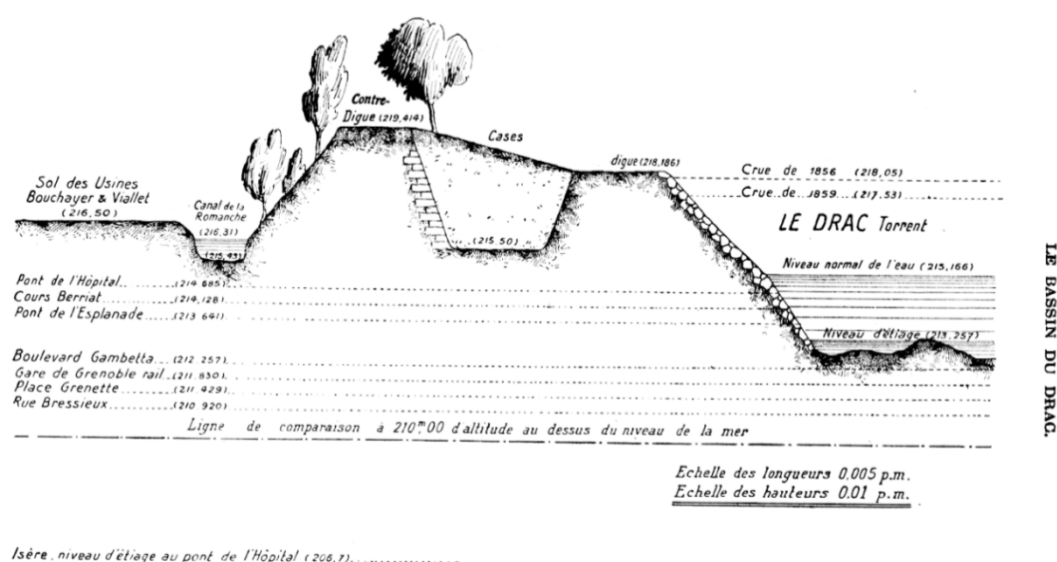


Fig. 58.
Profil en travers du Drac suivant la direction du cours Berriat et donnant les diverses cotes de la ville de Grenoble.

Figure 1. Extrait d'un croquis de profil en travers du Drac (Bouchayer, 1925)

Les informations recueillies dans les archives puis retenues pour la crue historique de 1856 sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 1. Synthèse des informations retenues pour la crue du Drac du 30 mai 1856 (de l'amont vers l'aval)

	Romanche à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Bassin intermédiaire (Gresse)	Drac à Grenoble	Isère à Grenoble
Estimation des débits de pointe	550 m ³ /s (vers Vizille)	1200 m ³ /s (Drac au pont de la Rivoire)	60 m ³ /s (au maximum de la crue du Drac)	1835 m ³ /s (à Fontaine)	940-1045 m ³ /s (au maximum de la crue du Drac)
Temps de retour	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre décennale	légèrement plus que centennale	Ordre décennale

Au regard des incertitudes d'au moins 10 % sur les débits de pointe, le débit historique de 1835 m³/s a été arrondi à la centaine la plus proche, à savoir 1800 m³/s dans la traversée de Grenoble, ce qui permet d'être cohérent avec la crue centennale et avec les chiffres historiquement pris sur le Drac. Ce point a été validé lors du comité scientifique du 14 février 2017.

0.3.2. SCENARIO DE REFERENCE

Le scénario proposé, validé par le comité d'expert le 14 février 2017, est ainsi bâti sur la crue historique de mai 1856 arrondi à 1800 m³/s. Il est basé sur les hypothèses suivantes :

- Une **crue d'ordre centennale sur le Drac amont** (seuil de la Rivoire - en amont de l'embouchure de la Romanche) :
 - o Débit de pointe de 1200 m³/s ;
 - o Hydrogramme normé de référence Q100 issu de l'étude SCHADEX de EDF 2016.
- Une **crue d'ordre centennale sur la Romanche** :
 - o Débit de pointe de 550 m³/s ;
 - o Hydrogramme normé de référence Q100 issu du PPRi Romanche Aval.
- Une **concomitance entre les deux crues du Drac et de la Romanche**. Le choix de n'appliquer aucun décalage est lié en partie au fait que l'amortissement important de l'hydrogramme de référence sur la Romanche produit des débits forts pendant plusieurs heures. L'analyse des crues historiques, et celle de mai 1856, confirme ce scénario.
- **Pour les apports des affluents sur le bassin versant intermédiaire**, seuls les apports de la Gresse peuvent jouer sur l'intensité du pic de crue (contrairement au Lavanchon et à la Bouttonnière du fait de la taille des bassins et du décalage dans la chronologie des crues). Le choix s'est porté sur un hydrogramme de crue centennale de la Gresse avec un décalage de 20 h du pic de crue par rapport aux deux hydrogrammes d'entrée amont.
- Une **condition aval de la crue de l'Isère correspondant à une crue décennale** :
 - o Débit de pointe de 980 m³/s ;
 - o Débit constant pendant la crue.
- **Des retenues de barrages remplies ne laminent pas la crue sur le Drac Amont**. En effet la doctrine PPRi et le mode de gestion des grands barrages présents sur le bassin versant prévoient la transparence des retenues en cas de crue (le débit entrant est égal au débit sortant). Par ailleurs l'analyse des crues passées les plus importantes ne permet pas de conclure sur une influence systématique des aménagements présents en amont de Fontaine.

Tableau 2. Synthèse du scénario validé (de l'amont vers l'aval) lors du comité scientifique du 14 février 2017.

	Romanche à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Bassin intermédiaire (Gresse)	Drac à Fontaine	Isère à Grenoble
Estimation des débits de pointe	550 m ³ /s	1200 m ³ /s	200 m ³ /s	1800 m ³ /s	980 m ³ /s
Temps de retour	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre décennale
Décalage de la pointe de crue	0	0	20 h d'avance	-	-
Hydrogramme	PPRi (approuvé en 2012)	EDF (2016)	HYDRETUDES (2017)	Résultat des modélisations hydrauliques	Débit constant lors de la crue

Le graphique ci-dessous, représente les différents hydrogrammes du scenario de référence de la crue du Drac qui ont été injecté dans le modèle hydraulique.

L'hydrogramme à Fontaine, représenté dans la figure suivante à titre informatif, est l'hydrogramme "hydrologique" (issu de la modélisation hydrologique) ; il peut être différent de l'hydrogramme issu de la modélisation hydraulique tenant compte des injections amont (Drac, Romanche...), des débordements éventuels et de la propagation des écoulements dans le cours d'eau.

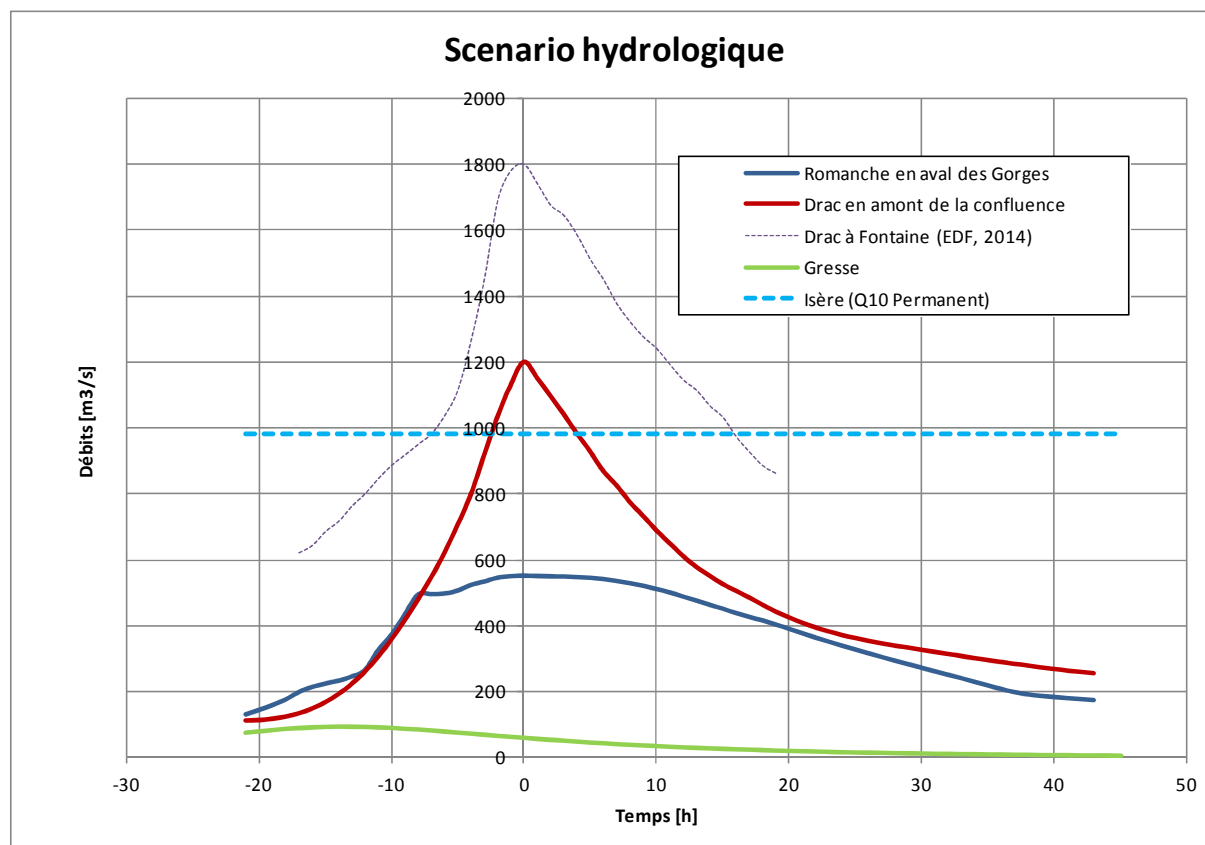


Figure 2. Hydrogrammes de référence pour la crue du Drac dans le cadre du PPRi (en traits plein). Sans décalage des crues du Drac amont et de la Romanche. La condition aval de la crue de l'Isère correspondant à une crue décennale (trait tillé).

Ainsi, sur le linéaire du Drac du pont de la Rivoire à la confluence avec l'Isère, l'aléa correspond au scenario de la crue du 30 mai 1856 modélisée dans les conditions actuelles d'écoulement.

1. CONTEXTE DE L'ETUDE ET DEMARCHE ADOPTEE

Les cartographies des risques d'inondations par le Drac sur le territoire à risque important d'inondation (TRI) Grenoble-Voirion arrêtées par le Préfet coordinateur de bassin Rhône-Méditerranée le 20 décembre 2013 ont apporté de nouveaux éléments de connaissance sur les risques d'inondation. Ces cartographies ont été élaborées sur la base des circulaires du 16 juillet 2012 et du 14 août 2013 reprenant les principes généraux d'élaboration des cartes d'aléa des PPRI.

Au vu de l'étendue des territoires potentiellement submersibles par le Drac, la direction départementale des territoires de l'Isère (DDT38) a jugé nécessaire de cartographier l'aléa inondation conformément aux principes d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI). Cette cartographie des aléas servira de document de référence aux acteurs de l'aménagement du territoire (Etat, collectivités territoriales, etc.) afin de prendre en compte le risque d'inondation du Drac dans les documents de planification (SCoT, PLU, etc.), dans l'application du droit des sols (ADS) et pour tout projet d'aménagement.

Pour réaliser la cartographie de l'aléa d'inondation par débordement de la partie du Drac comprise entre le pont de la Rivoire et sa confluence avec l'Isère, le service sécurité et risques de la direction départementale des territoires de l'Isère (DDT38/SSR) a mandaté deux bureaux d'étude spécialisés (HYDRETTES et INGEROP) en 2016.

1.1. ANALYSE HYDROLOGIQUE VERSUS ANALYSE HYDRAULIQUE

La modélisation puis la construction des cartes d'aléa inondation conformément aux principes d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI) a pour objet d'établir le degré d'exposition d'une zone aux inondations, par l'étude de différents de ses paramètres (fréquence, hauteur, vitesse...). Elle nécessite deux étapes :

1. la **définition de l'événement de référence à retenir pour l'aléa**. La circulaire interministérielle du 24 janvier 1994 précise que ce dernier est « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de référence centennale, cette dernière ».

Cette première étape consiste ainsi à rechercher la crue du Drac la plus forte connue à partir des données à disposition (données historiques ou modernes) à lui attribuer un temps de retour ; et si celle-ci est plus faible qu'une crue centennale à déterminer la crue de référence centennale du Drac.

Cet aspect est lié au domaine de l'**hydrologie de surface** qui propose des outils et des méthodes qui permettent la connaissance et l'estimation des débits de crues (et leur temps de retour) pour in fine proposer soit un débit de pointe de crue, soit un hydrogramme de crue, soit encore différents scénarios de crue. Dans la pratique, le choix d'une méthode par rapport à une autre dépend essentiellement des données à disposition sur le bassin versant étudié – principalement des données de débits, facteur la plupart du temps limitant en hydrologie – et du temps accordé à l'étude hydrologique.

2. la **modélisation (puis la cartographie) des écoulements de crue et les débordements**. C'est le domaine de l'**hydraulique fluviale**. Il s'agit dans le cadre de la qualification de l'aléa inondation de simuler la propagation des écoulements au sein du réseau hydrographique (lit mineur et lit majeur) afin de reproduire au mieux les crues historiques et de simuler des crues théoriques. Ces méthodes font appel à des modèles de propagation (régime transitoire). Ils dépendent très fortement des hydrogrammes de crues injectés et de la qualité de la topographie, données de base des modèles hydrauliques.

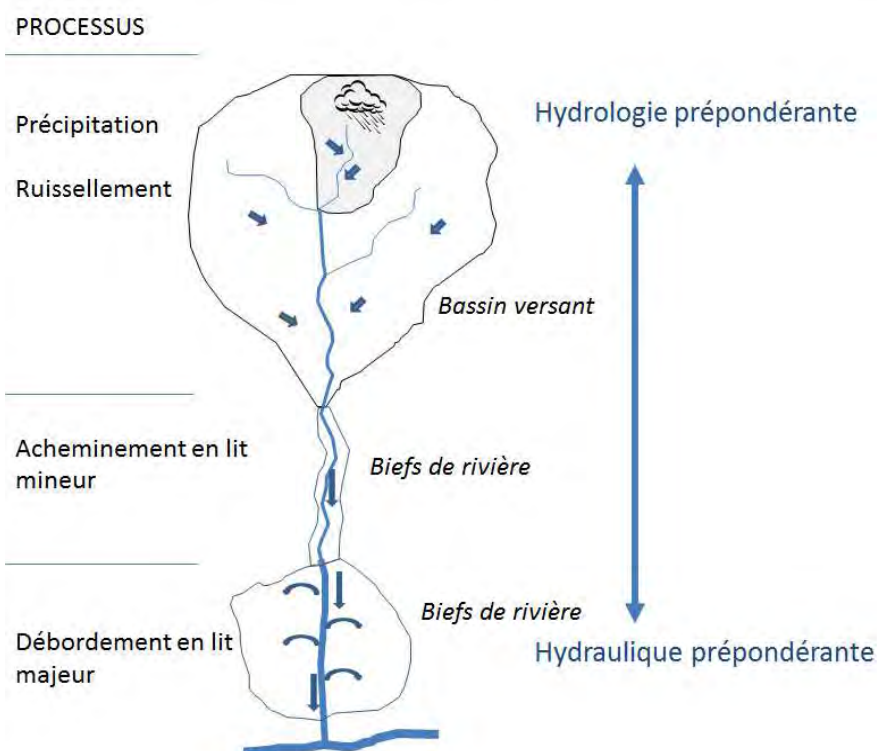


Figure 3. Analyse hydrologique & hydraulique

L'objet de la présente étude réalisée par le bureau HYDRETUDES est ainsi de fournir à la direction départementale des territoires de l'Isère (DDT38), les éléments techniques relatifs à la **détermination de la crue de référence du Drac** qui sera utilisée pour la définition de l'aléa inondation dans les modélisations hydrauliques du Pont de la Rivoire à la confluence avec l'Isère conformément aux principes d'élaboration des plans de prévention des risques d'inondation (PPRI).

1.2. QUEL SCENARIO POUR LA CRUE DE REFERENCE DU DRAC ?

La question centrale est de définir l'**événement de référence** de la crue du Drac, de l'amont vers l'aval du périmètre, qui sera pris en considération dans les modélisations hydrauliques. Il s'agit de répondre aux différentes questions essentielles suivantes :

- Existe-t-il des crues historiques plus fortes que la crue centennale ? Sont-elles suffisamment documentées pour servir d'événement de référence ?
- Quel scénario de référence (hydrogrammes) faut-il injecter dans les modélisations hydrauliques pour respecter la crue de référence du Drac de l'amont à l'aval ?

1.2.1. EXISTE-T-IL DES CRUES HISTORIQUES PLUS FORTES QUE LA CRUE CENTENNALE ?

Dans un premier temps, il s'agit d'étudier les **plus fortes crues historiques sur le Drac** de l'amont vers l'aval du périmètre et de leur attribuer une fréquence d'apparition.

Toute la difficulté de cette approche réside dans cette estimation d'une période de retour pour un événement observé donné ; en effet cela soulève différentes problématiques :

- **La précision de l'estimation de la période de retour des événements observés.** En général, l'analyse statistique des débits de crue se fait sur la base de séries de valeurs maximales, extraites de longues séries d'observations. Dans le cas idéal où la série de débits

est suffisamment longue, une analyse fréquentielle classique peut être envisagée. Le problème qui se pose alors est de savoir si l'extrapolation des ajustements pour des fréquences d'apparition rares à très rares – temps de retour de plus de 100 ans, est légitime puisque les séries de données sont rarement aussi longue. Une alternative est d'utiliser les informations pluviométriques (séries souvent plus longues et anciennes que les débits) au travers de méthodes dites « hydro-météorologiques » dont la plus connue est celle du GRADEX. La variété des méthodes est importante (voir. Lang et al., 2007 ; Hingray et al., 2009 ; Lang et al., 2014) et fortement dépendante des données d'entrées (voir encadré en annexe).

- **L'attribution d'une fréquence au seul débit de pointe.** La crue observée est rarement homogène tant du point de vue spatial que temporel et ne peut pas être caractérisée par son seul débit de pointe. Pour une crue donnée, les caractéristiques de la crue (temps de montée, durée, volume) vont avoir des temps de retour différents. Or dans la pratique, une période de retour est souvent estimée en comparant le débit de pointe de la crue aux résultats d'une analyse statistique des débits de pointes.
- La procédure de reconstitution des débits de pointes associée aux crues historiques est soumise à de nombreuses incertitudes. L'estimation du débit est généralement basée sur des données de hauteurs atteintes lors des événements (témoignages, laisses de crue, hauteurs d'eau enregistrées au droit d'une échelle hydrométrique...). Elle nécessite un travail spécifique pour critiquer les données initiales ; notamment celles disponibles sur la topographie ancienne de la rivière nécessaire à l'analyse hydraulique.
- **Les crues historiques ne rendent pas forcément compte de la crue la plus pénalisante dans le contexte actuel.** En effet :
 - les conditions d'écoulement actuelles dans le cours d'eau et le bassin versant ont pu évoluer (évolution de l'occupation du sol, aménagements de retenues, changements morphologiques, climat...). L'utilisation des crues historiques pour une analyse fréquentielle classique induit ainsi l'idée de stationnarité dans les séries de débits.
 - les crues historiques sont représentatives d'un mode de fonctionnement du bassin en crue mais pas de tous les jeux des concomitances de crues entre affluents et/ou de situations météorologiques possibles. Il est ainsi parfois nécessaire d'établir des scénarios qui ne se sont jamais produits mais qui sont probables.

1.2.2. COMMENT ETABLIR UN SCENARIO DE CRUE DE REFERENCE ?

L'estimation d'un débit caractéristique de crue est insuffisante pour l'estimation de cartes d'inondations. L'analyse hydrologique doit fournir un hydrogramme "hydrologique" de crue complet à différents points d'injection, le long du cours d'eau principal et sur certains affluents. Cet hydrogramme de référence n'est pas facile à identifier ou à construire *a priori*. De nombreuses méthodes hydrologiques existent (e.g. Lang et al., 2007 ; Hingray et al., 2009 ; Lang et al., 2014).

Quelque soit la méthode utilisée pour constituer des hydrogrammes de crues de référence, il est indispensable de vérifier (Lang et al., 2007) :

- La cohérence de la forme de crue, avec les plus fortes crues connues ;
- L'effet éventuel de concomitance de crue entre affluents et cours d'eau principaux qui pourrait induire une dérive en fréquence vers l'aval.
- Les phénomènes de concomitance ou non des crues de la Romanche (et donc ses apports intermédiaires) et celles des autres affluents tout au long du linéaire d'étude (32 km) liés aux

caractéristiques physiques propres de chaque sous-bassins versants et à la chronologie du passage des perturbations ;

- les phénomènes de stockage/laminage dans les retenues liés aux caractéristiques des retenues et à leur gestion en cas de crue.

A retenir :

La méthode adoptée dans la présente étude hydrologique repose au final sur les étapes suivantes :

1. **Etude du fonctionnement global du bassin versant.**
2. **Repérage de la plus forte crue connue** à partir des données sur les crues disponibles sur le Drac (archives historiques ; rapports techniques ; données hydrométriques anciennes et modernes...). Il s'agit du socle de l'étude dont les développements sont présentés dans les annexe I et II.
3. **Estimation des pointes de crues pour différentes périodes de retour** à partir des analyses statistiques sur les débits de pointes des crues extrêmes du Drac (amont et aval), de la Romanche et de l'Isère. L'annexe III présente l'ensemble des méthodes et des estimations issues d'études antérieures.
4. **Approximation de la période de retour des événements passés.** Vérifier si l'extrapolation des débits observés aux stations de mesures (par une des méthodes décrite et utilisée dans les études sur le Drac) est en accord avec la distribution des crues historiques.
5. **Choix de la crue de référence.** Il s'agit à ce stade de définir « la plus forte crue connue » et de lui associer un temps de retour. Si celle-ci est plus faible qu'une crue centennale il est alors nécessaire de déterminer la crue de référence centennale. La crue historique doit par ailleurs être suffisamment documentée pour servir d'événement de référence.
6. **Choix des hydrogrammes de référence** à injecter dans le modèle hydraulique. La forme des hydrogrammes de crue sur le Drac, la Romanche et l'Isère sont issus des études antérieures.
7. **Proposition d'un scénario de référence** qui représente de manière cohérente l'événement de référence depuis l'amont vers l'aval ; ceci afin de rester dans le cadre de la doctrine PPRi tout au long des secteurs d'études : l'événement de référence est « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de référence centennale, cette dernière ».

C'est à ce stade que les hypothèses de concomitance de crues (Drac/Romanche et Drac/Isère), de la prise en compte des apports des affluents sur le bassin versant intermédiaire et du rôle des barrages ont été abordées.

2. CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DU DRAC

L'objectif de cette partie est de décrire le bassin versant du Drac en abordant : les caractéristiques principales du bassin versant, sa climatologie, le relief et l'occupation du sol, l'hydrographie et les perturbations anthropiques que sont les grands aménagements hydro-électriques.

2.1. BASSIN VERSANT ET RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Voir carte détaillée format A3 du bassin versant du Drac en annexe cartographique

Le Drac est un affluent rive gauche de l'Isère. D'une longueur de 130 km, il prend sa source dans le Champsaur (département des Hautes Alpes), à plus de 2500 m d'altitude, et naît de la réunion du Drac blanc (vallée de Champoléon) et du Drac Noir (vallée d'Orcières dans le massif du Mourre Froid). Il s'oriente selon un axe E/O jusqu'au barrage de Monteynard puis rejoint la vallée de l'Isère à Grenoble selon un axe S/N. La superficie de son bassin versant est importante : 3550 km². Les principaux affluents du Drac sont la Séveraisse à Saint-Firmin, la Souloise au lac du Sautet, la Bonne au sud de La Mure, l'Ébron dans le lac de Monteynard-Avignonet, la Romanche à Champ-sur-Drac et la Gresse à Varcès. Les débits à l'exutoire sont contrôlés par la station limnimétrique de Fontaine (bassin versant contrôlé de 3550 km²), située à 2 km de la confluence avec l'Isère.

Avec une superficie d'environ 1200 km², la Romanche représente un tiers du bassin, il est le principal affluent du Drac. Ce cours d'eau de 78 km de long prend sa source dans le massif des Ecrins au pied du Pic de la Chamoissière, à des altitudes supérieures à 3 000 m, et se jette après 80 km de vallée glaciaire en rive droite du Drac juste en amont de l'agglomération grenobloise, environ 16 km avant l'Isère. Les deux principaux affluents de la Romanche sont le Vénéon, et l'Eau d'Olle. La confluence avec le Drac se situe aux environs de Champ-sur-Drac.

Les débits de la Romanche sont contrôlés par la station limnimétrique de Champeau (bassin versant contrôlé de 1000 km²) située en aval de la plaine du Bourg d'Oisans (après la confluence avec l'Eau d'Olle et à 27 km en amont de la confluence avec le Drac).

Tableau 1: Superficie des bassins versant

Cours d'eau	Drac Amont	Romanche	Bassin résiduel (y compris la Gresse)	Gresse	Drac
Superficie du bassin versant	2 140 km ²	1200 km ²	260 km ²	160 km ²	3 600 km ²

Avec 260 km², le bassin résiduel en aval de la confluence avec la Romanche se limite presque exclusivement au bassin de la Gresse avec un peu moins de 160 km². Le Lavanchon et la Boutonnière sont les deux autres affluents présents sur ce secteur.

Le bassin versant du Drac présente des particularités hydrologiques propres aux bassins de montagne (cf. Figure) :

- Une **importante partie du bassin versant qui se trouve en altitude**. Les précipitations hivernales sont stockées sous forme de neige, puis participent ensuite fortement à la dynamique des cours d'eau lors de la saison de fonte estivale.
- Un **important dispositif hydroélectrique** avec de nombreux aménagements hydroélectriques sur les cours d'eau (7 grands barrages, 45 centrales). Le régime

hydrologique est complètement influencé par ces aménagements gérés par EDF, à l'exception des grandes crues.



Figure 4. Contexte hydrographique du bassin versant du Drac

2.2. REGIME DES PRECIPITATIONS

La répartition spatiale et temporelle des précipitations est un préalable à l'étude des variations de débit d'un cours d'eau, de la singularité de son régime ou de l'ampleur et la fréquence de ses crues. En effet, un des premiers facteurs expliquant les variations de débits interannuelles, les fluctuations saisonnières ou la fréquence des événements extrêmes (crues et étiages) est lié aux variations régulières ou occasionnelles de certaines composantes du climat (notamment la pluviométrie, la température...).

L'analyse et les données suivantes sont issues de différentes études dont l'étude menée par EDF-DTG en 2013 sur le Drac à Fontaine (EDF, 2013), celle de SOGREAH dans le cadre des aménagements du SYMBHI (SOGREAH, 2011 a et b) et enfin l'étude du Service de Prévision des Crues Alpes du nord qui travaille sur le bassin versant du Drac (Clouet, 2011).

2.2.1. PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES

Les précipitations moyennes annuelles, calculées pour 14 postes pluviométriques sur et à proximité du bassin versant du Drac à Fontaine sur la période commune (1959-2010), ainsi que la carte des normales pluviométriques 1971-2000 sur le bassin versant du Drac à Fontaine estimées à partir de la méthode SPAZM², sont présentées sur les figures ci-dessous (EDF, 2013). Les stations sont localisées sur la carte des normales pluviométriques. Les normales climatiques spatialisées Aurelhy³ sur les deux bassins versants sont aussi présentées ci-dessous. Les deux types de données et de cartographies sont semblables⁴ et permettent de relever les principales caractéristiques pluviométriques du bassin versant.

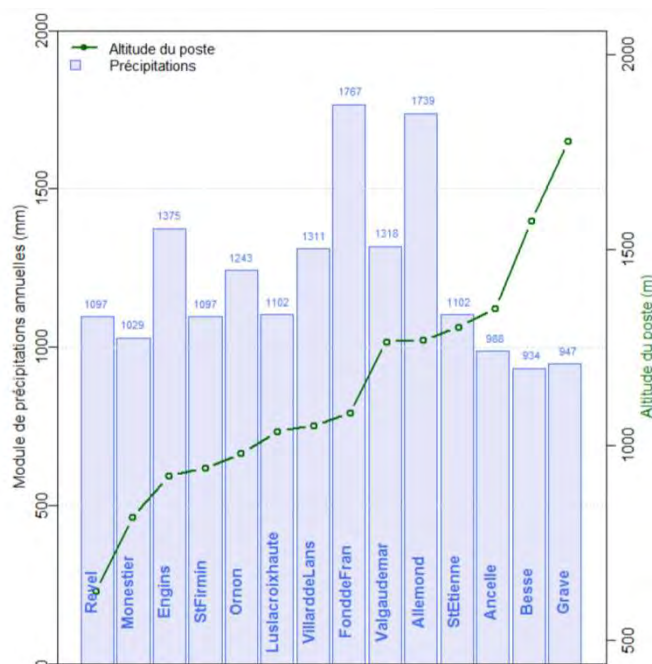


Figure 5 : Altitude et valeur moyenne du cumul annuel moyen des précipitations calculé sur le bassin versant du Drac à Fontaine sur la période 1959-2010 (EDF, 2013)

Les cumuls aux postes pluviométriques ainsi que les normales pluviométriques spatialisées du bassin du Drac à Fontaine (voir figure suivante) montrent un régime pluviométrique assez contrasté avec des fonds de vallées peu arrosés et des hauts reliefs qui reçoivent des cumuls souvent supérieurs à 1500 mm/an. La variabilité spatiale à l'intérieur du bassin et à cette échelle spatiale s'explique par (EDF, 2013) :

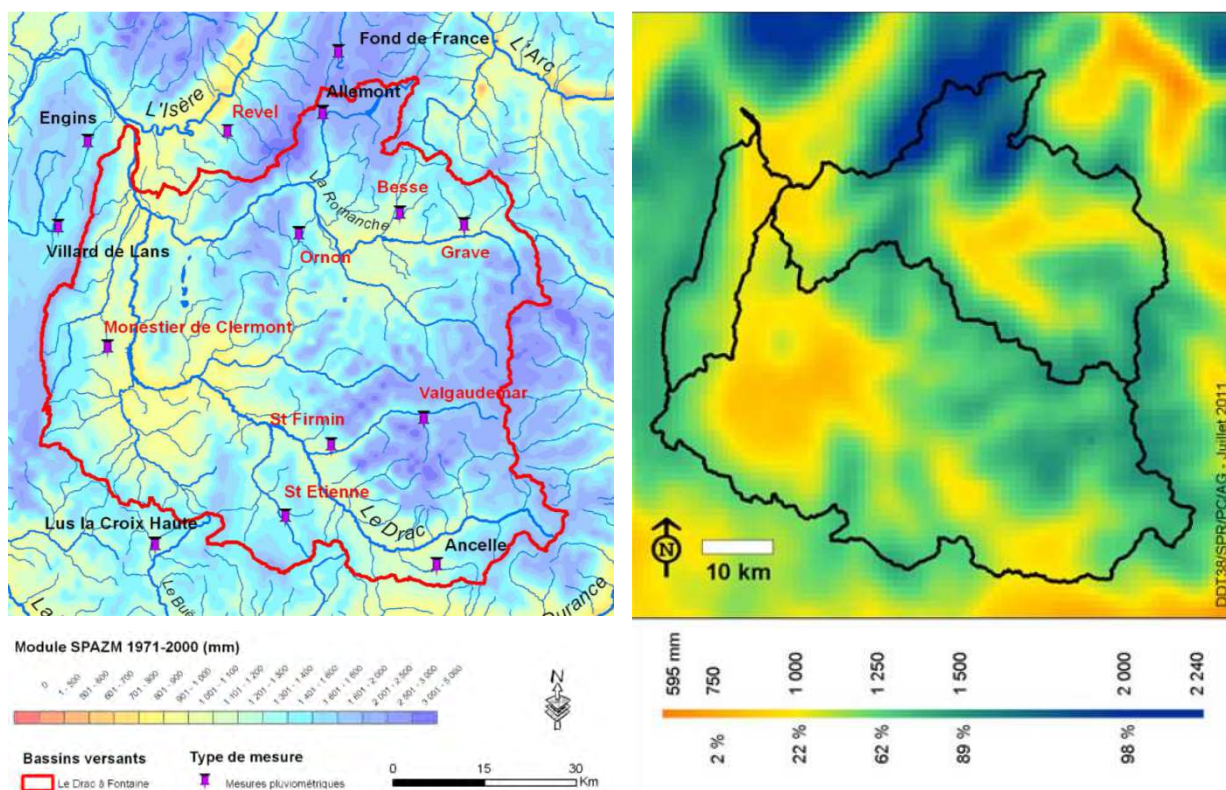
- Une influence méditerranéenne décroissante du sud au nord ;
- Une influence océanique décroissante de l'ouest vers l'est ;

² La méthode SPAZM établie dans le cadre du travail de thèse de F. GOTTARDI (2009) a permis de reconstituer des données pluviométriques dites « pluie SPAZM » au pas de temps journalier sur un maillage 1x1 km, tenant compte de l'influence des reliefs et des situations météorologiques ayant engendré ces précipitations.

³ Un autre jeu de données de normales climatiques spatialisées, à la résolution kilométrique sur la France métropolitaine, est proposé par Météo-France en R&D (Canellas et al., 2014) : la méthode AURELHY (Analyse Utilisant le RELief pour l'HYdrométéorologie).

⁴ L'objectif ici n'est pas de comparer les méthodes ni les réseaux. La spatialisation des paramètres météorologiques reste cependant un sujet de recherche, notamment aux pas de temps fins, dans les régions de montagne et avec des réseaux d'observation météorologique en perpétuelle évolution.

- Des massifs intérieurs relativement abrités (Haute Romanche) ;
- L'importance des effets locaux, notamment au voisinage des grands massifs (Écrins).



Normales pluviométriques 1971-2000 sur le bassin versant du Drac à FONTAINE – Localisation des postes Pluviométriques (EDF, 2011)

Cumul moyen annuel de précipitation (méthode de spatialisation AURELHY de Météo-France) (Clouet, 2011)

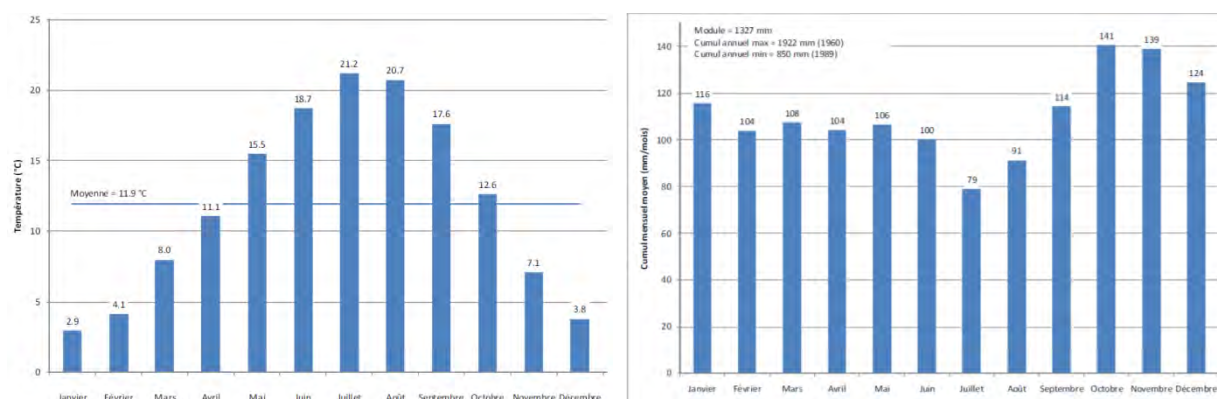
Figure 6 : Normales pluviométriques sur le bassin du Drac à Fontaine

Le sous-bassin du Drac amont est ainsi plus sensible aux flux méditerranéens que celui de la Romanche.

2.2.2. REPARTITION DES MOYENNES SAISONNIERES

La répartition des moyennes saisonnières de pluie et de températures a également été présentée par EDF (2013) sur le bassin versant du Drac à Fontaine sur la période 1959-2010. Les précipitations sont assez abondantes tout au long de l'année, et plus particulièrement en octobre et novembre. Les mois de juillet et août sont les plus déficitaires.

Pendant la saison hivernale, les précipitations ne sont généralement pas à l'origine des fortes crues puisqu'une partie est stockée sous forme de neige sur le haut du bassin versant. L'amplitude des différences saisonnières est plus importante sur le Drac que sur la Romanche générant un régime pluviométrique plus marqué sur le Drac en terme de saisonnalité (Clouet, 2011).



Température moyenne mensuelle calculée sur le bassin versant du Drac à Fontaine à 209 m d'altitude sur la période 1953-2010

Cumul mensuel moyen de la pluie spatiale calculé sur le bassin versant du Drac à Fontaine sur la période 1959-2010

Figure 7 : Répartition saisonnière des températures et des cumuls mensuels moyens des pluies (EDF, 2013)

2.2.3. SAISONNALISATION DU RISQUE PLUIE

La saisonnalisation du risque pluie a également été entreprise par EDF (2014) sur le bassin versant du Drac à Fontaine sur la période 1959-2010. Ce découpage saisonnier utilisé dans la méthode SCHADEX permet ne pas sous-estimer le risque pluviométrique lié à la forte saisonnalité du régime des précipitations (Garavaglia, 2011).

Les gradex mensuels⁵ ont été calculés par ajustement d'une loi somme de deux exponentielles de pluies, calculées avec la pluie spatiale optimisée au pas de temps de l'étude, sur la période 1959-2010. Les 3 mois de septembre octobre et novembre montrent des gradex similaires et forts : il s'agit de la saison à plus fort risque pluviométrique, c'est-à-dire les trois mois consécutifs qui maximisent la somme des gradex mensuels.

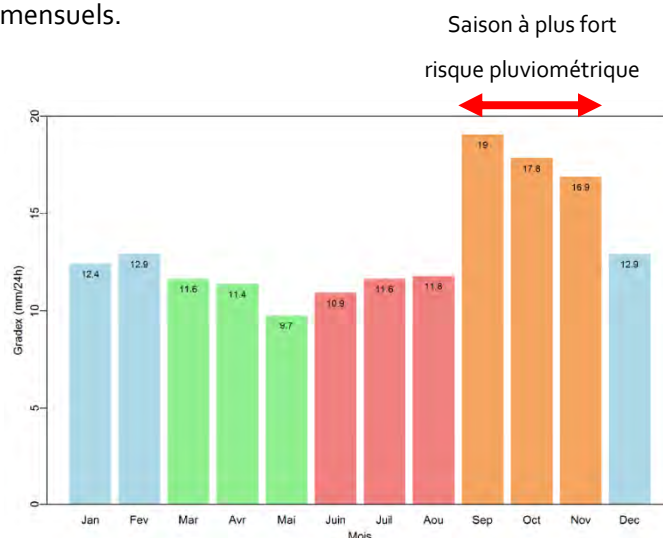


Figure 8 : Gradex mensuels des pluies (ajustement par somme de deux exponentielles) à Fontaine sur la période 1959-2010) (EDF, 2013)

⁵ GRADient de l'EXponentielle. Paramètre de la deuxième exponentielle, égale à la pente asymptotique sur un graphique de Gumbel, i.e. paramètre principal de l'aléa pluviométrique pour des distributions à décroissance exponentielle (Garavaglia, 2001). Plus le Gradex est élevé et plus l'estimation de la lame précipitée pour un même temps de retour est élevée.

2.2.4. REPARTITION SPATIALES DES PLUIES EXTREMES

La répartition des pluies extrêmes (alea pluies extrêmes) sur le bassin versant du Drac a été appréhendée par la DDT (Clouet, 2011) à partir des résultats issus de la thèse de Djerboua (2001). La figure suivante illustre, par une cartographie, les cumuls quotidiens décennaux de précipitations sur le bassin du Drac.

La répartition des pluies extrêmes comporte certaines similitudes avec les normales annuelles. Le bassin de l'Eau d'Olle reste un des bassins les plus arrosés avec des cumuls quotidiens décennaux proches de 100 mm. La Romanche amont présente des cumuls inférieurs à 80 mm. Ces valeurs peuvent en partie s'expliquer par la méthode de calcul (krigeage) et la faiblesse du réseau de pluviomètres en altitude.

Le Drac amont reste un secteur fortement arrosé, et sensible aux flux de sud, ce qui explique des cumuls supérieurs à 100 mm dans sa partie la plus septentrionale. Ces flux de sud arrivent à déborder sur la vallée du Vénéon, affluent de la Romanche. La partie Drac aval présente par contre des cumuls plus faibles.

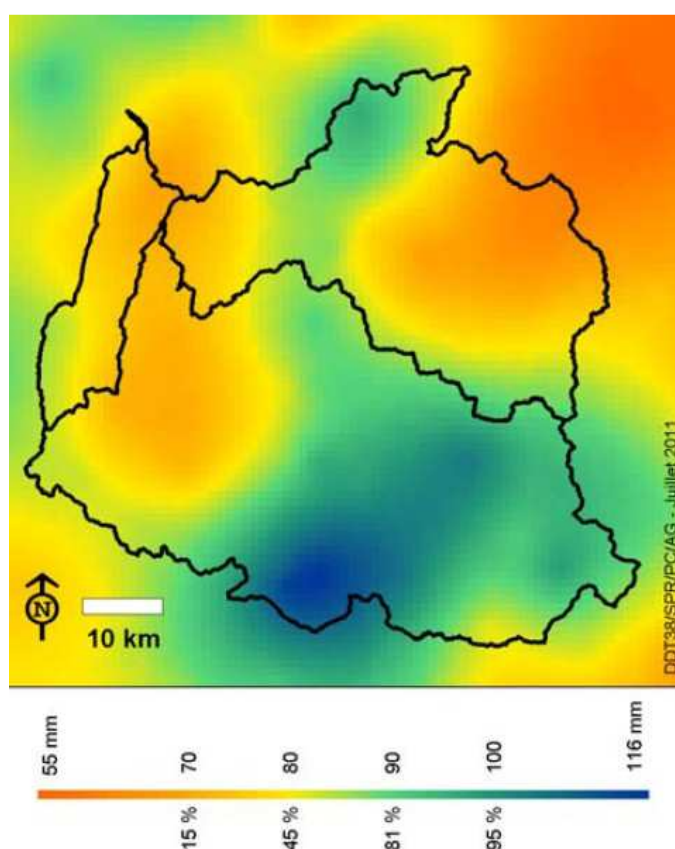


Figure 9 : Cumuls quotidiens décennaux de précipitation sur le bassin du Drac (Clouet, 2011)

A retenir :

- Les bassins versant du Drac et de la Romanche sont soumis aux deux influences des climats océanique et méditerranéen.
- Le cumul des précipitations sont importantes sur le bassin versant du Drac à Fontaine. Le cumul interannuel (1959-2010) des précipitations calculées à partir des données pluviométriques spatialisées (EDF, 2013) est de 1327 mm.
- Le régime des précipitations montre que les précipitations sont assez abondantes tout au long de l'année, et plus particulièrement en octobre et novembre. Les 3 mois de septembre octobre et novembre constituent une saison à fort risque pluviométrique.
- La répartition spatiale des cumuls de pluie à l'intérieur du bassin est assez contrastée générant un régime pluviométrique différencié entre le Drac et la Romanche en termes de saisonnalité.

2.3. HYPSONETRIE ET OCCUPATION DU SOL

La carte du relief et les courbes hypsonétriques des deux bassins du Drac (amont de la Romanche) et Romanche, présentées dans les figures suivantes, indiquent un caractère montagnard nettement plus marqué pour la Romanche. En effet l'altitude médiane sur la Romanche se situe à plus de 2 000 m contre 1400 m sur le Drac amont. La courbe du Drac se trouve presque systématiquement 500 m en dessous. A noter l'anomalie topographique sur la Romanche aux alentours de 700 m d'altitude liée à l'ancienne plaine lacustre de Bourg d'Oisans.

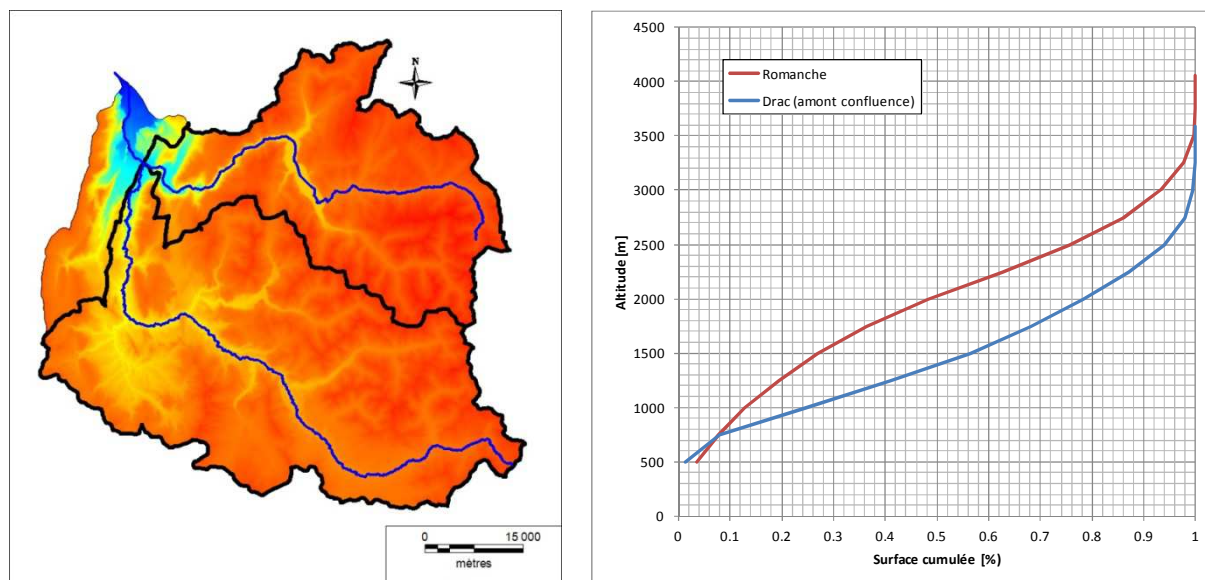


Figure 10 : MNT des bassins du Drac et de la Romanche et courbes hypsonétriques (données d'altitude issues de la base de données IGN (BDTopo®)).

Cette différence d'altitude se traduit aussi dans l'occupation des sols avec une prédominance d'espaces ouverts d'altitude (rochers, pelouses alpines, ...) dont presque 8% de zones glaciaires pour la Romanche (cf. Tableau suivant). Pour le Drac, la forêt couvre un tiers de la surface et les activités agricoles sont significatives, principalement sous forme de prairies pour l'élevage. Les espaces ouverts n'y représentent qu'un quart de la surface. Tableau 1: Synthèse de l'occupation des sols en % de surface d'après les données Corine Land Cover - 2000 (Clouet, 2011).

Nomenclature Corine Land Cover (2000)	Drac (AR) 2 093 km ²	Romanche 1 216 km ²
1. Territoires artificialisés	0.5	1.3
2. Territoires agricoles	20.1	5.2
3.1. Forêts	32.2	21.8
3.2. Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	20.7	24.6
3.3. Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation	25.6	46.3
dont 3.3.5. Glaciers et neiges éternelles	0.7	7.6
4. Zones humides + 5. Surfaces en eau	0.9	0.8

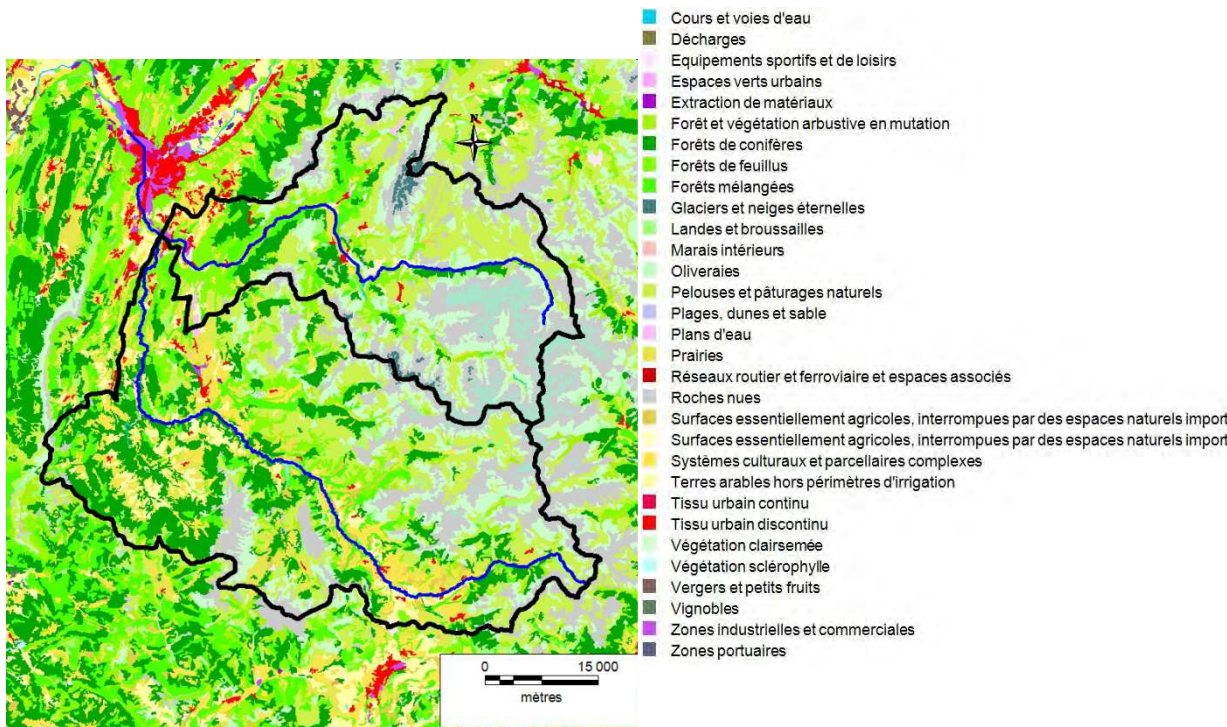


Figure 11 : Occupation des sols pour les bassins du Drac et de la Romanche (d'après les données Corine Land Cover de 2000).

A retenir :

- Le bassin versant de la Romanche présente un caractère montagnard nettement plus marqué que celui du Drac amont (0.6% de glaciers et neiges éternelles pour la Romanche, contre 0.03% pour le Drac).
- A noter l'anomalie topographique sur la Romanche aux alentours de 700 m d'altitude liée à l'ancienne plaine lacustre de Bourg d'Oisans.

2.4. GRANDS AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES

Sur l'ensemble du bassin versant du Drac et parmi les nombreux usages de l'eau, ce sont les aménagements des grands barrages hydroélectriques construits depuis le début du XXe siècle qui intéressent le plus le fonctionnement global du bassin versant. Ces aménagements hydrauliques répondent à deux critères au titre des «risques majeurs naturels et technologiques» en application du décret n°92-997 du 15 septembre 1992 : ils comportent des réservoirs d'une capacité égale ou supérieure à quinze millions de mètres cubes et la hauteur des barrages est d'au moins vingt mètres au-dessus du point le plus bas du sol naturel.

Il faut ainsi compter sur le bassin versant du Drac 7 grands barrages (répertoriés par la DREAL) :

- Le Sautet, Saint Pierre Cognet, Monteynard et Notre Dame de Commiers sur le Drac,
- Le Chambon sur la Romanche,
- Grand'Maison et le Verney sur L'eau d'Olle.

Tous ces barrages sont actuellement exploités par Electricité de France⁶. Ils représentent un volume total de retenues de l'ordre de 648 Mm³ (d'après le site du Comité Français des barrages et réservoirs, consulté le 06/06/2017). Le barrage de Monteynard est l'ouvrage le plus important créé sur le Drac avec une retenue de 309 Mm³.

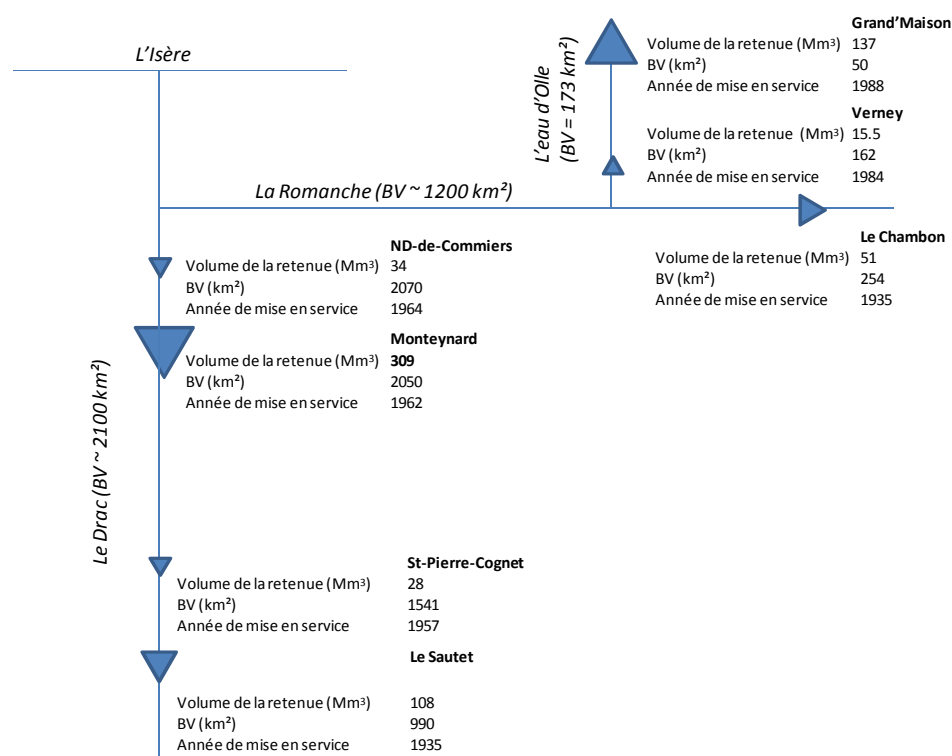


Figure 12 : Principales caractéristiques des grands barrages sur le bassin versant du Drac à Fontaine
(source des données : <http://www.barrages-cfbr.eu/-Rhône-Alpes-.html>)

⁶ Sur le Drac, les aménagements du Sautet, de Cordéac et de Saint Pierre-Cognet font partie des premières concessions remises en jeu par l'Etat en 2010 par la loi dite « Nome », qui a entérinée la libéralisation du marché de l'électricité, a imposée une remise en concurrence des contrats de concession lorsqu'ils arrivent à échéance. Les ouvrages du Drac aval – Monteynard et Notre-Dame-de-Commiers ne font pas partie du premier lot de mise en concurrence. La procédure est en cours et a pris du retard.

Les informations principales concernant les barrages sont les suivantes (elles proviennent du site du Comité Français des barrages et réservoirs, consulté le 06/06/2017) :

- **Barrage du Sautet : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 110 m

Volume de la retenue : 107 700 milliers de m³

Rivière : DRAC

Type Barrage : Poids

Longueur : 80 m

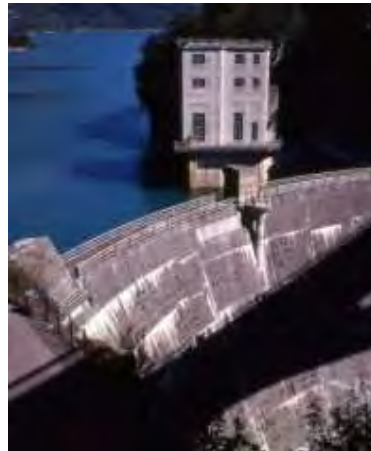
Année de mise en service : 1935

Surface de la retenue : 348 ha

Surface du bassin versant : 990 km²

Altitude de la crête : 766 m

Usage(s) : Hydroélectricité



- **Barrage de Saint Pierre Cognet : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 75 m

Volume de la retenue : 27 530 milliers de m³

Rivière : DRAC

Type Barrage : Voûte

Longueur : 130 m

Année de mise en service : 1957

Surface de la retenue : 125 ha

Surface du bassin versant : 1541 km²

Altitude de la crête : 615 m

Usage(s) : Hydroélectricité



- **Barrage de Monteynard : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 135 m

Volume de la retenue : 309 000 milliers de m³

Rivière : DRAC

Type Barrage : Voûte

Longueur : 230 m

Année de mise en service : 1962

Surface de la retenue : 660 ha

Surface du bassin versant : 2050 km²

Altitude de la crête : 494,5 m

Usage(s) : Hydroélectricité



- **Barrage de Notre-Dame de Commiers : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 40,5 m

Volume de la retenue : 34 000 milliers de m³

Rivière : DRAC

Type Barrage : Terre

Longueur : 350 m

Année de mise en service : 1964

Surface de la retenue : 165 ha

Surface du bassin versant : 2070 km²

Altitude de la crête : 367 m

Usage(s) : Hydroélectricité



- **Barrage du Chambon : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 90 m

Volume de la retenue : 50 800 milliers de m³

Rivière : ROMANCHE

Type Barrage : Poids

Longueur : 293,6 m

Année de mise en service : 1935

Surface de la retenue : 125 ha

Surface du bassin versant : 254 km²

Altitude de la crête : 1044 m

Usage(s) : Hydroélectricité



- **Barrage de Grand'Maison : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 140 m

Volume de la retenue : 137 000 milliers de m³

Rivière : Eau d'Olle

Type Barrage : Enrochements

Longueur : 550 m

Année de mise en service : 1988

Surface de la retenue : 219 ha

Surface du bassin versant : 50 km²

Altitude de la crête : 1700 m

Usage(s) : Hydroélectricité



- **Barrage du Verney : 38 - Isère**

Exploitant : EDF

Hauteur : 42 m

Volume de la retenue : 15 500 milliers de m³

Rivière : Eau d'Olle

Type Barrage : Terre

Longueur : 430 m

Année de mise en service : 1984

Surface de la retenue : 75 ha

Surface du bassin versant : 161,7 km²

Altitude de la crête : 775,5 m

Usage(s) : Hydroélectricité



La fonction de ces 7 grands aménagements dédiés à la production électrique est similaire : stocker un certain volume d'eau pour être turbiné en fonction de la demande en électricité. La gestion du remplissage est saisonnière, fonction des débits entrants, de la demande en électricité et des règlements d'eau des ouvrages. Une contrainte supplémentaire estivale sur les niveaux liée à l'exploitation touristique des retenues est souvent appliquée.

En cas de crue, EDF adopte le système de transparence sur l'ensemble des grands barrages présents sur le bassin versant du Drac, c'est-à-dire que le débit entrant en queue de retenue, est immédiatement et intégralement rejeté à l'aval du barrage, les vannes d'évacuations étant programmées en conséquence. Ceci a pour but de maintenir constante la cote nominale pour le plan d'eau. La gestion permet de ne pas augmenter le risque en aval, d'assurer la sécurité des ouvrages et garantir autant que possible le remplissage de la retenue. En pratique, le barrage sera manœuvré pour atteindre une cote maximale d'exploitation et le débit sortant sera ajusté en fonction du niveau de la retenue et du débit entrant. Cette gestion permet d'assurer la transparence hydraulique a priori à partir d'une crue décennale et jusqu'à la crue de dimensionnement des ouvrages d'évacuation des crues, soit au moins la crue millénaire.

L'impact à l'aval des aménagements en crue est donc lié au volume de la retenue mais aussi à la surface du bassin drainée et donc aux débits entrants (cf. Figure 12). Malgré son volume, l'aménagement de Grand-Maison aura un impact limité à l'exutoire du bassin de la Romanche en raison d'une faible surface drainée. De même, la retenue de St-Pierre-Cognet aura un impact limité sur les débits du Drac cette fois-ci en raison de son faible volume et d'une superficie drainée importante. Cette situation générera un remplissage et une mise en transparence rapide de l'aménagement. L'aménagement ayant finalement l'impact le plus significatif sera celui de Monteynard avec un volume important et une surface drainée représentant presque 85 % du sous-bassin. Cet aménagement a une réelle capacité d'écrêtement mais pourra arriver plus ou moins rapidement à saturation en fonction de son taux de remplissage initial et du volume de la crue.

L'impact des aménagements sur le régime hydrologique et sur les crues du Drac à Fontaine est plus amplement développé et cela de manière quantitative dans les paragraphes suivants et dans l'annexe II.

Les barrages diminuent-ils les risques d'inondation ?

(d'après Chocat, 2014 et modifié)

http://www.graie.org/eaumelimelo/IMG/pdf/barrages_et_continuite_def_cle41d152.pdf

Comment un barrage peut-il limiter les risques d'inondation à l'aval ?

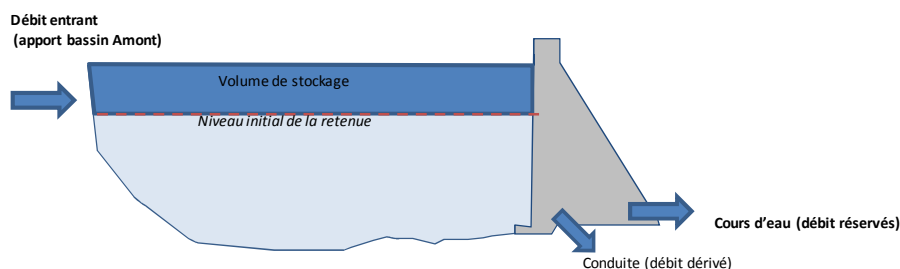
Un barrage permet de stocker un certain volume d'eau. Si ce volume est celui qui s'écoule pendant la période où le débit dans la rivière est le plus fort, le barrage peut donc écrêter la pointe de la crue et limiter ainsi la sévérité des inondations à l'aval. Beaucoup de barrages ont ainsi été construits avec pour objectif principal ou secondaire la protection des agglomérations contre les risques d'inondation. Ce qui n'est pas le cas de ceux situés sur le bassin versant du Drac dont l'usage premier est l'hydroélectricité.

Les barrages sont-ils toujours efficaces ?

En pratique, cette fonction de limitation des pointes de crue ne peut être remplie que si la capacité de stockage disponible dans la retenue au moment où la crue arrive est supérieure au volume de la crue à retenir. En effet, pour des raisons de sécurité, le niveau de l'eau dans la retenue ne doit jamais dépasser une valeur maximum, dite cote des plus hautes eaux (PHE). Si cette valeur était dépassée, le barrage risquerait de se rompre avec des conséquences catastrophiques. Lorsque la retenue est pleine on actionne donc des vannes, appelées déversoirs de crue, qui évitent de dépasser cette cote de sécurité.

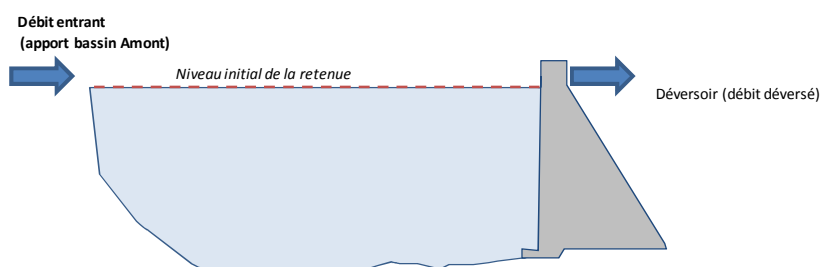
Dans le meilleur des cas, on est capable d'anticiper parfaitement la crue et donc de choisir la valeur de débit régulé de façon à utiliser au mieux le volume disponible pour stocker le volume d'eau correspondant aux débits les plus forts. Dans ce cas, et selon l'importance de la crue, le débit, même régulé, peut cependant entraîner des inondations, mais moins importantes que celles qui auraient été observées sans le barrage.

Cas 1 : Crue et niveau de remplissage faible :
stockage d'une partie de la crue



Mais si l'on a mal anticipé la crue et que l'on a commencé à stocker l'eau trop tôt, le barrage peut être plein avant que la pointe de débit ne soit atteinte. Dans ce cas, on est alors obligé d'ouvrir les vannes et de laisser passer l'eau au moment où le débit est le plus fort. Le barrage ne joue alors plus aucun rôle pour limiter le débit de pointe de la crue. Il peut même en aggraver les conséquences car la montée en débit est plus rapide.

Cas 2 : Crue et niveau de remplissage maximum :
barrage transparent ($Q_{\text{entrant}} = Q_{\text{sortant}}$)



Pour des raisons à la fois techniques et économiques, le volume de stockage disponible est obligatoirement limité. Les barrages sont donc extrêmement efficaces pour contrôler les petites crues, mais leur utilité diminue, voire disparaît complètement, lorsque les crues deviennent plus fortes. De plus, le fait de diminuer la fréquence des crues donne souvent un faux sentiment de sécurité. On croit la rivière domestiquée, et on développe l'urbanisation dans des zones exposées. La vulnérabilité de ces espaces augmente et lorsque la crue arrive, ses conséquences sont plus importantes.

En conclusion les barrages permettent de limiter l'impact des crues moyennes mais ne constituent pas une méthode réellement efficace pour se protéger contre les crues les plus violentes.

A retenir :

- Un important dispositif hydroélectrique est présent sur le bassin versant du Drac, caractérisé par une grande capacité de stockage avec la présence de 7 grands barrages hydroélectriques pour une capacité de 648 Mm³ (utilisé selon les besoins énergétiques).
- **L'objectif de ces 7 grands barrages (et de leur retenue) est la production d'énergie et en aucun cas le laminage des crues.**
- En cas de crue, EDF adopte le système de transparence, c'est-à-dire que le débit entrant en queue de retenue, est immédiatement et intégralement rejeté à l'aval du barrage.
- Pour des raisons à la fois techniques et économiques, le volume de stockage disponible est obligatoirement limité. Pour des crues moyennes, les barrages peuvent donc dans certains cas et suivant l'importance du volume entrant et le niveau de remplissage de la retenue, limiter les risques d'inondation à l'aval. Mais il n'y a aucun caractère systématique à ce laminage.

3. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT GLOBAL DU BASSIN VERSANT

A partir des mesures de débits, l'objectif de cette partie est de décrire le régime du Drac, d'estimer l'impact des aménagements hydroélectriques sur le régime du cours d'eau et d'analyser les chroniques de débits moyens journaliers afin de comprendre le mode de fonctionnement du bassin en crue. Enfin, les estimations issues des études antérieures de débits de crues et des hydrogrammes caractéristiques sont analysés et présentés.

3.1. STATIONS HYDROMETRIQUES UTILISEES

Le bassin versant du Drac et ses affluents sont équipés de nombreuses stations de mesures hydrométriques (en service ou arrêtées - voir liste en annexe II). Les mesures de débit sont réalisées par la DREAL et EDF.

Trois stations hydrométriques (Le Drac à Corps [Le Sautet]; La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]; Le Drac à Fontaine) représentatives d'une partie du bassin versant et offrant des durées d'exploitation intéressantes pour l'analyse hydrologique sont disponibles. Les mesures de débit sont réalisées par EDF. Seuls les débits moyens maximums journaliers sont disponibles sur la BANQUE HYDRO. Les deux stations de la Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau] et du Drac à Fontaine présentent des régimes hydrologiques fortement influencés. Les débits journaliers sur ces 3 stations de référence de l'étude ont été récupérés auprès de la banque HYDRO en Août 2016.

Tableau 3 - Stations de mesure hydrométriques utilisées

Code de la station	Libellé de la station	Surface du Bassin versant topographique	Altitude	Régime influencé	Producteur	Disponibilité de la donnée de débits (Qj)*
W2222010	Le Drac à Corps [Le Sautet]	990 km ²	671 m	pas ou faiblement	EDF	30 années (1970 - 1999)
W2764010	La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]	1000 km ²	701 m	fortement	EDF	64 années (1951 - 2014)
W2832020	Le Drac à Fontaine	3550 km ²	207 m	fortement	EDF	31 années (1984 - 2014)

* Qj : débits moyens maximums journaliers

A retenir :

- 3 stations de la BANQUE HYDRO représentatives du Drac et de la Romanche (Le Drac à Corps [Le Sautet]; La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]; Le Drac à Fontaine) ont été sélectionnées pour les besoins de l'étude hydrologique.
- Elles fournissent des données journalières de débits influencés.

3.2. REGIMES HYDROLOGIQUES

L'analyse des régimes hydrologiques du Drac et de la Romanche est essentiellement issue des données de la BANQUE HYDRO qui fournit des débits mensuels mesurés (QMM) ou naturels (QMN) aux 3 stations hydrométriques représentatives du Drac (le Drac au Sautet ; le Drac à Fontaine) et de la Romanche (à Champeau). Des données anciennes (entre 1939 et 1969) issues d'annuaires hydrologiques numérisés par la SHF (Société hydrotechnique de France) ont également été utilisées. L'annexe II fournit une analyse complète du régime du Drac et de la Romanche et de l'influence des aménagements sur leur régime. Les principales conclusions sont reportées ci-dessous.

3.2.1. REGIMES " NATURELS" DU DRAC ET DE LA ROMANCHE

Les fluctuations saisonnières du **Drac en amont de la confluence** avec la Romanche sont typiques d'un régime nivo-pluvial avec :

- Deux maxima annuels : des hautes eaux de printemps-été dues à la fonte des neiges d'avril à juillet inclus (avec un maximum en mai-juin sous l'influence de la fonte nivale) et en octobre-novembre-décembre sous l'effet des pluies d'automne (avec un maximum en novembre lié aux précipitations de fin d'automne).
- Deux périodes d'étiage, l'un de fin d'été en août-septembre (lié au déficit pluviométrique) et l'autre d'hiver en janvier-février (accumulation des précipitations sous forme de neige).

Le régime naturel de la **Romanche** est plutôt nivo-glaciaire avec une seule période de hautes-eaux sur la période printemps-été dues à la fonte des neiges et des glaciers (avec un maximum en juin encore très sensible en juillet du aux altitudes plus élevées que sur le bassin du Drac).

Le régime naturel du **Drac à Fontaine** est nivo-pluvial avec deux saisons hydrologiques assez marquées :

- Deux maxima annuels : une saison de très hautes eaux de Mai à Juillet (plus longue du fait de la double influence des régimes du Drac amont - maximum en mai et de la Romanche - maximum en juin). L'automne marque un maximum secondaire moins bien marqué que sur le Drac amont du fait d'un étiage estivale moins prononcé (apport de la Romanche) et d'apport relativement plus faibles de la Romanche en Automne (moins touchée par les pluies d'origine méditerranéenne).
- Deux périodes d'étiage : la période d'étiage la plus longue se situe de décembre à mars quand les précipitations sont stockées sous forme de neige dans les hauts massifs alpins constituant le bassin versant. La période d'étiage de fin d'été lié au déficit pluviométrique est plus court (minimum en septembre).

La comparaison des débits moyens mensuels normés (figure suivante) permet de mettre en évidence le décalage de la période de haute eau entre le bassin du Drac amont et la Romanche, lié à la fonte du manteau de neige sur l'un et de glaciers sur l'autre. Le Régime du Drac à Fontaine subit cette double influence.

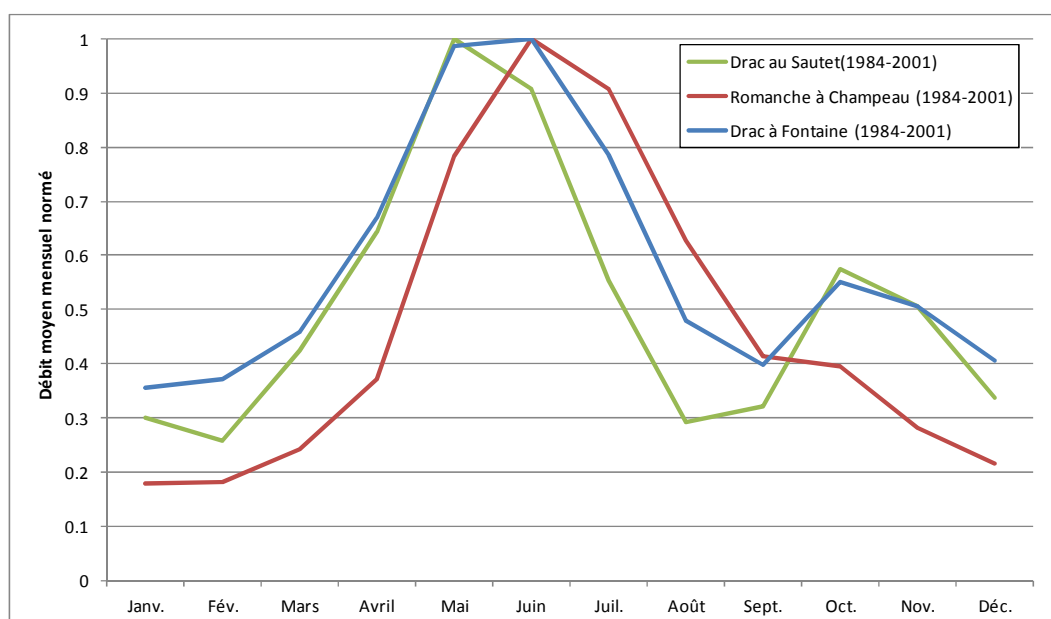


Figure 13. Comparaison des régimes naturels (débit moyen mensuel normé) sur la période commune (1984-2001) aux 3 stations de référence (données issues de la BANQUEHYDRO)

3.2.2. REGIMES " INFLUENCES " DU DRAC ET DE LA ROMANCHE

La comparaison des débits moyens mensuels influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) aux 3 stations hydrométriques représentatives du Drac et de la Romanche permet de préciser l'influence des aménagements hydroélectriques par effet de stockage ou déstockage dans les retenues (voir figures ci-dessous).

- Le régime du **Drac au Sautet** n'est quasiment pas influencé.
- Le régime de la **Romanche à Champeau** est influencé par le fonctionnement des aménagements de production hydroélectrique sur son bassin versant avec une période de stockage (QMM<QMN) qui démarre en mai et se termine en juillet (maximum en juin). Le déstockage (QMM>QMN) intervient principalement de novembre à février.
- Pour le **Drac à Fontaine** qui subit la double influence des chaînes de production hydroélectriques du Drac amont et de la Romanche, la période de stockage principale s'étend d'avril à juillet avec un maximum en mai. La période de restitution principale s'étend de janvier à mars avec un maximum en février et de manière plus secondaire en automne (d'octobre à décembre). Ces graphiques cachent cependant une variabilité entre année forte.

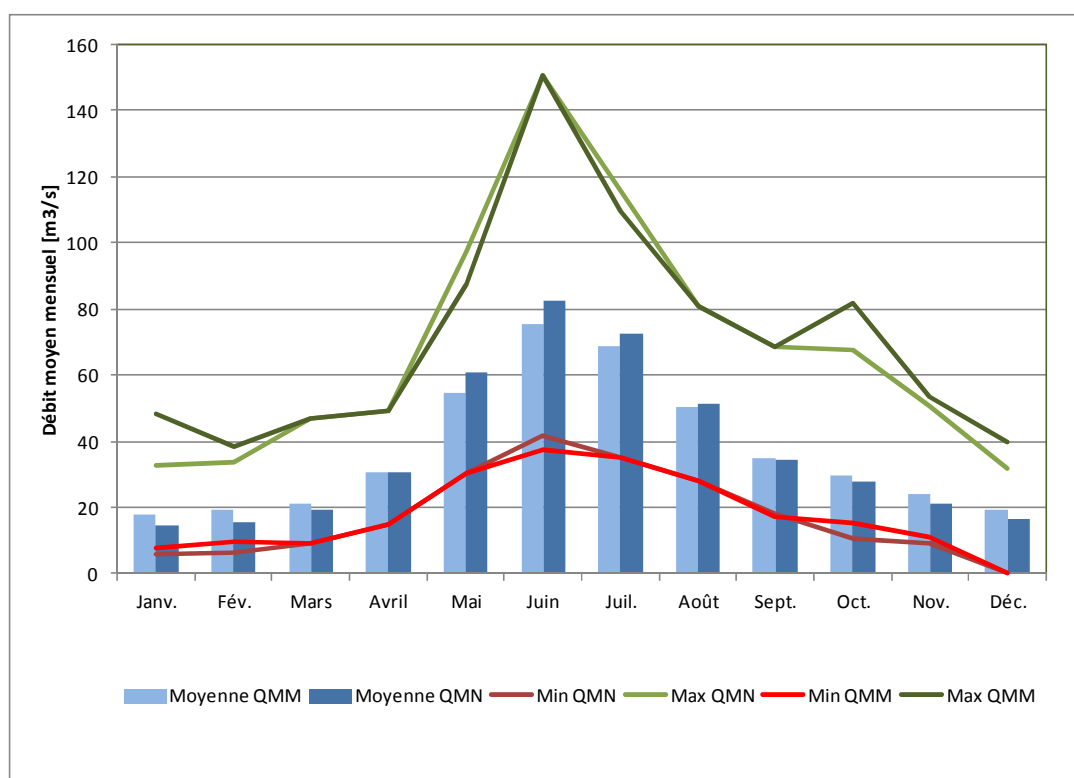


Figure 14. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station de la Romanche à Champeau (période de 1951-2014)

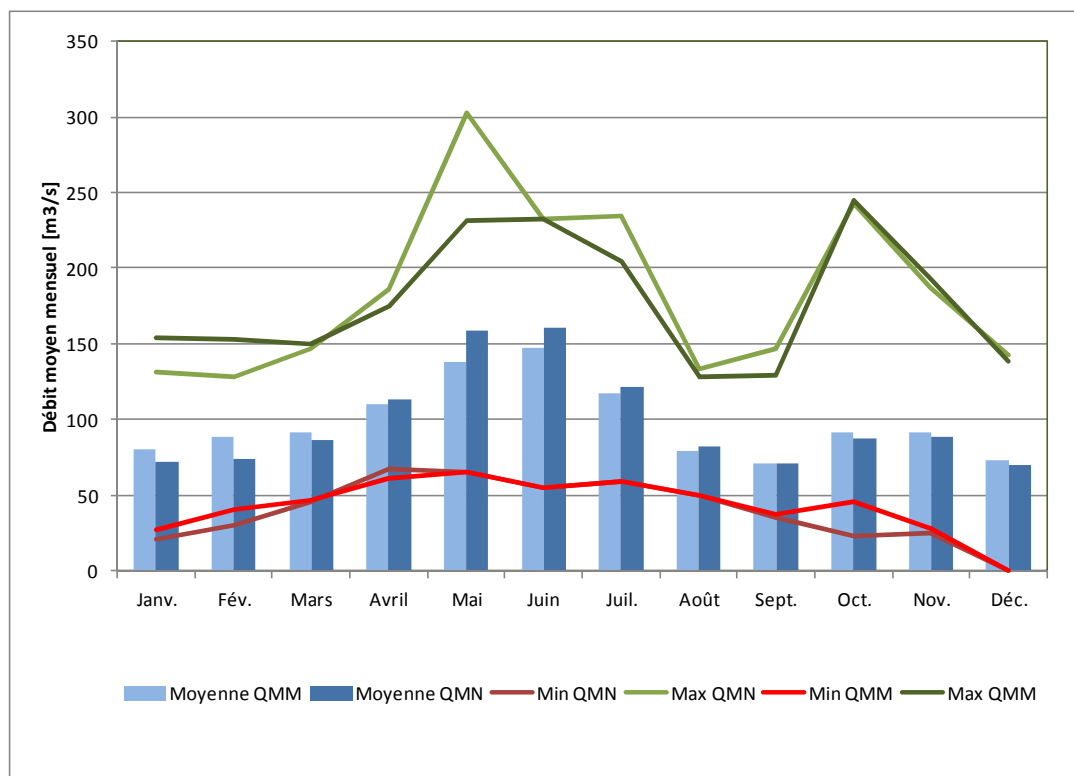


Figure 15. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station du Drac à Fontaine (période de 1984-2014)

A retenir :

- Le régime « naturel » du Drac à Fontaine est nivo-pluvial avec deux saisons de hautes eaux assez marquées : une saison de très hautes eaux de Mai à Juillet (fonte des neiges et des glaciers) et une en automne (pluie).
- Le bassin de la Romanche étant situé à des altitudes supérieures à celui du Drac, le régime est nivo-glaciaire. Les débits liés à la fonte du manteau neigeux ou des glaciers sont plus importants que ceux observés sur le bassin du Drac amont dont le régime est nivo-pluvial.
- Le régime « observé » du Drac à Fontaine est dit « influencé » du fait de la double influence des chaînes de production hydroélectriques du Drac amont et de la Romanche. La période de stockage principale s'étend d'avril à juillet. La période de restitution principale s'étend de janvier à mars et de manière plus secondaire en automne.

3.3. CRUES DU DRAC

L'analyse des crues du Drac repose sur les données de débits moyens journaliers enregistrées aux 3 stations de références (donc influencés). Des données issues des rapports EDF (2014 et 2016) ont également été utilisées pour compléter notre analyse, notamment sur l'influence des aménagements hydroélectriques. Les analyses complètes, présentées au comité scientifique, sont reportées dans les annexes II et III. Les principaux points abordés sont résumés ci-dessous.

3.3.1. REPARTITION SAISONNIERE DES CRUES

La distribution saisonnière des 23 plus fortes crues enregistrées sur le Drac à Fontaine entre 1984 et 2014 (de fréquence au moins biennale), en termes de débits moyens journaliers influencés, montre une répartition des crues les plus fréquentes entre le printemps (mai et juin) et l'automne (octobre, novembre et décembre) caractéristique des régimes des rivières alpines pluvio-nivales (voir Figure 16).

- **Les crues de printemps** - Les crues les plus nombreuses (35 % des crues) surviennent au début de la saison chaude en raison principalement des débits de base gonflés par la fusion nivale. Sur cette période de hautes eaux, il suffit de précipitations abondantes, mais pas nécessairement exceptionnelles, pour générer le débit maximal de l'année (Dumas, 2010).
- **Les crues d'automnes** - Les crues d'automnes (19% des crues en novembre) sont marquées par des précipitations globalement plus abondantes sur cette période de l'année (voir Figure 17). Pour ces crues remarquables, hormis pour la crue du 31/10/1992, les précipitations touchent davantage le bassin versant du Drac que celui de la Romanche. La seule grande crue (supérieure à 600 m³/s) est celle d'Octobre 1993 ; elle est associée à une circulation du Sud et des cumuls de pluie relativement élevés sur le bassin versant du Drac (131 mm sur 5 jours), mais pas exceptionnels.

Par la suite la distinction entre ces deux types de crue n'est plus effectuée.

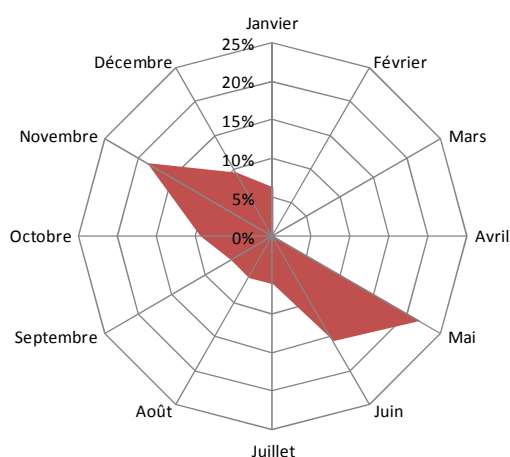


Figure 16. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 (en %)

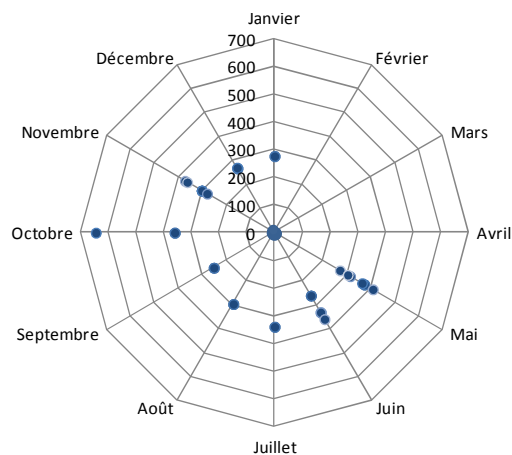


Figure 17. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 en termes de débits moyens journaliers (en m³/s)

La distribution mensuelle des 10 crues les plus remarquables pour le Drac à Monteynard montre également une répartition des crues les plus fréquentes entre le printemps (mai) et l'automne (octobre, novembre et décembre). Les crues les plus nombreuses (7 crues sur 10) surviennent en automnes (dont 4 crues sur 10 en novembre) et sont marquées par des précipitations globalement plus abondantes sur cette période de l'année.

3.3.2. REPARTITION PAR TYPE DE TEMPS DES CRUES REMARQUABLES

L'analyse des situations météorologiques pour 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 (EDF, 2014) et pour 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 (EDF, 2016) ont permis de mettre en évidence :

- que les crues remarquables du Drac à Fontaine sont le plus couramment associées à 5 types de temps : Onde atlantique, Circulation de sud et Flux Océaniques stationnaires, plus rarement Dépressions Centrales et Retour d'Est. Tous ces types de temps sont susceptibles de générer des fortes crues (Figure 18). La plus forte crue est liée à une Circulation de sud.
- que les crues du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 sont le plus couramment associées à deux types de temps : une Circulation de Sud et des Dépressions Centrale (Figure 19). Plus rarement, le bassin versant du Drac amont subit également l'influence, des Retours d'Est, des Flux Océaniques stationnaires et des situations Ondes Atlantiques.

Se reporter à l'annexe III pour les notions de types de temps selon EDF.

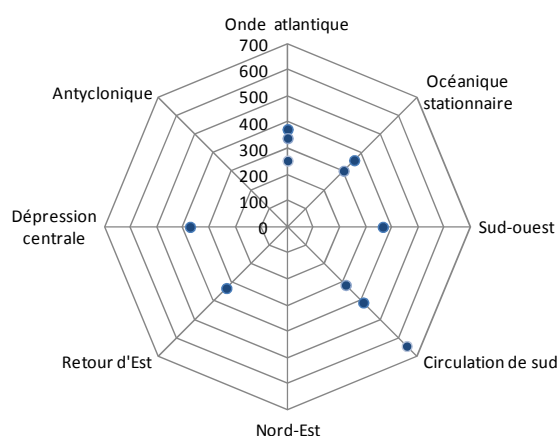


Figure 18. Distribution des 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 par type de temps (en m^3/s) - (d'après données issues de EDF, 2014)

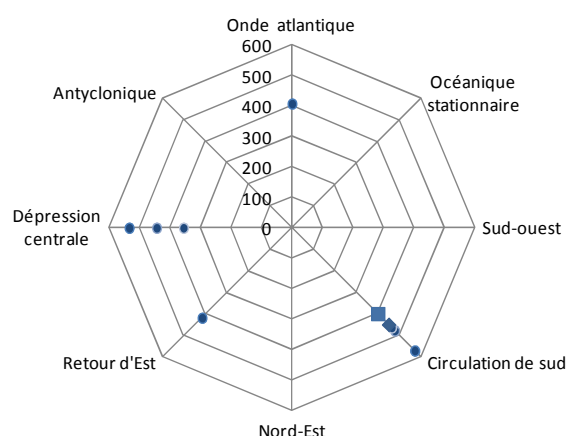


Figure 19. Distribution des 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 par type de temps (en m^3/s) - (d'après données issues de EDF, 2016)

3.3.3. DEPENDANCE ENTRE LES CRUES DE LA ROMANCHE ET CELLES DU DRAC

La comparaison des débits journaliers maximum sur les 23 crues remarquables du Drac à Fontaine avec ceux de la Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau] à +/- 3 jours (sur les 30 années communes) et avec ceux du Drac au Sautet (sur les 11 années communes) ne montre pas de dépendance significative entre ces grandeurs (voir Tableau 4). Une forte crue du Drac à Fontaine n'est pas forcément liée à une forte crue de la Romanche ou à celles du Drac au Sautet. Les crues du Drac à Fontaine s'expliquent par la double influence des crues du Drac amont et de la Romanche, dont les crues ne sont pas forcément concomitantes. Cela est en partie liée à la variabilité des perturbations climatiques à l'origine des crues (flux méditerranéens ou océaniques), mais aussi en partie à l'influence des grands aménagements, variable et non systématique (voir paragraphe suivant).

Tableau 4 - Débits moyens journaliers remarquables mesurés aux 3 stations hydrométriques étudiées sur la période 1983-2014 (données issues de la BANQUE HYDRO)

	Drac à Fontaine		Romanche à Champeau			Drac au Sautet		
	Date de l'évènement	Débit moyen journalier (m^3/s)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m^3/s)	Ecart de temps (jour)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m^3/s)	Ecart de temps (jour)
1986	22/05/86	373	22/05/86	136	0	19/05/86	157	-3
1987	18/07/87	339	18/07/87	248	0	18/07/87	194	0
1990	08/12/90	268	07/12/90	68	-1	05/12/90	30	-3
1992	31/10/92	360	29/10/92	89	-2	31/10/92	153	0
1992	21/11/92	303	21/11/92	88	0	20/11/92	79	-1
1993	09/10/93	644	08/10/93	86	-1	08/10/93	360	-1
1994	07/01/94	276	05/01/94	69	-2	07/01/94	131	0
1994	06/11/94	303	06/11/94	87	0	06/11/94	201	0
1994	11/11/94	281	10/11/94	53	-1	14/11/94	156	3
1995	30/05/95	364	30/05/95	125	0	30/05/95	100	0

1995	01/12/95	270	01/12/95	44	0	04/12/95	21	3
2001	01/06/01	262	30/05/01	116	-2			
2002	16/11/02	373	16/11/02	85	0			
2002	26/11/02	363	26/11/02	48	0			
2008	26/05/08	314	26/05/08	194	0			
2008	30/05/08	409	29/05/08	164	-1			
2008	07/09/08	253	07/09/08	96	0			
2010	31/05/10	272	31/05/10	105	0			
2010	17/06/10	331	16/06/10	113	-1			
2013	19/05/13	304	16/05/13	112	-3			
2013	19/06/13	360	20/06/13	161	1			
2013	08/08/13	297	08/08/13	187	0			

3.3.4. INFLUENCE DES AMENAGEMENTS SUR LES CRUES LES PLUS REMARQUABLES

Des séries de débits naturels ont été reconstituées au niveau du Drac à Monteynard et du Drac à Fontaine (EDF, 2014 et 2016) à partir de différentes autres séries de mesures de débit ou des variations de réserves dans les retenues. Une analyse sur les débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observées a été menée :

- Sur les 10 plus fortes crues en débit journalier (en volume observées), enregistrées sur le Drac au Monteynard entre 1969 et 2012.
- Sur les 11 plus fortes crues en pointe, enregistrées sur le Drac à Fontaine entre 1983 et 2010.

Les deux figures suivantes permettent de comparer les débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Monteynard (Drac amont) et sur le Drac à Fontaine.

Pour le Drac à Monteynard (Drac amont), l'impact des aménagements sur le débit moyen journalier observés est variable d'une crue à l'autre (voir Figure 20):

- Il est faible pour les deux crues naturelles les plus importantes (crues du 08 octobre 1993 et du 16 novembre 2002). Les ouvrages ont été transparents.
- Pour les 8 autres crues de plus faibles ampleurs, l'impact est variable mais significatif. La troisième crue "naturelle" la plus forte (26/05/2008) voit ainsi son débit moyen journalier diminuer de 280 m³/s et passer de la 3ème à la 10ème crue la plus remarquable !

Pour le Drac à Fontaine, les crues subissent la double influence des aménagements du Drac et de la Romanche (voir Figure 21). Mais l'impact des aménagements présents en amont de Fontaine n'est pas systématique, en effet :

- 7 crues sur 11 ne présentent pas de stockage significatif dans les retenues sur l'épisode de crue (écart de + 8 à -70 m³/s soit un écart relatif de +2 à -17% du débit naturel). Pour ces crues, le débit "naturel" moyen maximum journalier était inférieur à 500 m³/s.
- sur les 4 plus fortes crues "naturelles" (événement du 26 mai 2008, du 16 novembre 2011, du 9 octobre 1993 et du 18 juillet 1987), l'impact des aménagements en amont de Fontaine (Drac amont + Romanche) est une diminution des volumes de crue. L'écart sur l'épisode est variable mais peut être important. Il est par exemple très faible pour la crue de 1993 (écart de -100 m³/s soit un écart relatif de -14% du débit naturel) mais important pour les trois

autres crues (écart entre -221 et -439 m³/s soit un écart relatif de -39% à -58% du débit naturel).

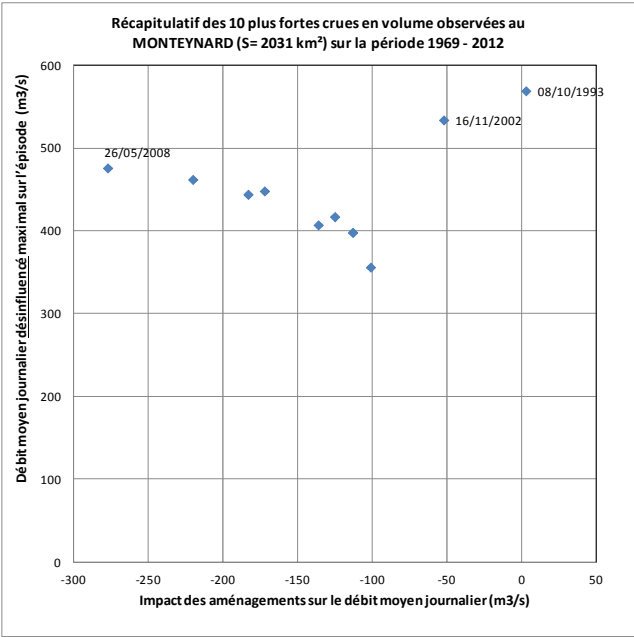


Figure 20. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observés sur le Drac à Monteynard (d'après EDF, 2016)

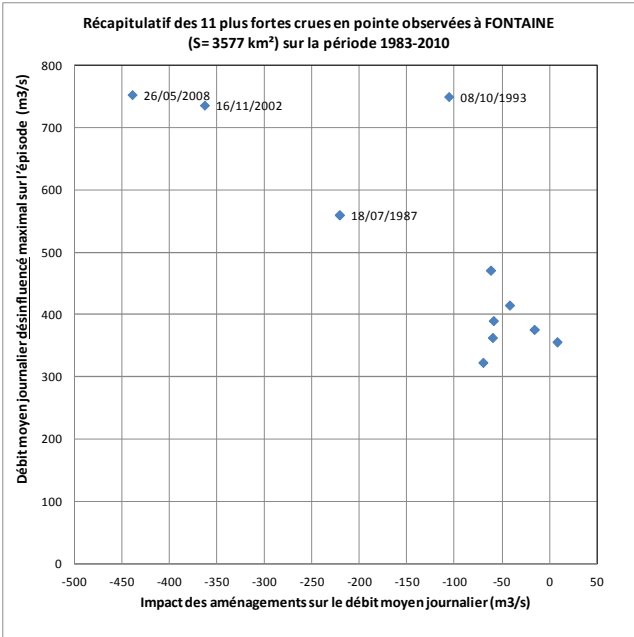


Figure 21. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observés sur le Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014)

Le tableau ci-dessous présente les débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine et pour le site de Monteynard pour les 4 crues les plus remarquables.

Tableau 5 - Débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine (EDF, 2014) et à Monteynard (EDF, 2016)

Drac - Fontaine (S= 3577 km²)					Drac - Monteynard (S= 2031 km²)			
Date de l'épisode	Débit de pointe influencé sur l'épisode (m³/s)	Débit moyen journalier influencé maximal sur l'épisode (m³/s)	Débit moyen journalier désinfluencé maximal sur l'épisode (m³/s)	Impact des aménagements sur le débit moyen journalier (m³/s)	Date de l'épisode	Débit moyen journalier influencé maximal sur l'épisode (m³/s)	Débit moyen journalier désinfluencé maximal sur l'épisode (m³/s)	Impact des aménagements sur le débit moyen journalier (m³/s)
18/07/1987	382	339	560	-221	18/07/1987	248*	-	-
09/10/1993	826	644	750	-106	08/10/1993	572	569	3
16/11/2002	550	373	736	-363	16/11/2002	482	534	-52
26/05/2008	445	314	753	-439	26/05/2008	199	476	-277

*données issues de la BANQUE HYDRO

A retenir :

- Les crues du Drac à Fontaine résultent d'une forte pluie sur l'ensemble ou une partie du bassin versant (généralement crues d'Automne) ou d'une pluie moyenne sur l'ensemble du bassin avec un débit de base important lié à la fonte des neiges (crue de printemps).
- Les crues du Drac à Fontaine sont liées à différents types de phénomènes climatiques : Onde atlantique, Circulation de sud et Flux Océaniques stationnaires, plus rarement Dépressions Centrales et Retour d'Est. Tous ces types de phénomènes climatiques sont susceptibles de générer des fortes crues. Le bassin versant du Drac à Monteynard est particulièrement sensible au Flux de Sud et à la Dépression Centrale.
- Les crues du Drac à Fontaine s'expliquent par la double influence des crues du Drac amont et de la Romanche, dont les crues ne sont pas forcément concomitantes.
- Il existe un impact des aménagements sur certaines crues observées mais cet impact n'est pas systématique (7 crues sur 11 ne présentent pas de stockage significatif dans les retenues sur l'épisode de crue).

3.4. DEBITS CARACTERISTIQUES DE CRUE

L'estimation des débits caractéristiques de crue (débit qui correspond à une période de retour choisie) du Drac (amont et aval) et de la Romanche est issue d'analyse statistique des débits de crues produites lors d'études antérieures. Les estimations de débits et les méthodes utilisées dans les études antérieures sont présentées dans l'annexe III. Les principaux résultats de ces études sont exposés ci-dessous.

Ces analyses permettent également de s'approcher de la période de retour des événements observés ; étape essentielle pour la définition de la crue de référence dans la doctrine PPRi (voir partie 4).

3.4.1. LA ROMANCHE A L'AMONT DE LA CONFLUENCE DRAC/ROMANCHE

L'estimation des pointes de crues sur la Romanche pour différentes périodes de retour a fait l'objet de plusieurs approches successives. Celles-ci ont contribué à faire évoluer la connaissance sur la dynamique des crues de la Romanche et ont abouti à l'évaluation des débits de crue caractéristiques de la Romanche pour différentes périodes de retour. Le rapport de présentation du PPRi Romanche aval (DDT, 2012) présente une synthèse de cette étude.

Ces valeurs ont été utilisées par la suite dans les projets d'aménagement (EGIS-EAU, 2011), le TRI Voiron-Grenoble (ARTELIA, 2013) ou les études réglementaires de type PPRi (DDT, 2012) et étude de danger (SOGREAH, 2011a).

En résumé, pour préciser les débits de pointes et l'hydrogramme de crue de la Romanche en aval de la plaine de Bourg d'Oisans (entre Livet-Gavet et Champsur Drac), différentes approches ont été adoptées (voir tableau suivant) :

1. Analyse fréquentielle et application de la méthode du GRADEX (EDF/DTG, 1995⁷ ; SOGREAH, 1999- ANNEXE 1) puis révision des ajustements en 2008 (HYDRETUDES, 2008 dont annexe 5 de P. Lefort).

⁷ Cité dans le rapport de présentation du PPRi Romanche aval (DDT, 2012) : Etude d'hydrologie et des crues extrêmes de la Romanche à Séchilienne – Réf. D4166/DTG – RECHA/95 - 047 – A/DP/AG – (05-1995).

2. Prise en compte du laminage de l'onde de crue à l'aval de la plaine de Bourg d'Oisans : étude de scénarios pour reconstituer les débits à l'aval de la plaine du Bourg d'Oisans, à partir des hydrogrammes entrants fournis par EDF et des débits de pointe – originaux (EDF 2007) ou recalculés (Lefort 2008) avec prise en compte ou non des barrages EDF (HYDRETUDES, 2008 et 2009).
3. Prise en compte du risque d'éboulement à court terme des ruines de Séchilienne (SOGREAH, 2011).
4. Prise en compte du projet "Basse Romanche" (SOGREAH 2011).

Par ailleurs, dans le cadre du PPRI Romanche aval (DDT, 2012), la rupture du barrage qui serait formée par l'éboulement de 3 millions de m³ provenant des Ruines de Séchilienne et obstruant la vallée a également été prise en compte.

Tableau 6. Débits caractéristiques de crues de la Romanche

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s) de la Romanche à l'amont des Ruines de Séchilienne	
	HYDRETUDES, 2008 (dont annexe 5 de P. Lefort)	PPRI Romanche aval - DDT, 2012*
10 ans	378	330
30 ans	533	400
100 ans	880	550

* Prise en compte du laminage de l'onde de crue à l'aval de la plaine de Bourg d'Oisans

Au final, la crue centennale de la Romanche a été établie à 550 m³/s dans le cadre du Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles pour le risque Inondation par la Romanche dans son secteur aval, dénommé PPRI Romanche aval (approuvé par le préfet de l'Isère le 5 juillet 2012).

Cette estimation (crue centennale = 550 m³/s) a été validée par les services de l'Etat et un collège d'expert (PPRI Romanche aval - DDT, 2012).

3.4.2. LE DRAC A L'AMONT DE LA CONFLUENCE DRAC/ROMANCHE

Les estimations sont issues de 3 études EDF (1980 et 2016) et indiquées dans le tableau ci-dessous. Les études statistiques des crues du Drac en amont de la confluence avec la Romanche sont peu nombreuses du fait notamment du manque de données hydrométriques facilement accessibles. En effet, au droit du barrage de Monteynard les données journalières de débits désinfluencés sont reconstituées à partir des débits observés à la station de Fontaine et d'autres séries de mesures présentées dans le tableau ci-dessous.

Deux méthodes ont été appliquées pour caractériser les crues extrêmes du Drac à l'amont de la confluence avec la Romanche (Se reporter à l'annexe III pour le détail des méthodes) :

1. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (calcul EDF à Monteynard -1980 ; repris par BURGEAP, 2006) puis réactualisée en 2016 (calcul EDF à Monteynard - 2016 ; EDF 2016- ANNEXE 1) avec un GRADEX correspondant à la saison à risque et un point pivot à 50 ans.
2. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SCHADEX (EDF, 2016).

Tableau 7. Inventaire des données de débit disponibles sur le bassin versant du Drac à Monteynard (EDF, 2014)

Nom (nature du débit)	Code ¹	Superficie (km ²)	Disponibilité des débits	
			Journaliers	Horaires
Les Ricous – Débit dérivé	Q0052_DV1	203	1966 – 2012	
Variation de réserve du SAUTET	SAUTEH_VR1	-	1969 – 2012	
Débit de correction de l'ANR au SAUTET	SAUTEH_DF1	-	1993 – 2012	
Variation de réserve de ST PIERRE-COGNET	MTEYNH_VR1	-	1957 – 2012	
Variation de réserve du MONTEYNARD	MTEYNH_VR2	-	1969 – 2012	
Débit de correction de l'ANR au MONTEYNARD	MTEYNH_DF1	-	1993 – 2012	
Fuite épigénique MONTEYNARD	MTEYNH_DX1	-	2001 – 2012	
Débit déversé au barrage du MONTEYNARD	MTEYNH_DD1	-	1985 – 2012	
Débit turbiné au barrage du MONTEYNARD	MTEYNH_DT1	-	1962 – 2012	
Apport naturel reconstitué au MONTEYNARD	MTEYNH_DN1	2031	1991 – 2012	
Variation de réserve de NOTRE-DAME-DE-COMMIERS	MTEYNH_VR3	-	1965 – 2012	
Apport naturel reconstitué au SAUTET	SAUTEH_DN1	990	1985 – 2012	
Débit influencé au barrage de MONTEYNARD	MTEYNH_DI1	2031	1987 – 2012	

Rappelons que les résultats présentés dans les études de crues extrêmes correspondent à des valeurs considérant la contribution hydrologique naturelle du bassin versant.

Tableau 8. Débits fréquents du Drac à Monteynard / Notre Dame de Commiers

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s) du Drac à Monteynard		
	EDF, 1980 cité par BURGEAP, 2006	EDF, 2016 - Annexe 1	EDF, 2016
	GRADEX	GRADEX (1969 - 2012)	Etude SHADEX
1000 ans	2700	2705	2182
200 ans	1850	1740*	1463
100 ans	1500	1324	1213
50 ans	1200	906	1004
20 ans	800	-	774
10 ans	650	-	629

* débit estimé par HYDRETUDES d'après l'ajustement graphique (u(T)-Q(T))

Les estimations diffèrent de manière significative. L'estimation de la crue centennale établie par EDF en 2016 par la méthode GRADEX (1324 m³/s) se situe entre celle établie en 1980 par la méthode GRADEX (1500 m³/s) et celle de 2016 par la méthode SCHADEX (1213 m³/s). L'estimation de la crue centennale de 1500 m³/s est proche de la crue bi-centennale estimée par la méthode SCHADEX (EDF, 2016).

Les deux mises à jour réalisées par DTG/EDF (EDF, 2016) sont prises en considération puisqu'elles utilisent dans tous les cas des séries de données plus longues et plus complètes sur le bassin versant du Drac.

Les estimations de la crue centennale du Drac en amont de la confluence avec la Romanche se situent entre 1213 m³/s et 1324 m³/s (~10% de différence).

A signaler que depuis septembre 2015, l'eau s'écoule à nouveau dans le Drac entre Champ sur Drac et la Romanche, alors que cette zone de plus de 3km était à sec depuis la construction des barrages dans les années 60.

3.4.3. LE DRAC A GRENOBLE

Depuis 1976, différentes méthodes d'analyses fréquentielles ont été appliquées pour caractériser les crues extrêmes du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche :

1. Analyse fréquentielle "classique" avec données historiques (SOGREAH, 1976)
2. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SPEED (ARTELIA, 2013)
3. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (EDF, 2013 - ANNEXE 1)
4. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SCHADEX (EDF, 2013)

Un des points communs de ces études est la prise en compte des débits "naturels". L'influence des aménagements sur les crues, généralement importante pour les crues courantes, se réduisant fortement voire devenant négligeable pour les événements majeurs, les estimations des débits de crue se font dans une situation de bassin « sans aménagements ».

La synthèse des résultats des différentes études est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9. Débits fréquents du Drac à Fontaine

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s) du Drac à Fontaine			
	SOGREAH, 1976 cité par ARTELIA, 2013	ARTELIA, 2013	EDF, 2014 - Annexe 1	EDF, 2014
	Analyse fréquentielle avec données historiques	Méthode SPEED	GRADEX	Etude SHADEX
1000 ans	2660	2660	3663	3284
200 ans	2060	2146	2300*	-
100 ans	1800	1800	1714	1723
50 ans	1550	-	-	1414
20 ans	1240	-	-	1090
10 ans	1000	1000	871	894

L'analyse des débits extrêmes de SOGREAH (1976) utilisait des données sur les crues historiques (avant 1928) et anciennes. La station hydrométrique de Fontaine n'existait pas encore. Hormis le graphique de l'ajustement (voir la reproduction ci-dessus), aucune autre information de débit n'a été récupérée. Ce type de démarche présente des limites (e.g. Lang et al., 2007 ; Payrastre et al, 2013) dues, par exemple, au fait que seules les crues anciennes ayant dépassé un certain seuil de débit sont utilisées (contre une série de maximums annuels dans l'étude statistique classique des crues mesurées).

La mise à jour avec la méthode SPEED (ARTELIA, 2013) à partir des ajustements des pluies et des paramètres régionaux caractéristiques du bassin du Drac à Fontaine donne des résultats équivalents.

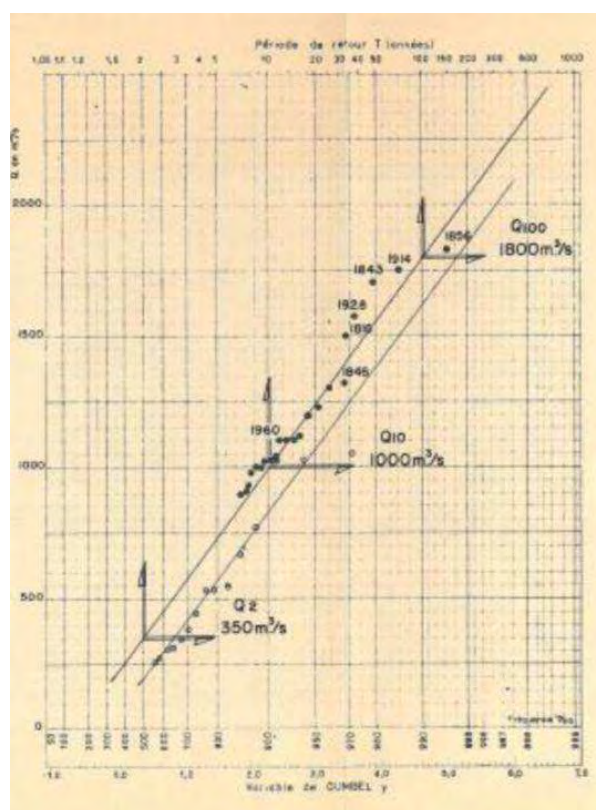


Figure 22. Ajustement ancien des débits du Drac à Grenoble selon une loi de Gumbel (SOGREAH, 1976)

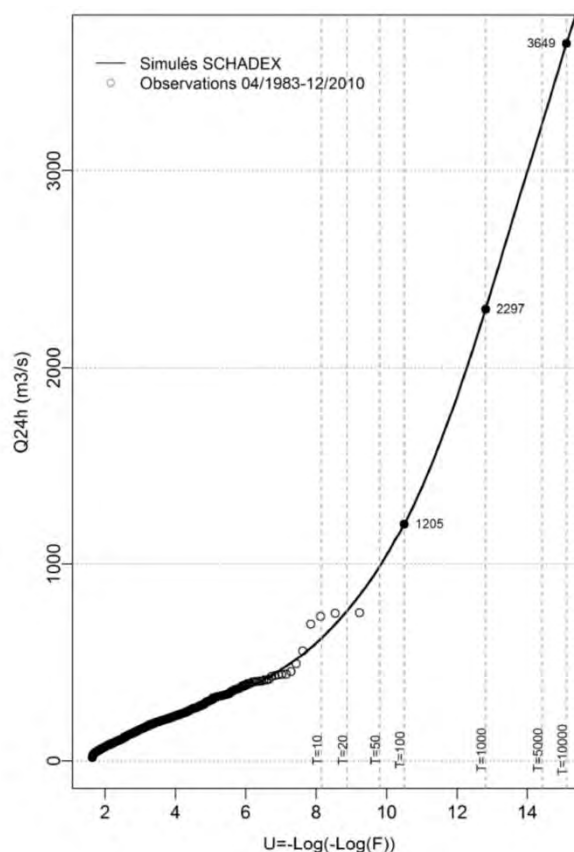


Figure 23. Distribution des débits moyens 24 heures non centrés à Fontaine consécutifs à une pluie centrale d'épisode (EDF, 2014)

L'analyse des débits extrêmes d'EDF (2014), par les méthodes GRADEX et SCHADEX, a été réalisée sur les débits naturels reconstitués du Drac à Fontaine. Les résultats sont similaires. La méthode est intéressante car elle permet de croiser quasi exhaustivement les aléas de précipitations et l'état hydrique du bassin en exploitant une chronique climatologique continue enregistrée sur le bassin et un modèle hydrologique. La simulation hydrologique SCHADEX a par exemple été réalisée sur un historique de pluie-température de 40 ans (1960 à 2010). De plus, le modèle hydrologique pluie-température-débit utilisé pour simuler les débits prend en compte la composante nivale et glaciaire, très importante sur le bassin versant du Drac. Cela améliore de manière significative les performances du modèle. Cette modélisation a été éprouvée par des dizaines d'applications de SCHADEX pour des bassins de montagne en France, mais également en Norvège et au Canada (Lang et al, 2013).

Les estimations de la crue centennale du Drac à Fontaine se situent dans une même gamme de débit (~4% de différence), entre 1720 m³/s (EDF, 2016) et 1800 m³/s (ARTELIA, 2013). Les résultats avec la méthode SCHADEX ne remettent pas en cause les études antérieures basées sur une crue centennale de 1800 m³/s, débit au final retenu pour la présente étude par le comité d'experts.

3.4.4. L'ISERE

L'hydrologie faisant référence auprès des organismes compétents est celle issue des études SOGREAH de 1971 1991 pour les crues de l'Isère (SOGREAH, 1971, 1991), complétée en 2007 par une mise à jour de l'hydrologie des affluents à l'occasion de l'avant-projet "Isère Amont" (SOGREAH, 2007).

Tableau 10. Débits fréquentiels (en m³/s) de l'Isère dans la traversée de Grenoble (d'après EGIS, 2014)

Période de retour de la crue	Pont de la Rocade Sud		Pont de la RNgo		Pont de la porte de France	
	Etat Actuel *	Etat Projet	Etat Actuel *	Etat Projet	Etat Actuel *	Etat Projet
200 ans	1540	1247	1486	1242	1472	1242
100 ans	1383	1235	1352	1228	1303	1226
30 ans	1183	1210	1145	1206	1143	1204
10 ans	946	915	944	913	943	913

* sans brèches

Ce sont ces valeurs qui ont été par la suite utilisées dans le TRI Voiron-Grenoble (ARTELIA, 2013) et les projets d'aménagement "Isère Amont" du SYMBHI (SOGREAH, 2008 ; EGIS, 2014). Le projet a pour objectif hydraulique principal de protéger les zones urbanisées jusqu'à une crue de type 1859, dont la période de retour a été estimée à 200 ans (crue bicentennale), et les zones agricoles jusqu'à une crue de période de retour 30 ans (trentennale).

Une mise à jour des débits à l'état projet (issus d'une modélisation hydraulique) a été réalisée en 2014 par EGIS et fournit des débits et des hydrogrammes à l'état projet pour un certain nombre de points caractéristiques.

Les débits de pointe ainsi que les périodes de retour considérées sont résumés dans le tableau ci-après. Les estimations de débits "état actuel" présentés dans l'étude SOGREAH (2008) et EGIS (2014) sont une synthèse de différentes sources d'information antérieures. Les estimations "état aménagé" sont issues de la mise à jour de 2014 (EGIS, 2014).

3.4.5. AUTRES AFFLUENTS

Le tableau suivant résume les débits fréquentiels des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche. L'hydrologie faisant référence pour la Gresse et celle issue de l'étude CIDEE (2007) pour le SIGREDA.

Tableau 11. Débits fréquentiels des affluents du Drac à Grenoble

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s)			
	SOGREAH, 1999	CIDEE, 2007	SOGREAH, 1999	CIDEE, 2007
	La Gresse	Gresse à Vif (S=173 km ²)	Le Lavanchon et la robine (Lavanchon total S = 52.4 km ²)	Le Lavanchon Confluence Drac (S=51 km ²)
100 ans	200	178 - 200	80	82
10 ans	92	60 - 92	40	40
5 ans	70		30	

Deux études sont disponibles pour les crues extrêmes des autres affluents (Gresse et Lavanchon) :

- SOGREAH (1999) : « Etude d'inondabilité du Drac et de la Romanche, rapport d'étude », SOGREAH, rapport 55 0438, novembre 1999, MOA : ADIDR
- CIDEE (2007) : « Etude hydraulique pour la réduction de la vulnérabilité et des risques d'inondation sur la Gresse et le Lavanchon - PHASE 1 : Diagnostic ». Rapport (Octobre 2006) + Annexe (Janvier 2007). MOA : SIGREDA.

A retenir :

- L'estimation des débits maximaux des crues correspondant à différentes périodes de retour sont issues d'étude antérieures pour les crues du Drac (amont et aval) et de la Romanche.
- L'estimation des débits maximaux des crues rares et extrêmes (correspondant à des fréquences d'apparition rares à très rares – temps de retour de plus de 100 ans) se basent sur différentes méthodes d'analyse statistiques : analyse fréquentielle classique avec crues historiques ou approches « hydro-météorologiques » utilisant des informations pluviométriques en plus des données de débits (méthode SPEED, GRADEX, méthode SCHADEX).
- **La crue centennale de la Romanche, faisant référence dans le PPRI Romanche, est de 550 m³/s.**
- Les estimations de la crue centennale du Drac à Fontaine se situent dans une même gamme de débit (~4% de différence), entre 1720 m³/s (EDF, 2016) et 1800 m³/s (ARTELIA, 2013). **La crue centennale retenue par le comité d'expert est de 1800 m³/s.**
- **Les estimations de la crue centennale du Drac en amont de la confluence avec la Romanche se situent entre 1213 m³/s et 1324 m³/s (~10% de différence).** Les incertitudes sont notamment liées au fait que seule des données journalières reconstituées de débits sont disponibles.
- Les débits caractéristiques de crue de l'Isère, faisant référence auprès des organismes compétents, sont issus de l'avant projet "Isère Amont" (SOGREAH, 2007) et de la mise à jour de 2014 (EGIS, 2014).
- L'hydrologie faisant référence pour la Gresse et celle issue de l'étude CIDEE (2007) pour le SIGREDA.

3.5. HYDROGRAMMES CARACTERISTIQUES DE CRUE

Les hydrogrammes caractéristiques des crues du Drac (amont) et de la Romanche sont issus d'études antérieures. Ce sont ces deux hydrogrammes qui seront injectés dans le modèle hydraulique et constituent la forme de la crue de projet. La méthode d'estimation des hydrogrammes pour les petits affluents ainsi que les hydrogrammes caractéristiques de l'Isère issus d'études antérieures sont également présentés. Enfin, les hydrogrammes de crue disponibles sur le Drac aval sont également présentés ci-dessous à titre informatif.

Rappelons qu'un hydrogramme est la représentation de la variation des débits dans le temps. La connaissance de l'ensemble de l'hydrogramme de crue et de son volume total en particulier, est indispensable et essentielle puisqu'ils constituent l'élément d'entrée des modélisations mathématiques 1D/2D transitoires qui sont réalisées dans le cadre de cette étude (Phase II : modélisation de l'aléa de référence).

3.5.1. HYDROGRAMMES DE CRUES DE LA ROMANCHE

L'hydrogramme de crue de la Romanche en aval de la plaine de Bourg d'Oisans (entre Livet-Gavet et Champsaur sur Drac) a été établie dans le cadre du Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles pour le risque Inondation par la Romanche dans son secteur aval, dénommé PPRI Romanche aval (approuvé par le préfet de l'Isère le 5 juillet 2012). Il est issu de différentes études conduites dans le cadre du Schéma d'aménagement de la Romanche pour le compte du SYMBHI (notamment HYDRETUDES, 2008 et 2009 ; SOGREAH 2011). Il prend en compte l'amortissement de la crue centennale par la plaine du Bourg d'Oisans. Se reporter à l'annexe III pour le détail de la méthode.

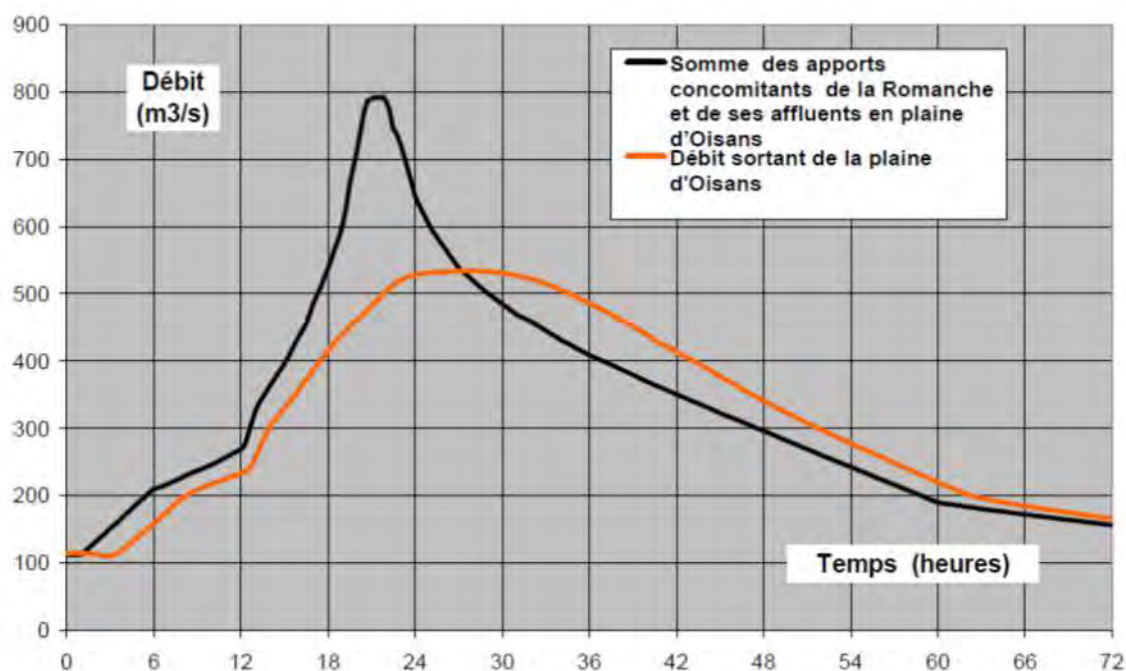


Figure 24. Atténuation de l'hydrogramme de crue dans la plaine du Bourg d'Oisans (d'après DDT, 2012)

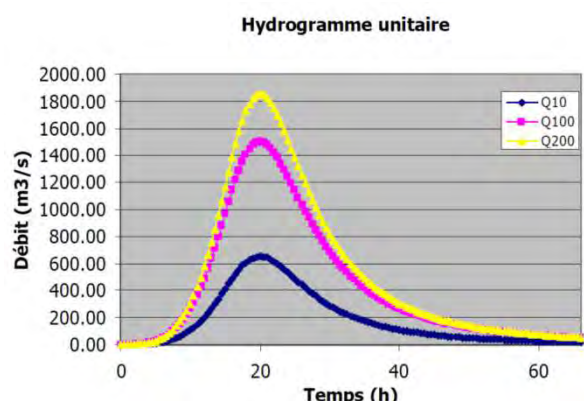
3.5.2. HYDROGRAMMES DU DRAC AMONT

Les hydrogrammes de crue disponibles sur le Drac amont sont issus :

1. De l'étude conduite lors de la mission de définition d'un schéma de remise en eau du Drac aval au niveau des barrages de Monteynard et de Notre Dame de Commiers (BURGEAP, 2006) pour la Commission Locale de l'Eau Drac Romanche (CLE Drac-Romanche).
2. Des études conduites dans le cadre du Schéma d'aménagement de la Romanche pour le compte du SYMBHI (HYDRETUDES, 2008 et 2009 ; SOGREAH 2011aetb) et utilisées dans le TRI Grenoble-Voirion (ARTELIA, 2013).
3. De l'étude SCHADDEX (EDF, 2014).

3.5.2.1. Hydrogramme issu du Schéma de remise en eau du Drac aval: BURGEAP (2006)

L'étude de BURGEAP (2006) présente des hydrogrammes de crues, utilisés pour la modélisation hydraulique. Ils ont été construits avec les hypothèses suivantes :



- Temps de montée : 20 heures. Ce temps est court car il suppose le déversement immédiat en cas de retenues pleines. En réalité, ce temps est généralement plus important du fait du rôle de laminage joué par les retenues. On se place encore une fois dans l'hypothèse d'un cas défavorable.
- Temps de base de la crue : 60 heures
- Coefficient de pointe égal à 1.6 (rapport Q_p/Q_{moy} de l'étude GRADEX d'EDF).

Figure 25. Hydrogrammes de Crue à Notre Dame de Commiers (d'après BURGEAP, 2006)

3.5.2.2. Hydrogramme issu du Schéma d'aménagement de la Romanche : SOGREAH (2011a)

Le graphique suivant présente les hydrogrammes pour la période de retour de 100 ans de la Romanche, du Drac en amont de la confluence et du Drac aval, utilisés dans le Schéma d'Aménagement de la Romanche.

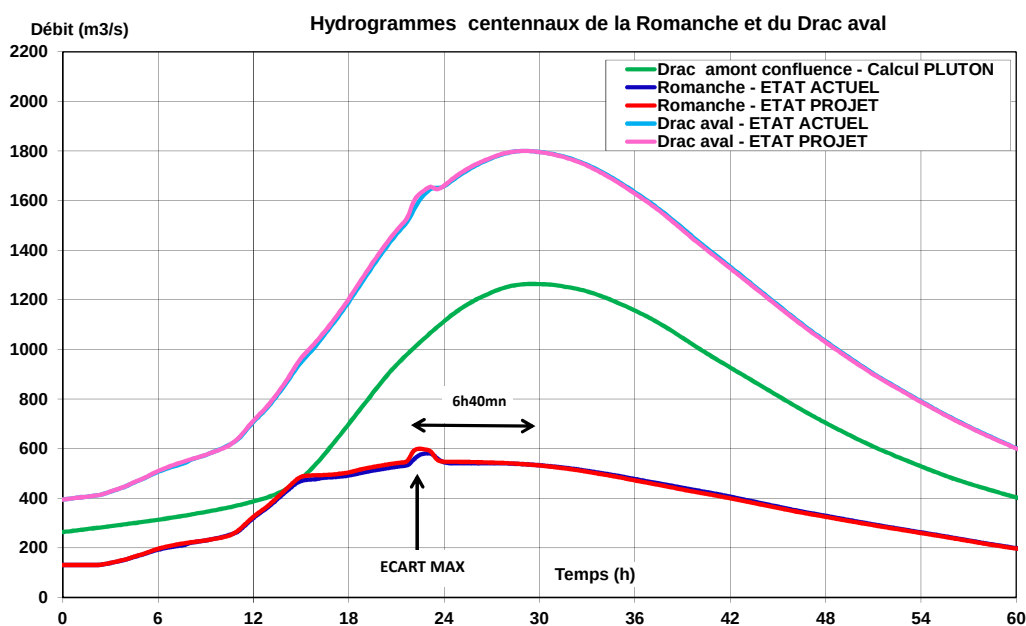


Figure 26. Hydrogrammes centennaux de la Romanche et du Drac (d'après SOGREAH, 2011a)

Ces hydrogrammes sont déduits des hydrogrammes réalisés sur le **Drac en amont de la confluence** à l'aide du logiciel PLUTON (présenté dans l'annexe du rapport de SOGREAH 2011a).

En se basant sur certains nombres d'hypothèses, Pluton est un programme permettant la modélisation de la transformation pluie - ruissellement en hydrologie :

1. Le bassin est découpé en 8 unités élémentaires ; caractérisées par leur superficie, leur longueur, leur pente et leur coefficient de ruissellement.
2. La fonction de transfert utilisée est de celle de l'hydrogramme unitaire (HU) fonction du temps de concentration (lui-même fonction de la superficie, de la pente et de la longueur de l'unité) et du coefficient de ruissellement de l'unité.

3. **La pluie est considérée comme répartie de manière homogène sur le bassin versant.** Elle est définie à partir de la pluie journalière moyenne centennale ($P=180 \text{ mm/jour}^8$) et issue des courbes IDF (Intensité Durée Fréquence) de la région. Les coefficients a et b de la relation intensité-durée-fréquence (formule de Montana $I = a.t^{-b}$) sont déduits de la méthode SPEED développée par SOGREAH : $a = 0.4 \times P_j$ et $b = 0.67$. Il vient $I \text{ (mm/h)} = 72.t(h)^{-0.67}$ avec $t(h)$ la durée critique de la précipitation pour laquelle le débit de pointe est maximal. Par définition, cette durée critique est égale à la durée de concentration du bassin versant.
4. Les hydrogrammes calculés à l'exutoire de chaque unité peuvent être combinés entre eux en prenant en compte, le cas échéant, un décalage temporel lié au temps de routage de l'hydrogramme le long d'un tronçon (acheminement).
5. Les barrages ne sont pas considérés. Il s'agit d'une réponse hydrologique non influencée.

Par la suite, et comme cela a été considéré lors des études liées au Schéma d'aménagement de la Romanche, l'hydrogramme du Drac amont a été modifié en amplitude de manière proportionnelle pour faire en sorte que le débit de pointe aval corresponde à une crue centennale du Drac au Rondeau ($1800 \text{ m}^3/\text{s}$). Le débit de pointe du Drac amont est alors de $1264 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.5.2.3. Hydrogramme issu de l'étude SCHADEx à Monteynard : EDF (2016)

Un hydrogramme de référence est proposé (hydrogramme centré normé) dans l'étude SCHADEx de EDF à Monteynard (EDF, 2016). Faute d'hydrogramme à faible pas de temps ($<24\text{h}$) enregistrés au niveau de l'aménagement, il a été construit sur la base de données de la méthode SHyDONHy, qui rassemble près de 100 000 hydrogrammes issus de 1300 stations françaises et suisses. Au final, 98 hydrogrammes sur 15 stations dites « stations donneuses » ont été sélectionnées (stations hydrométriques de fonctionnement hydrologique proche) de telle manière que :

- le coefficient de forme centré est proche du ratio Q_X/Q_{24h} centré identifié pour la crue millénale de référence, soit $1.48 \pm 10\%$.
- l'hydrogramme médian résultant démarre sur le débit de base inférieur au débit maximal turbinable de l'usine de Monteynard (soit environ $300 \text{ m}^3/\text{s}$).

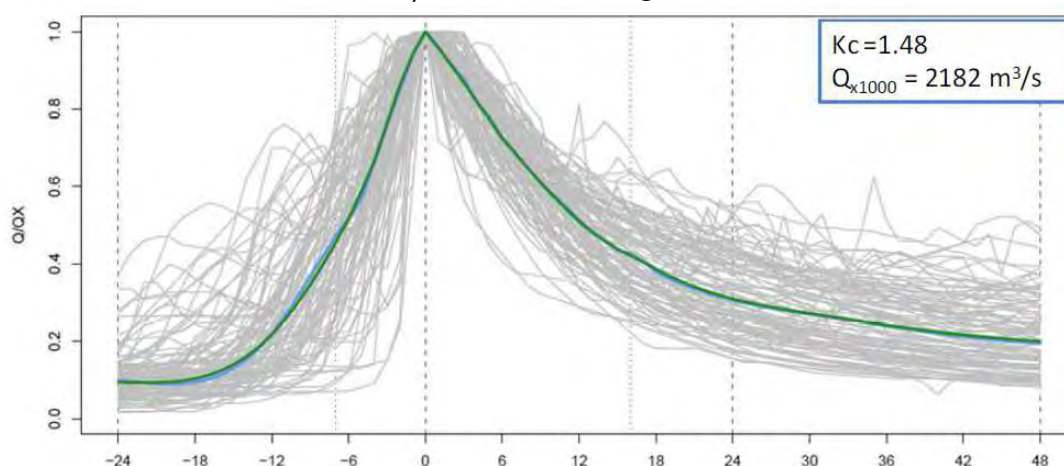


Figure 27. Hydrogramme de référence à Monteynard établi à partir d'une sélection de 98 évènements observés sur 15 stations hydrométriques de fonctionnement hydrologique proche. En vert l'hydrogramme de référence est proposé (hydrogramme centré normé) (EDF, 2016).

⁸ Cette valeur n'est pas explicitée dans le rapport NT3. Dans le rapport TRI-Grenoble-Voirion, page 20 ; une valeur de 116 mm/jour pour un temps de 100 ans est considérée pour le bassin versant complet du Drac. Dans le rapport d'EDF, une pluie de 130 mm/jour à Fontaine est considérée.

Le graphique suivant présente la comparaison des 3 hydrogrammes centrés normés. La forme des deux hydrogrammes issus de l'étude Burgeap (2006) et de l'étude SCHADEX (EDF; 2016) est relativement similaire. La forme de l'hydrogramme issu de l'étude du rapport de SOGREAH (2011a) est écartée. L'hydrogramme retenu au final pour la présente étude par le comité d'experts est celui de l'étude SCHADEX (EDF; 2016).

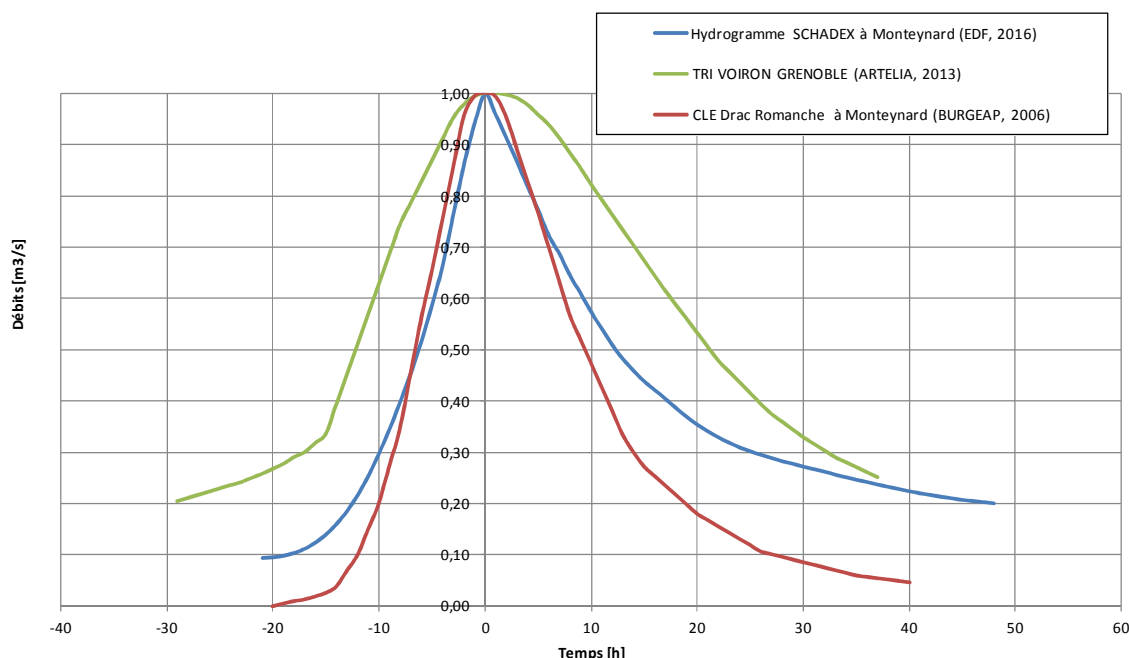


Figure 28. Comparaison des hydrogrammes de référence (centré normé)

3.5.3. HYDROGRAMMES DES AUTRES AFFLUENTS

L'objectif est de produire des hydrogrammes de référence à injecter dans le modèle hydraulique qui représente de manière cohérente la réponse hydrologique à une sollicitation pluviométrique de type pluie uniforme sur l'ensemble des 3 sous-bassins versants considérés (Gresse, Lavanchon et Bouttonnière)⁹. Le bassin du ruisseau des boutonnières à Seyssins n'est pas étudié du fait de sa très faible taille de bassin versant (la crue, même centennale, n'influence pas celle du Drac).

Les 2 hydrogrammes théoriques pour le temps de retour 100 ans ont été bâtis sur la base des **hydrogrammes de SOCOSE** (avec D durée caractéristique du bassin versant en heure) et des débits de pointe estimés précédemment. Les paramètres de la formule du temps caractéristique utilisés pour construire les hydrogrammes théoriques sont explicités dans le tableau suivant :

⁹ Pour la Gresse, la seule information, récupérée est que l'hydrogramme choisi dans l'étude CIDEE (2006) est de type simple triangle, calculé sur une durée de 6 heures.

Tableau 12. Débits fréquents des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche (d'après SOGREAH, 1999)

	La Gresse	Le Lavanchon
Débit de pointe Q100 ans (m ³ /s) [1]	200	80
Surface (km ²) [2]	173.0	51.0
Pa (mm) [3]	1300.0	1300.0
Pj(10) (mm) [4]	85.0	85.0
Ta (°C) [5]	11.9	11.9
Ds (h)	31.6	21.4

[1] Débits fréquents des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche (d'après SOGREAH, 1999) - Fourchette haute de l'étude CIDEE (2006)

[2] Issues de l'étude CIDEE (2006) pour la Gresse et le Lavanchon et d'un traitement SIG pour la Boutonnière.

[3] Pluie moyenne sur le bassin (Pa). La lame d'eau moyenne spatiale sur le bassin versant du Drac s'élève à environ 1300 mm/an sur la période 1959-2010. Cette valeur est comparable à celle observées sur le plateau du Vercors : cumul annuel moyen à Villard de Lans entre 1961 et 1997 : 1310 mm (CIDEE, 2006).

[4] La pluie journalière de temps de retour 10 ans Pj(10) a été estimée sur le bassin versant du Drac à 85 mm sur la période 1959-2010 (EDF, 2014).

[5] La température moyenne est celle estimée par Gottardi (2009) à Grenoble sur la période 1953-2010.

Ces hydrogrammes ne tiennent pas compte du laminage des crues en cas de débordements à l'amont de la confluence avec le Drac.

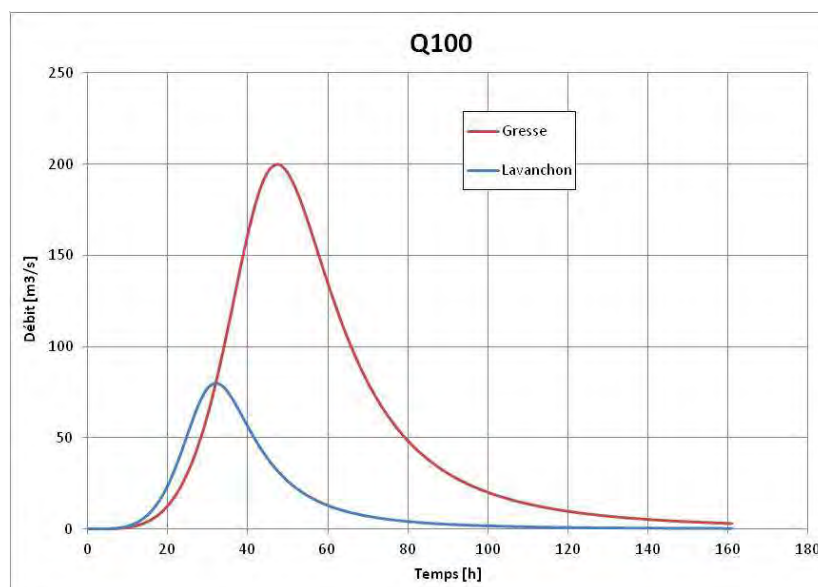


Figure 29. Hydrogrammes de référence d'une crue centennale pour les 2 affluents avals du Drac considérés dans le PPRI (Gresse, Lavanchon)

3.5.4. HYDROGRAMMES DE L'ISERE

Les hydrogrammes de crue disponibles sur l'Isère dans la traversée de Grenoble sont issus de la mise à jour hydraulique conduite dans le cadre de la maîtrise d'œuvre des Tranches 2 et 3 du projet "Isère Amont" pour le compte du SYMBHI (EGIS, 2014).

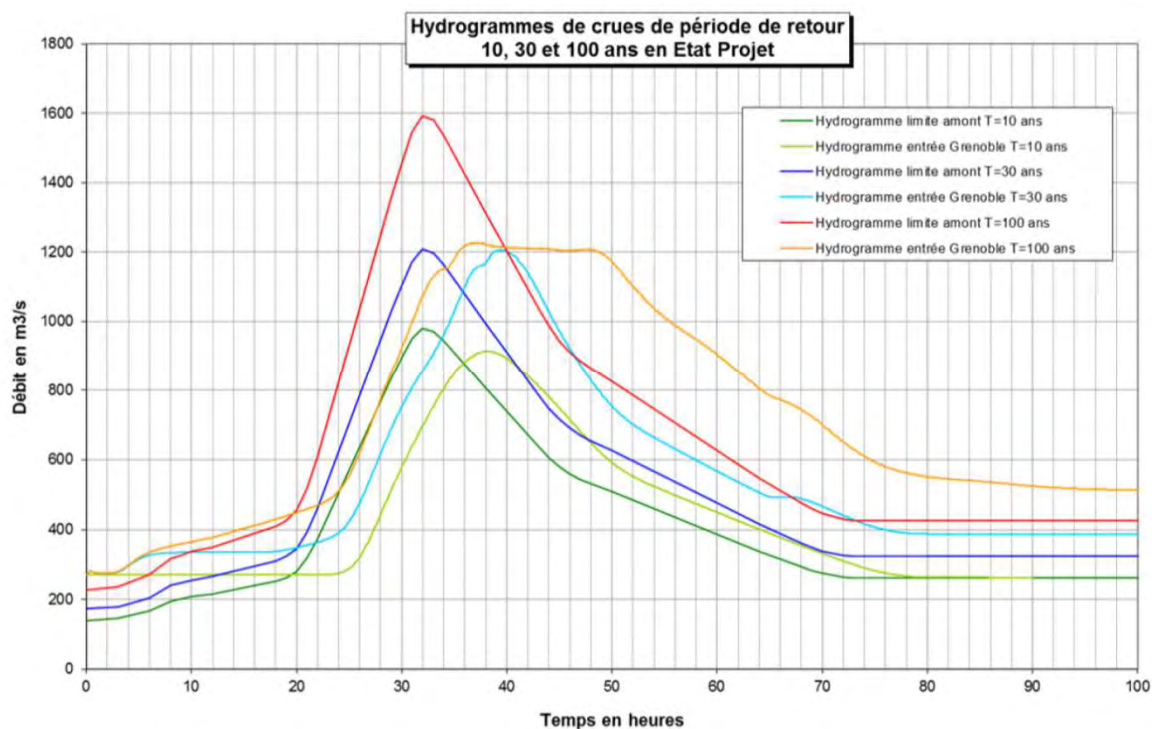


Figure 30. Hydrogrammes en amont et en aval de la zone d'étude pour les différentes crues de projet (EGIS, 2014).

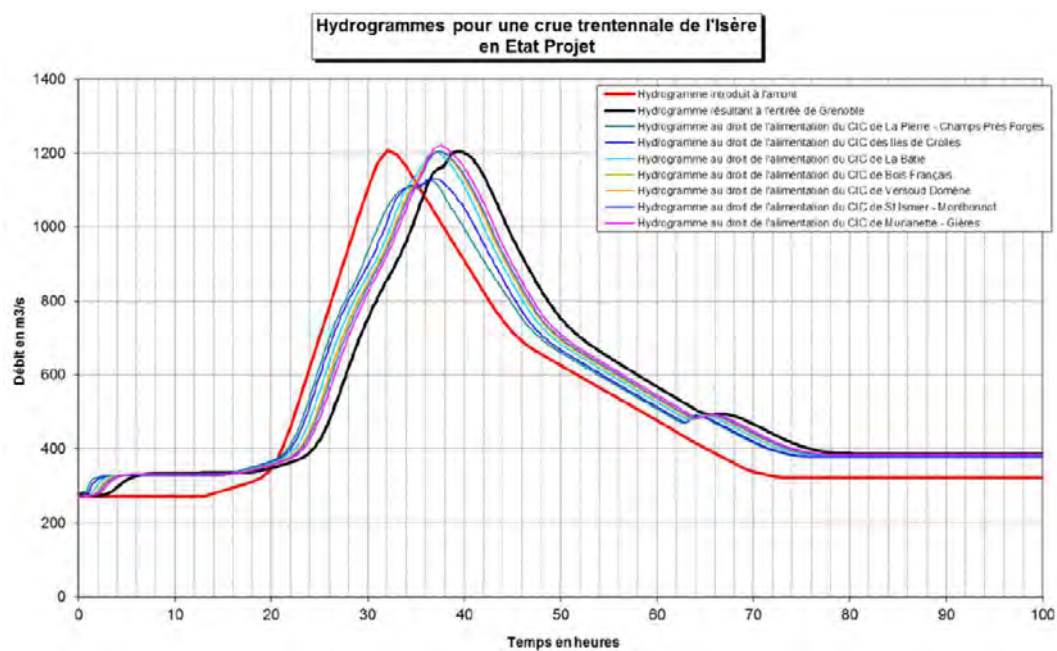


Figure 31. Hydrogrammes dans le lit mineur de l'Isère au droit des CIC (casiers d'inondation contrôlés) pour une crue trentennale à l'état projet (EGIS, 2014).

3.5.5. HYDROGRAMMES DU DRAC AVAL

A titre informatif, les hydrogrammes de crue disponibles sur le Drac aval sont également présentés ci-dessous. Ils sont issus :

1. Des études conduites dans le cadre du Schéma d'aménagement de la Romanche pour le compte du SYMBHI (HYDRETUDES, 2008 et 2009 ; SOGREAH 2011aetb) et utilisés dans le TRI Grenoble-Voiron (ARTELIA, 2013).
2. De l'étude SCHADEX (EDF, 2014).

3.5.5.1. Hydrogrammes TRI Grenoble-Voiron

Le graphique suivant présente les hydrogrammes du Drac en amont de la digue de la Ridelet à Claix pour les périodes de retour de 100, 200, 500 et 1000 ans utilisés dans le TRI Grenoble - Voiron.

Ces hydrogrammes sont déduits des hydrogrammes réalisés :

- Sur la romanche (HYDRETUDES, 2008 et 2009) comme présenté ci-dessus.
- Et sur le Drac en amont de la confluence (SOGREAH 2011 aetb) comme présenté ci-dessus.

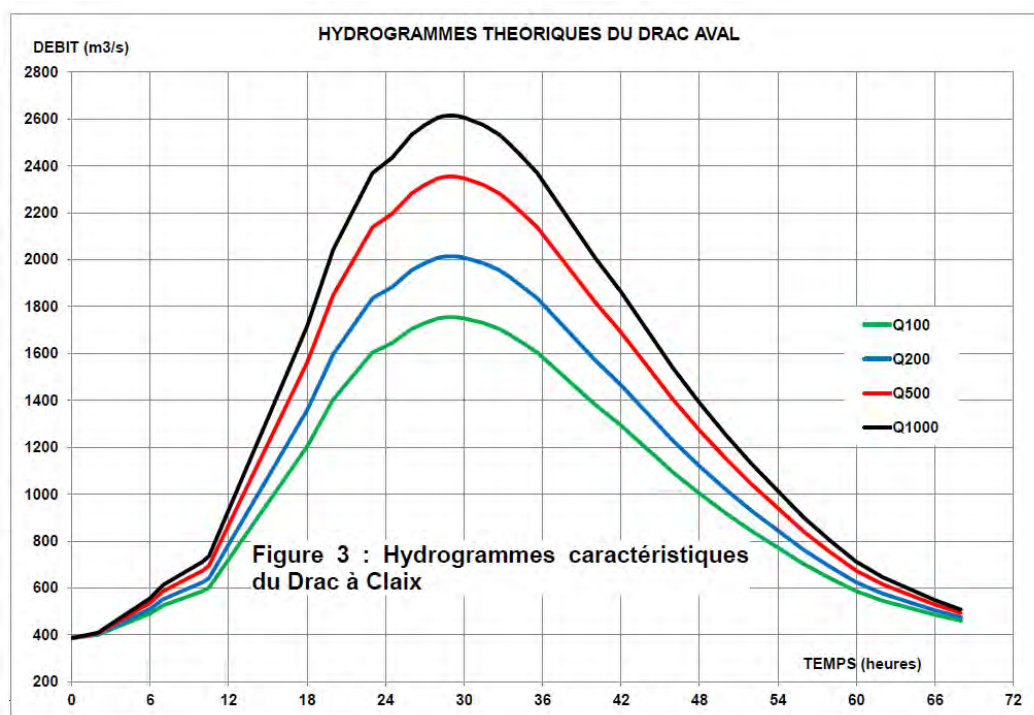


Figure 32. Hydrogrammes caractéristiques du Drac à Claix (ARTELIA, 2013).

3.5.5.2. Hydrogramme issu de l'étude SCHADEX à Monteynard : EDF (2014)

Un hydrogramme de référence est proposé (hydrogramme centré normé) dans l'étude SCHADEX de EDF du Drac à Fontaine (EDF, 2014). Il est établi à partir des 10 crues sélectionnées pour l'étude du coefficient de forme selon la méthode de référence garantissant des temps de retour homogènes pour tous les gradients et sous-volumes de crue le composant. Une forme probable de l'hydrogramme millénal du Drac à Fontaine résultant est présentée sur la figure suivante. Rappelons que comme indiqué en introduction, ces résultats ne tiennent pas compte de l'écêtement des crues réalisé par le laminage des retenues situées en amont de Fontaine, ni du laminage hydraulique naturel dans le lit majeur du Drac en aval de sa confluence avec la Romanche.

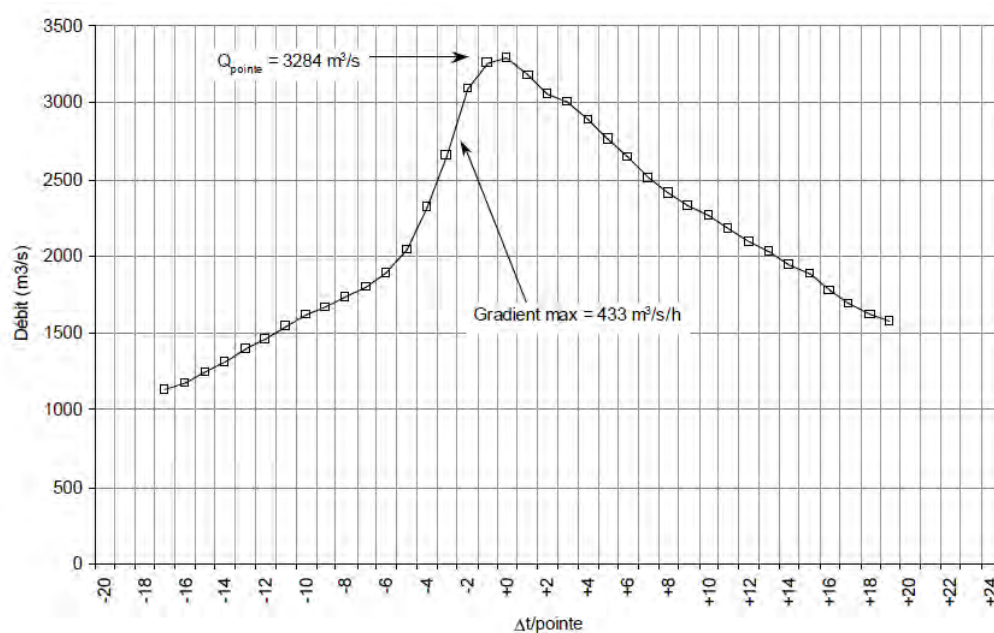


Figure 33. Hydrogramme de référence d'une crue millénaire du Drac à Fontaine (EDF, 2014)

A retenir :

- Comme pour les débits de pointe, l'estimation des hydrogrammes caractéristiques de crue se base sur différentes méthodes d'analyse faute de données suffisantes.
- **L'hydrogramme de crue centennale de la Romanche, faisant référence dans le PPRI Romanche, est retenu.** Il tient compte de l'amortissement naturel de la crue dans la plaine de Bourg d'Oisans.
- **L'hydrogramme de crue centennale du Drac en amont de la confluence avec la Romanche issu de l'étude SCHADEX de EDF 2016 est retenu** pour la présente étude par le comité d'experts. Cet hydrogramme ne tient pas compte du laminage des crues en cas de débordements à l'amont de la confluence avec le Drac (cela sera pris en compte dans le modèle hydraulique). La transparence des barrages est considérée.

4. DEFINITION DE LA CRUE DE REFERENCE

Comme évoqué dans l'introduction, les deux questions essentielles suivantes auxquelles l'étude doit répondre sont :

- Existe-t-il des crues historiques plus fortes que la crue centennale ? Sont-elles suffisamment documentées pour servir d'événement de référence ?
- Quel scénario de référence (hydrogrammes) faut-il injecter dans les modélisations hydrauliques pour respecter la crue de référence du Drac de l'amont à l'aval ?

4.1. IDENTIFICATION DE LA PLUS FORTE CRUE SUR LE PERIMETRE PPRI DRAC AVAL

Pour rappel, la doctrine PPRI demande de définir « la plus forte crue connue » et de lui associer un temps de retour. En effet, si cette crue historique est plus faible qu'une crue centennale, la doctrine prévoit de prendre cette dernière comme crue de référence.

4.1.1. SOURCES D'INFORMATIONS UTILISEES

Afin de rechercher les plus fortes crues connues sur le Drac les données suivantes ont été analysées :

- **Données sur le réseau hydrométrique français** qui alimentent la banque de données HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr>) mais dont la majorité des séries hydrologiques bancarisées (près de 85%) débutent dans les années 1960. L'annexe II présentent les crues "modernes" remarquables identifiées à partir de ces mesures.
- **Données anciennes** renseignées dans des rapports techniques des services hydrométriques, dans des publications scientifiques ou dans des retours d'expérience post-événements. Ces publications, aujourd'hui souvent numérisées et disponibles sur Internet constituent des sources d'informations précieuses pour les hydrologues, notamment dans le cadre des PPRI.

L'annexe I présente l'ensemble des données récupérées et analysées sur les crues historiques.

Les principales sources de données anciennes analysées sont :

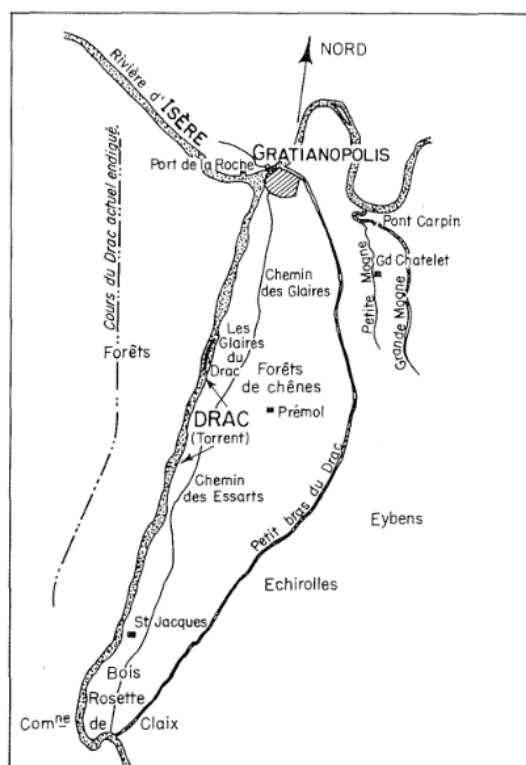
1. Les nombreuses publications du début du 20^{ème} siècle, notamment publiées dans la Revue de géographie alpine¹⁰ (écrites par Pardé 1925, 1929, et d'autres auteurs), la thèse de D. Cœur (2008) et l'ouvrage de Lang & Cœur (2014)¹¹. Les estimations de débits de crue consignées par Maurice Pardé dans les publications numérisées (Pardé, 1925 a et b ; Bouchayer, 1925 ; Pardé, 1929, Pardé, 1941, Pardé 1942) sont généralement issues de hauteurs d'eau observées et sont considérées comme assez robustes.
2. Les séries d'annuaires hydrologiques numérisés (publiés entre 1939 et 1969) incluant, entre autres, des observations de débits sur un ensemble de stations hydrométriques

¹⁰ Disponibles sur le portail de <http://www.persee.fr/collection/rga>

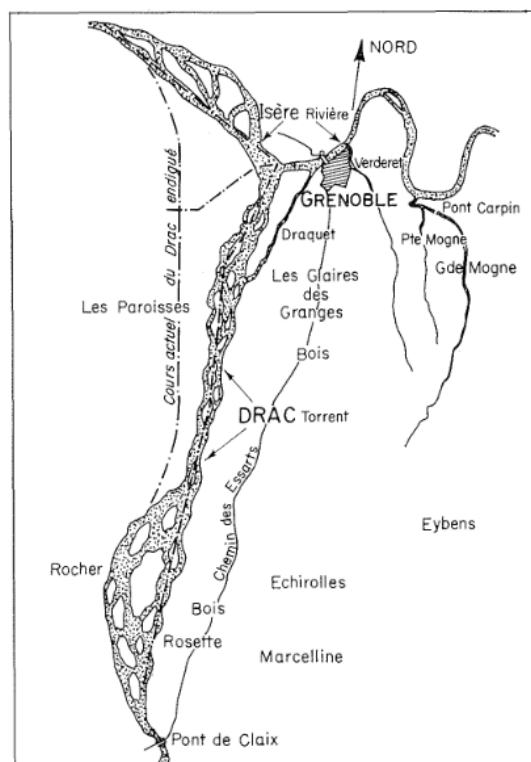
¹¹ C'est dans le cadre de l'EPRI (Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation) que l'Irstea et D. Cœur (historien) ont réalisé un recensement de près de 2000 inondations sur l'ensemble du territoire, qui couvre une période de plus de deux cents ans (de 1770 à 2011). En collaboration étroite avec les services de l'Etat, un choix d'environ 300 événements remarquables a ensuite été établi, pour lesquels une description courte (1 à 2 pages) passe en revue la genèse de l'inondation et ses conséquences. L'une des premières valorisations de cette énorme enquête est la publication de cet ouvrage qui rassemble des informations sur environ 175 inondations.

françaises inédites, proposées sur Internet par la SHF (Société hydrotechnique de France).

3. Les estimations consignées dans les notes de l'Ingénieur Gentil sur la crue de mai 1856 datant de 1957 (Gentil, 1957) et reprises par le Service de Prévision des Crues des Alpes du Nord en 2017 (SPC, 2017).
4. Les cartes anciennes du tracé du Drac. La pression anthropique croissante exercée sur le Drac au cours des siècles dernier a engendré la métamorphose du chenal. Les cartes ci-dessous sont présentées à titre informatif.



7/ Confluent du Drac antérieurement au XV^e siècle.



8/ Confluent du Drac 1494-1676, canal de Maître Le Ligeois.

Figure 34. Le cours ancien du Drac (source : Blanic, 1974)

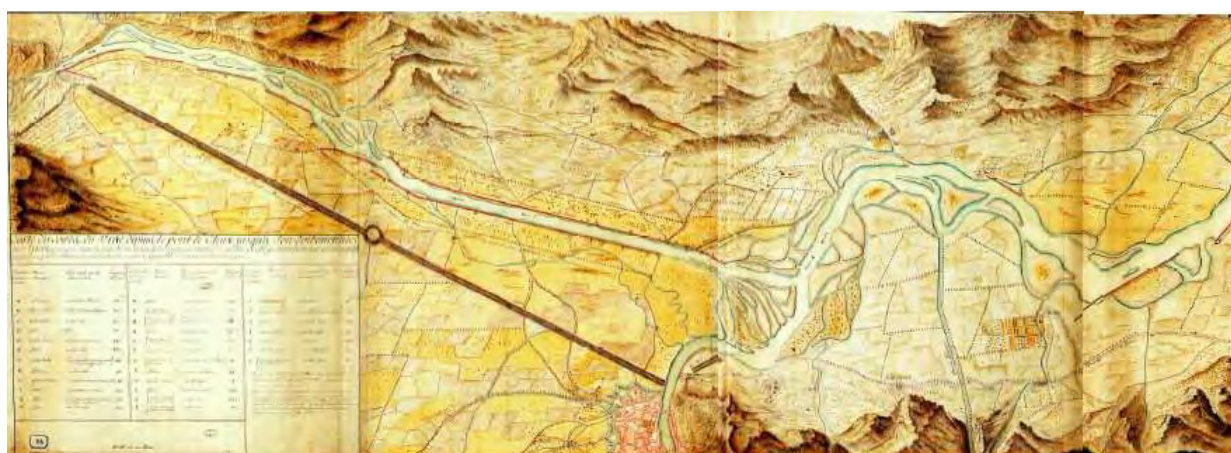


Figure 35. Etat des travaux réalisés le long du Drac, par Jean Verduc – 1718 - ANNEXE II-40 (Cœur, 2003)

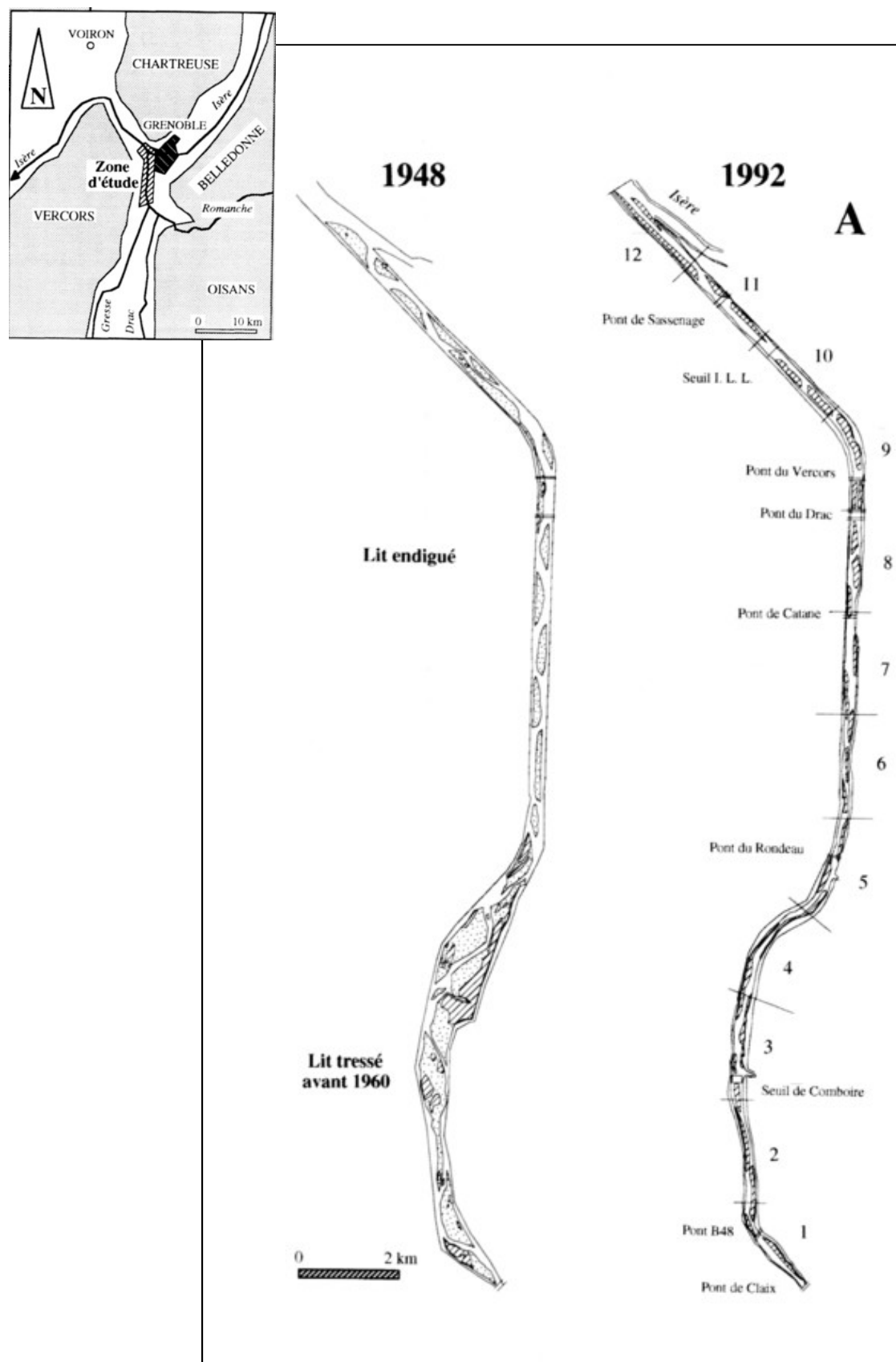


Figure 36. Changements du style fluvial du Drac entre 1948 et 1992 (Peiry et Nougulier, 1994)

4.1.2. LES PLUS FORTES CRUES CONNUES

L'analyse des données anciennes (annexe I) et modernes (annexe II) montrent qu'il faut rechercher la **crue la plus remarquable du Drac** (en amont et en aval de la confluence avec la Romanche) dans les données anciennes. La plus forte crue moderne date de 1993 avec un débit de pointe sur l'épisode de 826 m³/s enregistré à Fontaine.

Le tableau suivant présente les 5 plus fortes crues "historiques" ainsi sélectionnées.

Tableau 13. Synthèse des 5 plus fortes crues historiques estimées sur le périmètre du PPRi Drac aval (de l'amont vers l'aval) avec indication de la crue de l'Isère.

	Romanche à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Drac à Grenoble	Isère à Grenoble
1er Novembre 1843	-	-	1700 ou 1.800 m ³ /s (à Fontaine) [3]	-
30 Mai 1856	575-600 m ³ /s (vers Vizille) [1] [2] [4] 500-550 (vers Vizille) [7]	700 - 800 m ³ /s (Drac au Sautet) 1.200 - 1.300 m ³ /s (à Champ sur Drac) [3] 1250 m ³ /s (au pont de la Rivoire) [7]	1880- 2000 m ³ /s [3] [5] 1835 m ³ /s (pont suspendu) [7]	1120 m ³ /s (le 31 mai) [2] 1200 m ³ /s (le 31 mai) [7]
23 Juillet 1914	-	900 m ³ /s (Drac au barrage de Pont du Loup) [1]	1240 m ³ /s (Drac à Grenoble) [3]	970 m ³ /s (m ³ /s) (le 24 juillet) [2]
22 Octobre 1928	400-500 m ³ /s à la confluence [3]	700 m ³ /s (Drac au Sautet) 1100 m ³ /s (Drac à Champ sur Drac) [3]	1600 m ³ /s (à Fontaine) [3]	950 m ³ /s (m ³ /s) (le 22 octobre) [2]
15 Septembre 1940	580 m ³ /s (Au barrage de Noyerschut) 650 m ³ /s à Séchilienne [4]	291 m ³ /s (Drac au Sautet à 14h) [4] 250 m ³ /s (Bonne à Pont-Haut) [2]	700-750 [4] 800 m ³ /s [2] 1100 m ³ /s [6]	950 m ³ /s (m ³ /s) (le 22 octobre) [4]

[1] Pardé (1942) dans « Quelques nouveautés sur le régime du Rhône », édité en 1942 et réédité en 2004 ; cité par SOGREAH (2011d)

[2] Annuaire Hydrologique de la SHF (1940).

[3] Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)

[4] Pardé (1941) dans la revue de géographie alpine de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)

[5] Pardé (1925) dans "« Le régime du Rhône », tome 2 (Isère, Rhône moyen, Rhône inférieur et affluents) et réédité en 2004 ; cité par SOGREAH (2011d)

[6] DDE cité par SOGREAH (2011d)

[7] Rapport Gentil (1957) transcrit par SPC (2016).

Trois crues sont relativement bien documentées : la crue de mai 1856, la crue 22 Octobre 1928 et celle du 15 Septembre 1940 relativement plus faible.

La crue de mai 1856

Pour le Drac, la **crue de mai 1856 est la plus forte crue connue**. Les différents points suivant sont à relever sur cette crue :

- **Origine de la crue du Drac de mai 1856:**

Les différents sous-bassins versant du Drac amont et de la Romanche ont contribué de manière significative à la formation de cette crue exceptionnelle. Les apports des différents affluents de l'amont vers l'aval ont contribué à sa puissance. Pardé (1929) souligne que le 29 et le 30 mai 1856, la Romanche semble avoir battu tous ses records. Il évoque une contribution du Drac, dans son cours supérieur, qui fut "certainement énorme".

La crue historique du Drac de mai 1856 résulte d'une crue généralisée liée à la concordance exceptionnelle d'une pluviométrie océanique et d'une pluviométrie méditerranéenne (les deux phénomènes se sont succédés provoquant des cumuls de pluie très importants sur une longue période et une saturation du bassin très importante). Les cumuls les plus importants sont apportés par l'averse méditerranéenne des 28-30 mai (190 mm en deux jours dans la vallée du Drac) d'après la BDHI.

La crue a été aggravée par la fonte des neiges (facteur aggravant lié au vent chaud soufflant du sud-ouest).

- **Estimation des débits de pointes et chronologie de la crue du Drac de mai 1856 :**

Le débit du Drac au Sautet serait de 700 - 800 m³/s et de 1.200 - 1.300 m³/s (Drac à Champ sur Drac) d'après Pardé (1929). La contribution de la Romanche à la confluence avec le Drac est estimée par Pardé en 1925 à près de 700-800 m³/s. Elle est corrigée en 1942 par le même auteur avec une hypothèse à 600 m³/s. Les valeurs de pic de crues du Drac aval estimées par Pardé (1925, 1929) se situent entre 1880 - 2000 m³/s.

Pardé (1925) insiste sur l'importance des débordements à Bourg d'Oisans et ses alentours qui "arrondissent de façon caractéristiques le sommet du graphique" (c'est-à-dire des hydrogrammes). Il évoque le profil "arrondi" de la crue de la Romanche à Bourg d'Oisans. Il souligne aussi le fait que l'étalement de débits importants (du fait de l'amortissement de la crue) favorise la coïncidence d'importants débits en aval. Phénomène qui se produit à la fois sur la confluence Drac/Romanche et Isère/Drac.

Les notes de l'inspecteur Gentil (Gentil, 1957) présente des débits de pointes dans une gamme plus restreinte et une chronologie de la crue du Drac de mai 1856 (cf. hydrogrammes dans la figure suivante) :

1. Le débit maximum du Drac au pont de la Rivoire est estimé à 1250 m³/s vers 5-6 heures du soir le 30 mai 1856.
2. Le débit maximum de la Romanche vers Vizille est estimé entre 500-550 m³/s vers 6 heures du soir le 30 mai 1856.
3. Au confluent de la Romanche et du Drac, le maximum a été atteint à 6 heures ½ du soir et a duré 1 heure ½. Il résulte de ces renseignements **qu'il y a eu coïncidence à peu près complète dans les maxima du Drac et de la Romanche.**
4. Le débit maximum de la Gresse a eu lieu le 30 mai de 9 heures du matin à midi. Cette crue a été bien moindre que les crues observées en 1849 et en 1846. La plus grande partie de cette crue était donc écoulée lors du maximum à l'aval. Au moment du maximum du Drac c'est-à-dire le 30 mai à 6h½ du soir, la Gresse débitait au plus 60 m³/s. **Il n'y a donc pas eu de concomitance des maxima des crues du Drac et de la Gresse.**

5. Le débit maximum du Drac au pont suspendu (2800 m en amont de la confluence) est estimé à 1835 m³/s entre 22:00 et 00:00 le 30 mai 1856. Cette valeur est plus faible que celle de Pardé (1925, 1929).

- **Conditions aval de la crue du Drac de mai 1856 (apport de l'Isère) :**

La crue de l'Isère n'est pas exceptionnelle, mais déjà assez considérable. D'après Gentil (1957), le maximum de la crue à Grenoble, a eu lieu le 31 mai de 16:30 à 19:00, avec un débit estimé à 1200 m³/s.

Il n'y a donc pas eu de concomitance des maxima des crues du Drac et de l'Isère mais pour la crue du Drac, les conditions aval (apport de l'Isère) restent assez défavorables : au maximum du Drac, l'Isère cotait environ 3.60 m, soit au moins 900 m³/s d'après Pardé (1929a). D'après Gentil (1957), le débit de crue de l'Isère au moment du maximum de crue du Drac est estimé à 940-1045 m³/s entre 22:00 et 00:00 le 30 mai 1856.

Au final, à l'aval de la confluence avec le Drac, le maximum de débit de l'Isère est essentiellement déterminé par la crue du Drac avec un débit maximum de 2880 m³/s dans la nuit du 30 au 31 mai (autour de minuit).

La crue du 29 octobre 1928 :

La **crue du 29 octobre 1928** est également intéressante. C'est la deuxième crue la plus forte pour laquelle des estimations de débits existent. Comme l'évoquait Pardé (1929a) et cela est toujours d'actualité "aucune crue ne s'est approchée de celle d'octobre 1928, depuis 1856". Elle est, par ailleurs, mieux documentée (Pardé, 1929a et b). L'intensité de la crue est à peine plus faible que celle de 1856 avec un débit de 1 600 m³/s à Fontaine. Elle appartient au même type de crues que celle de 1856, c'est-à-dire qu'elle résulte de la combinaison des mêmes phénomènes décrits ci-dessus. Pour cette crue, Pardé (1929) propose des hydrogrammes de crue (cf. reproduction dans la figure suivante). La Romanche n'est malheureusement pas représentée (stations détruites?).

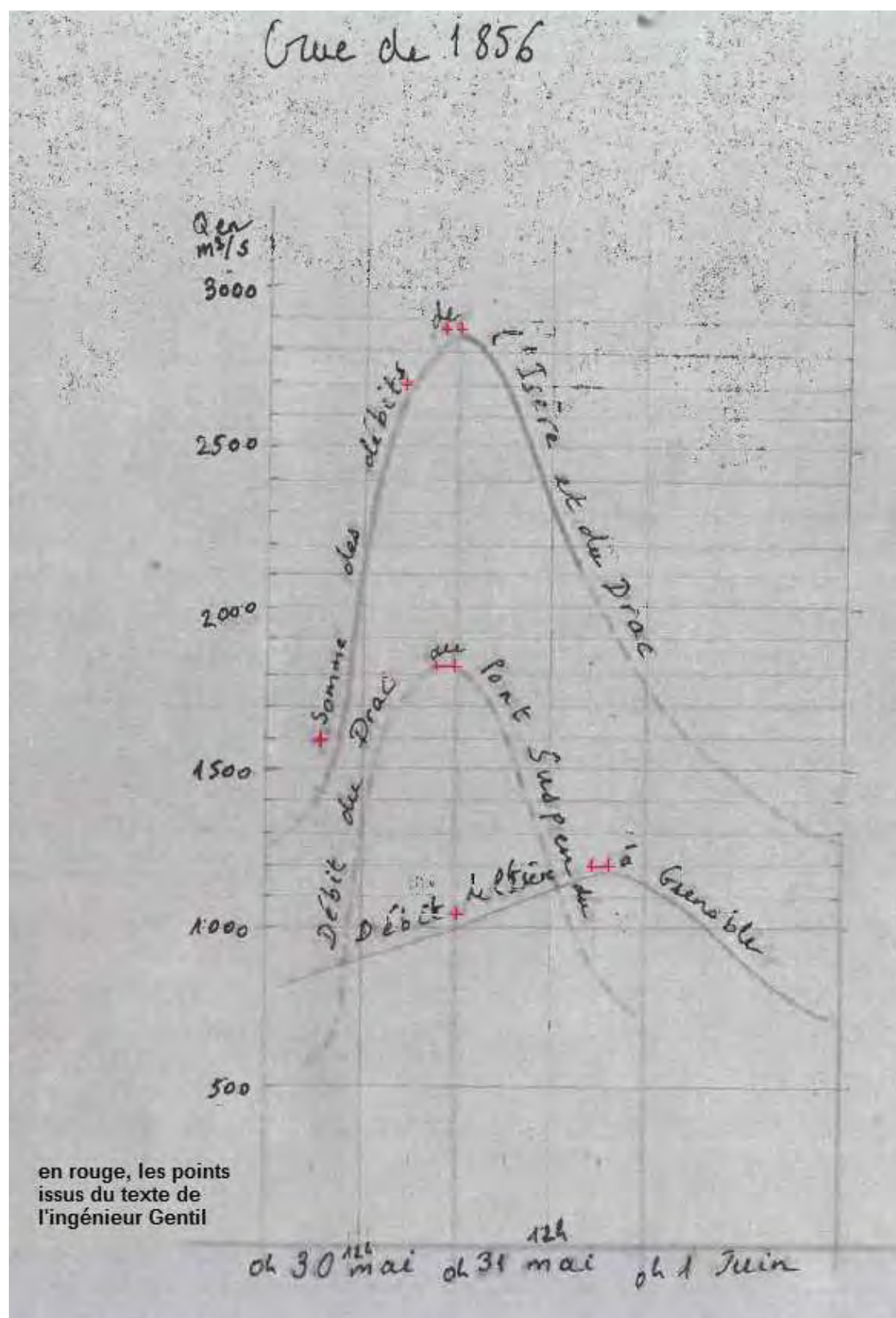


Figure 37. Crue du 30-31 mai 1957 (Gentil, 1857) - Commentaires SPC (2017)

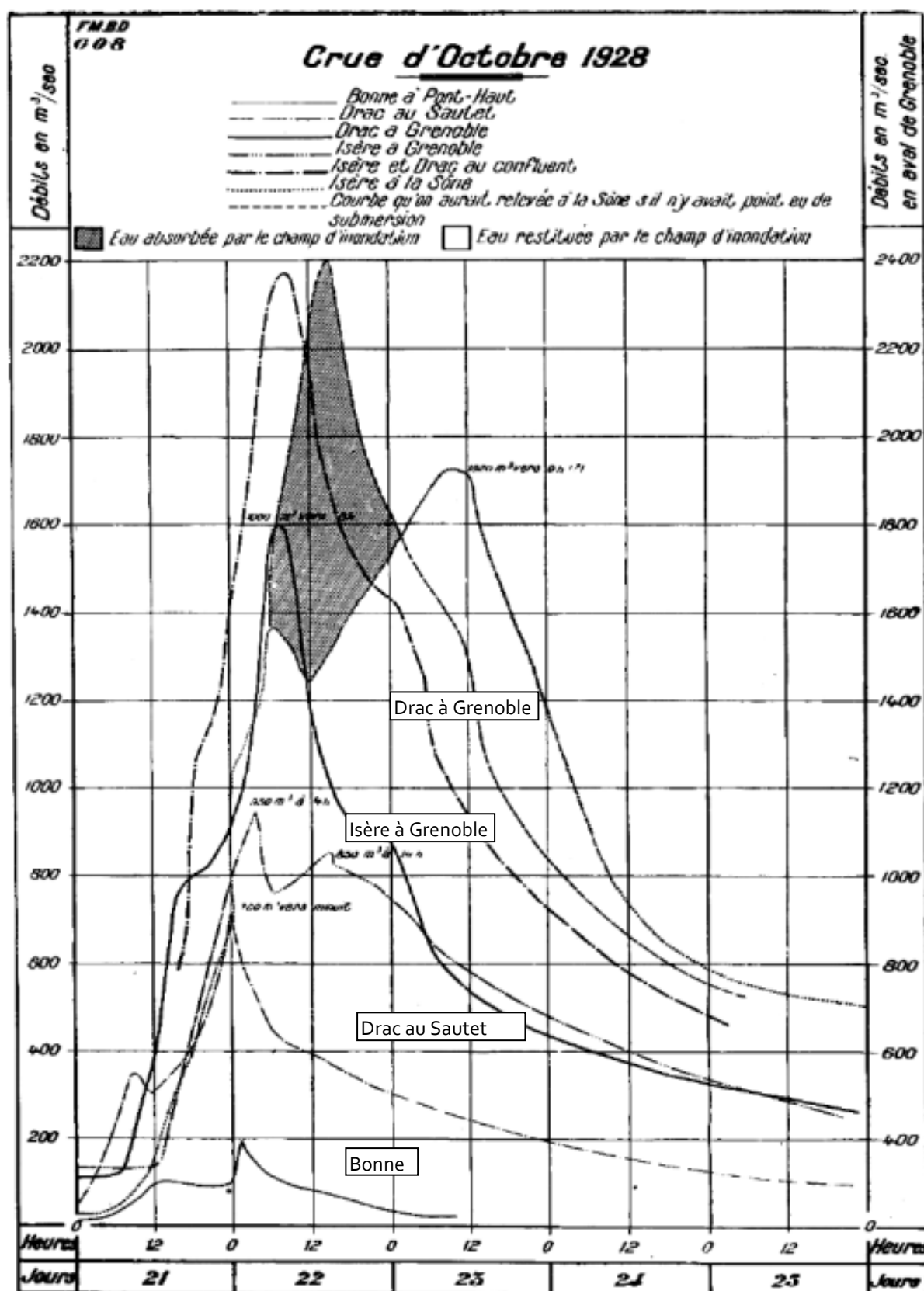


Figure 38. Crue d'Octobre 1928 (Pardé, 1929- page 369)

La crue de septembre 1940 :

La crue de **septembre 1940** est a priori plus importante sur la Romanche que sur le Drac amont du fait d'une origine des pluies crue essentiellement océaniques (c'est-à-dire amenée par les vents d'Ouest à Sud-Ouest) bien que ces flux océaniques furent accompagnés de phénomènes orageux localisés qui ont touchés tout le bassin. Pour cette crue, les retenues du Chambon sur la Romanche et du Sautet sur le Drac existent (barrages mis en eau en 1935) et ont sans doute joué un rôle modérateur d'après Pardé (1941) : *"il semble qu'une rupture des digues aurait eu lieu si les barrages du Sautet et du Chambon n'avaient pas retenu, le premier 291 mc¹². du Drac, et le second 70 mc. de la Romanche"*. Il n'est pas possible de préciser davantage le rôle des retenues.

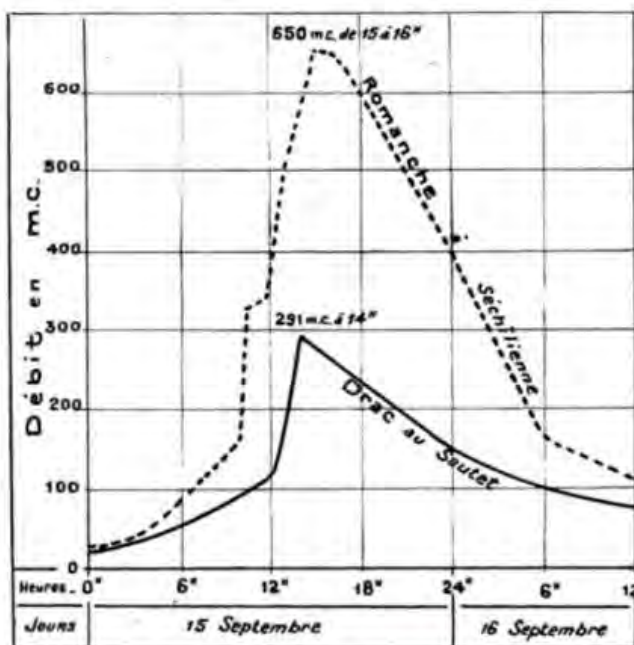


Fig. 2. — Graphique des crues du haut Drac et de la Romanche en septembre 1940.

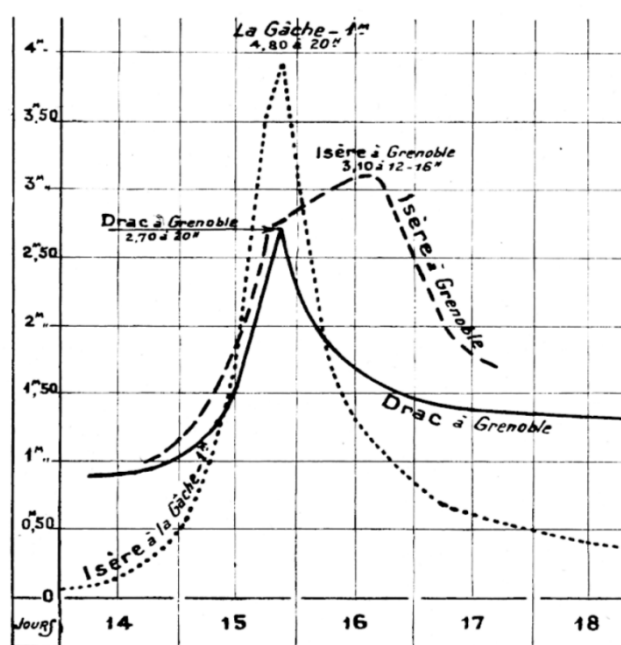


Fig. 1. — Graphique en hauteurs d'eau des crues de l'Isère et du Drac en septembre 1940.

Figure 39. Crue du 15-16 septembre 1940 (Pardé, 1941)

4.1.3. LES TEMPS DE RETOUR ASSOCIES AUX CRUES

Différents jeux de données et différentes méthodes d'analyses statistiques et d'extrapolation de la distribution de crue ont été utilisés pour établir les débits caractéristiques des crues majeures sur le Drac et ses affluents (se reporter à l'annexe III pour la description des méthodes utilisées sur le bassin versant du Drac).

Rappelons que la confiance accordable à l'extrapolation d'une distribution est plus faible pour les crues que pour les pluies extrêmes (Lang et al, 2013). Au-delà de la période de retour 50 ans, une forte variabilité de comportement asymptotique est observée sur les données mesurées, suivant la diversité de régime hydrologique (crue pluviale, nivale, mixte) et de bassin versant (capacité de rétention, superficie). Ceci a été bien illustré lors de la comparaison de l'ensemble des méthodes sur quelques bassins tests lors du projet EXTRAFLOW (Lang et al, 2013). A la suite de ce projet, les approches standards par ajustement d'une distribution sur les maximums de crue d'une série locale ne sont pas recommandées. Pour l'estimation des crues extrêmes, le projet EXTRAFLOW (Lang et

¹² Dans les textes anciens mc équivaut à m³/s

al, 2013) préconise d'utiliser les méthodes de simulation basées sur l'information pluviométrique (cf. SHYREG, SCHADEX, GRADEX, AGREGEE, SPEED). Il montre cependant que l'utilisation de l'information historique sur les crues a donné des résultats voisins de ceux obtenus à partir d'une information pluviométrique.

Enfin, rappelons que suivant la façon dont elles ont été obtenues, ces valeurs ne tiennent pas forcément compte du laminage par les aménagements hydro-électriques sur les cours d'eau et/ou des débordements en lit majeur.

Le tableau suivant présente les principaux résultats en terme de débit de pointe associé à un temps de retour pour les différents cours d'eau.

Tableau 14. Synthèse des analyses statistiques des débits de crues réalisées sur le périmètre du PPRI Drac aval (de l'amont vers l'aval) - en gras les estimations de crues centennales retenues.

Romanche à l'amont des Ruines de Séchilienne			Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche				Drac à Grenoble (Fontaine)				
Q100 = Entre 880 et 550 m³/s			Q100 = Entre 1200 et 1500 m³/s				Q100 = Entre 1714 - 1800 m³/s				
Période de retour de la crue	Débit de pointe (m³/s) à l'amont des Ruines de Séchilienne		Période de retour de la crue	Débit de pointe (m3/s)			Période de retour de la crue	Débit de pointe (m³/s)			
	[1]	[2]*		[1]*	[2]	[3]		[1]	[2]	[3]	[4]
10 ans	378	330	1000 ans	2700	2705	2182	1000 ans	2660	2660	3663	3284
30 ans	533	400	200 ans	1850	1740	1463	500 ans	2400	2400	-	-
100 ans	880	550	100 ans	1500	1324	1213	200 ans	2060	2146	2300	-
* Prise en compte du laminage de l'onde de crue à l'aval de la plaine de Bourg d'Oisans			50 ans	1200	906	1004	100 ans	1800	1800	1714	1723
			10 ans	650		629	50 ans	1550	-	-	1414
			* Notre Dame de Commiers ** Monteynard				10 ans	1000	1000	871	894
[1] HYDRETTDES, 2008 (dont annexe 5 de P. Lefort)			[1] EDF, 1980 cité par SOGREAH, 1999 BURGEAP, 2006			[1] d'après SOGREAH, 1976					
[2] PPRI Romanche aval - DDT, 2012			[2] EDF – Etude Gradex (2016) - Annexe 1			[2] ARTELIA , 2013 - SPEED					
			[3] EDF – Etude Schadex (2016)			[3] EDF – Etude Gradex (2014) - Annexe 1					
						[4] EDF – Etude Schadex (2014)					

4.1.4. APPROXIMATION DE LA PERIODE DE RETOUR DES EVENEMENTS PASSES ET CHOIX DE LA CRUE DE REFERENCE

Les débits de fréquence centennale étant identifiés, la difficulté réside ensuite dans l'estimation d'une période de retour pour un événement observé donné ; en effet cela soulève différentes problématiques évoquées dans la partie 1.

Selon Lang et al. (2007), le traitement probabiliste des estimations de débits de crues historiques reconstituées soulève plusieurs difficultés liées à la disponibilité et l'exhaustivité des sources d'information, à la qualité de la reconstitution des événements, et enfin à la viabilité climatiques et aux changements morphologiques des rivières sur plusieurs siècles. Le cas des crues historiques du Drac n'échappe pas à ces interrogations et limites.

En gardant en mémoire ces restrictions, il reste possible de comparer les estimations des débits de crues historiques identifiées (1er Novembre 1843, 30 Mai 1856, 23 Juillet 1914, 22 Octobre 1928, 15 Septembre 1940) aux débits de crues caractéristiques de crue. Ainsi « la plus forte crue connue » du

Drac, de l'amont vers l'aval du périmètre, est d'ordre au moins centennale : c'est la crue de 1856 avec un débit historique estimé à 1835 m³/s à Fontaine d'ordre centennal.

A retenir :

- L'ensemble des considérations précédentes permet de retenir la **crue historique de 1856 comme la crue de référence du PPRI du Drac aval** : c'est la plus forte crue connue, plus que centennale, présentant des estimations de débit de pointe dans la traversée de Grenoble.
- La **crue historique de 1856** est relativement bien documentée, suffisamment pour avoir quelques éléments « opérationnels » avec des estimations des débits de pointe proche de l'événement synthétique. De plus, le fait que les digues aient résistées sur le Drac dans la traversée de l'agglomération lors de la crue est un gage de robustesse des estimations de débits sur Fontaine.
- **Au regard des incertitudes d'au moins 10 % sur les débits de pointe, le débit historique de 1835 m³/s a été arrondi à la centaine la plus proche, à savoir 1800 m³/s dans la traversée de Grenoble, ce qui permet d'être cohérent avec la crue centennale et avec les chiffres historiquement pris sur le Drac. Ce point a été validé lors du comité scientifique du 14 février 2017.**

4.2. SCENARIO DE REFERENCE DU PPRI DU DRAC AVAL

4.2.1. DEBITS DE POINTE, TEMPS DE RETOUR ET CONCOMITANCE DES CRUES

Le scénario de référence proposé, validé par le comité d'expert le 14 février 2017, est bâti sur la crue historique de mai 1856 arrondi à 1800 m³/s. Il est basé sur les hypothèses suivantes :

- Une **crue d'ordre centennale sur le Drac amont** (seuil de la Rivoire - en amont de l'embouchure de la Romanche) :
 - o Débit de pointe de 1200 m³/s ;
 - o Hydrogramme normé de référence Q100 issu de l'étude SCHADDEX de EDF 2016.
- Une **crue d'ordre centennale sur la Romanche** :
 - o Débit de pointe de 550 m³/s ;
 - o Hydrogramme normé de référence Q100 issu du PPRI Romanche Aval.
- Une **concomitance entre les deux crues du Drac et de la Romanche**. Le choix de n'appliquer aucun décalage est lié en partie au fait que l'amortissement important de l'hydrogramme de référence sur la Romanche produit des débits forts pendant plusieurs heures. L'analyse des crues historiques, et celle de mai 1856, confirme ce scénario.
- **Pour les apports des affluents sur le bassin versant intermédiaire**, seul les apports de la Gresse peuvent jouer sur l'intensité du pic de crue (contrairement au Lavanchon et à la Boutonnière du fait de la taille des bassins et du décalage dans la chronologie des crues). Le choix s'est porté sur un hydrogramme de crue centennale de la Gresse avec un décalage de 20 h du pic de crue par rapports aux deux hydrogrammes d'entrée amont.
- Une **condition aval de la crue de l'Isère correspondant à une crue décennale** :
 - o Débit de pointe de 980 m³/s ;

o Débit constant pendant la crue.

- **Des retenues de barrages remplies qui ne laminent pas la crue sur le Drac Amont.** En effet, la doctrine PPRi et le mode de gestion des grands barrages présents sur le bassin versant prévoient la transparence des retenues en cas de crue (le débit entrant est égal au débit sortant). Par ailleurs, l'analyse des crues passées les plus importantes ne permet pas de conclure sur une influence systématique des aménagements présents en amont de Fontaine.

4.2.2. FORME DES HYDROGRAMMES DE CRUE

L'estimation d'un débit caractéristique de crue est insuffisante pour l'estimation de cartes d'inondations. Le scénario de référence doit fournir des hydrogrammes de crue.

Rappelons que la forme des hydrogrammes représente la réponse "naturelle" du bassin versant à une sollicitation pluvieuse. Le laminage de la crue par les retenues ou par les zones naturelles d'expansion des crues n'est pas forcément pris en compte.

Le graphique ci-dessous, représente les différents hydrogrammes du scénario de référence de la crue du Drac qui ont été injecté dans le modèle hydraulique.

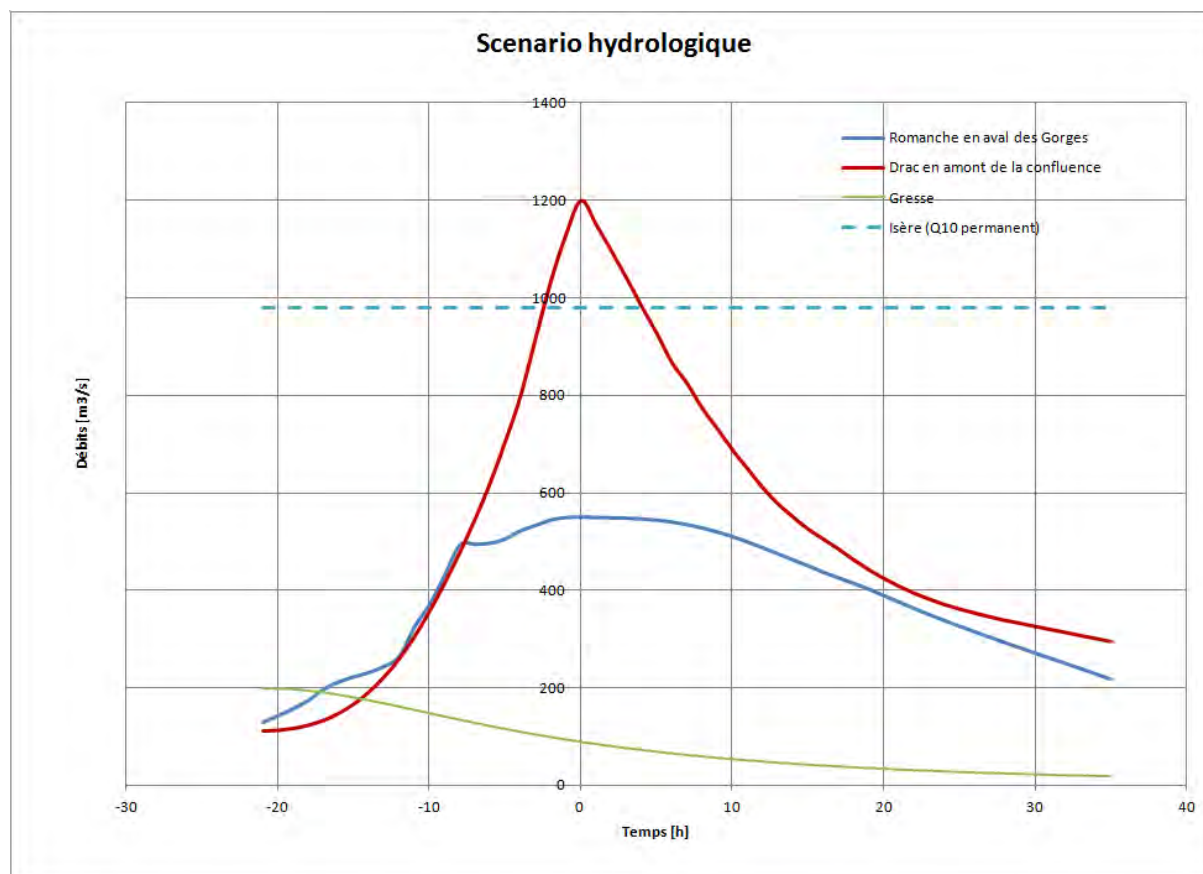


Figure 40. Hydrogrammes de référence pour la crue du Drac dans le cadre du PPRi (en traits plein). Sans décalage des crues du Drac amont et de la Romanche. La condition aval de la crue de l'Isère correspondant à une crue décennale (trait tillé).

Le choix se porte sur des hydrogrammes normés de référence Q100 :

- **Hydrogramme de crue de la Romanche** : l'hydrogramme centré normé de référence Q100 du PPRi de la Romanche aval, validé par les services de l'état et un comité d'expert, est retenu.
- **Hydrogramme du Drac Amont** : L'hydrogramme centré normé de référence Q100 du Drac en amont de la confluence avec la Romanche proposé dans l'étude SCHADEX de EDF à Monteynard (EDF, 2016) a été retenu par le comité d'experts (réunion du comité de suivi – N°2, le 21 novembre 2016). La problématique du laminage par les zones inondables naturelles entre le seuil de la Rivoire et la confluence sera prise en compte dans le modèle hydraulique.
- **Hydrogramme de la Gresse** : L'hydrogramme théorique pour le temps de retour 100 ans bâti sur la base des hydrogrammes de SOCOSE et des débits de pointe estimés précédemment est retenu.

A retenir :

- Le scénario de référence proposé, validé par le comité d'expert le 14 février 2017, est bâti sur la crue historique de mai 1856 arrondi à 1800 m³/s. Il est basé sur les hypothèses suivantes :

	Romanche à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche	Bassin intermédiaire (Gresse)	Drac à Fontaine	Isère à Grenoble
Estimation des débits de pointe	550 m ³ /s	1200 m ³ /s	200 m ³ /s	1800 m ³ /s	980 m ³ /s
Temps de retour	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre centennale	Ordre décennale
Décalage de la pointe de crue	0	0	20 h d'avance	-	-
Hydrogramme	PPRi (approuvé en 2012)	EDF (2016)	HYDRETUDES (2017)	Résultat des modélisations hydrauliques	Débit constant lors de la crue

- Sur le linéaire du Drac du pont de la Rivoire à la confluence avec l'Isère, l'aléa correspond au scénario de la crue du 30 mai 1856 modélisé dans les conditions actuelles d'écoulement.

ANNEXES

5. ANNEXE I : CRUES HISTORIQUES LES PLUS REMARQUABLES DU DRAC

Aujourd'hui, la connaissance des débits en France s'appuie principalement sur le réseau hydrométrique qui alimente la banque de données HYDRO (<http://hydro.eaufrance.fr>) mais dont la majorité des séries hydrologiques bancarisées (près de 85%) débutent dans les années 1960.

Ainsi, afin de rechercher les plus fortes crues connues sur le Drac il est nécessaire de se plonger dans des données anciennes renseignées dans des rapports techniques des services hydrométriques, dans des publications scientifiques ou dans des retours d'expérience post-événements. Ces publications, aujourd'hui souvent numérisées et disponibles sur Internet constituent des sources d'informations précieuses pour les hydrologues, notamment dans le cadre des PPRi.

L'objectif est ici de déterminer les crues historiques remarquables du Drac et d'identifier leurs caractéristiques en termes de débits de pointes et d'hydrogrammes ; et enfin d'en comprendre leur origine.

5.1. SOURCES D'INFORMATIONS UTILISEES

Les nombreuses publications du début du 20^{ème} siècle, notamment publiées dans la Revue de géographie alpine¹³ (écrites par Pardé 1925, 1929, et d'autres auteurs), la thèse de D. Cœur (2008)¹⁴, l'ouvrage de Lang & Cœur (2014)¹⁵ et enfin les estimations consignées dans les notes de l'Ingénieur Gentil sur la crue de mai 1856 datant de 1957 (Gentil, 1957) et reprises par le Service de Prévision des Crues des Alpes du Nord en 2017 (SPC, 2017) constituent des sources d'informations précieuses pour la connaissance des crues anciennes les plus remarquables sur les bassins versants alpins et notamment celui du Drac.

Les données recueillies dans le cadre de la BDHI¹⁶ (Base de Données Historiques sur les Inondations) constituent également une source d'information très importante sur les phénomènes de submersions survenus sur le territoire français au cours des siècles passés et jusqu'à aujourd'hui.

Par ailleurs, la SHF (Société hydrotechnique de France) propose sur Internet une série d'annuaires hydrologiques numérisés (publiés entre 1939 et 1969) incluant, entre autres, des observations de débits sur un ensemble de stations hydrométriques françaises inédites. Des données de débits journaliers et mensuels sont ainsi disponibles sur la station du Drac à Avignonet de 1939 à 1954¹⁷ (située à quelques km en amont du barrage actuel de ND de Commiers). La station a été mise en service en 1904 et contrôle un bassin versant de 2 006 km². Les annuaires de la SHF apportent

¹³ Disponibles sur le portail de <http://www.persee.fr/collection/rga>

¹⁴ Thèse d'histoire et ses nombreuses annexes disponibles sur le portail de <http://hydrologie.org/THE/coeur/>

¹⁵ C'est dans le cadre de l'EPRI (Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation) que l'Irstea et D. Cœur (historien) ont réalisé un recensement de près de 2000 inondations sur l'ensemble du territoire, qui couvre une période de plus de deux cents ans (de 1770 à 2011). En collaboration étroite avec les services de l'Etat, un choix d'environ 300 événements remarquables a ensuite été établi, pour lesquels une description courte (1 à 2 pages) passe en revue la genèse de l'inondation et ses conséquences. L'une des premières valorisations de cette énorme enquête est la publication de cet ouvrage qui rassemble des informations sur environ 175 inondations.

¹⁶ La BDHI est une base de données documentaire accessible sur Internet (<http://bdhi.fr>). Les informations sont structurées autour de Fiches Document, de Notes Inondation et de Fiches Synthèse.

¹⁷ Les études hydrologiques de l'époque ont montré que les débits de la station étaient assez fortement sous-estimés. Cette station a ainsi été supprimée de l'Annuaire à partir de l'année 1957 (<http://www.shf-hydro.org/maj/phototheque/photos/pdf/1954.pdf>)

également des données complémentaires à des stations de la BANQUEHYDRO, comme c'est le cas pour la station du Drac au Sautet pour laquelle des données sont disponibles de 1939 à 1969 ou pour les stations à Gavet ($S=1047 \text{ km}^2$) et à Riouperoux ($S= 1026 \text{ km}^2$) pour la station de la Romanche à Champeau.

Les données à la station d'Avignonet permettent d'avoir une idée plus précise de l'hydrologie naturelle du Drac, c'est-à-dire avant les derniers grands aménagements de Monteynard et de Saint Georges de Commiers. A noter que de 1934 à 1954, les débits du Sautet et d'Avignonet étaient déjà influencés par le barrage de Sautet, mais les débits publiés sont dit "naturel" c'est-à-dire qu'ils tiennent compte des variations du réservoir du Sautet. Les débits aux stations de Gavet et de Riouperoux étaient eux aussi déjà influencés par le barrage de Chambon (construction en 1936).

Par la suite, le terme de "crues historiques", est réservée aux crues anciennes **particulièrement fortes** survenues **avant l'implantation d'une station de mesure** et ayant laissées des traces dans les mémoires ou dans des témoignages écrits personnels et les archives publiques qui ont permis à différents auteurs d'en donner les caractéristiques (notamment débit de pointe, occurrence et genèse). Le terme d'«historique» est devenu ainsi habituel et quasi exclusif pour qualifier les crues extraordinaires **de novembre 1843 et mai 1856** du Drac dans la traversée de Grenoble (dont l'ampleur n'a pas été dépassée depuis lors).

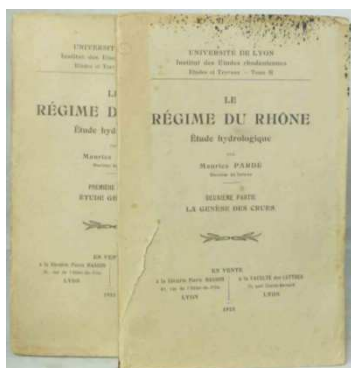
Les données de crues du début XXème siècle sont quant à elles souvent issues d'observations plus précises, voire de station de mesures.

Pour rappel, les plus fortes crues historiques estimées datent d'une période avant les grands aménagements hydroélectriques (retenues du Sautet sur le Drac en 1935 ou du Chambon sur la Romanche en 1935). Par ailleurs, les estimations des crues historiques pour une localisation donnée tiennent a priori compte des phénomènes amont qui amortissent la pointe de la crue comme les débordements ou les ruptures de digues.

Encadré 5-1. A propos des travaux de l'hydrologue Maurice Pardé (1893-1972)

(d'après <https://geocarrefour.revues.org/1378> et modifié)

Elève de Raoul Blanchard, enseignant et chercheur à l'école des Ingénieurs Hydrauliciens, à l'Institut de Géographie Alpine puis à la Faculté des Sciences de Grenoble, Maurice Pardé est considéré comme le fondateur de la Potamologie française. Il a produit des œuvres majeures pour la compréhension du régime des cours d'eau, notamment pour l'étude des crues sur le Drac. Deux ouvrages qui constituaient sa thèse de doctorat furent publiés en 1925 : Le Régime du Rhône et Le Calcul des débits du Rhône et de ses affluents. En 1942, Nouveautés sur le régime du Rhône enrichissait le travail précédent de nouvelles observations et de nouvelles interprétations. En 1961, il publiait une vaste synthèse d'ampleur mondiale : Sur la puissance des crues en diverses parties du monde.



Edition original (1925)

Thèse de M. Pardé (1925) : Le Régime du Rhône. Etude hydrologique, Université de Lyon, Institut des Etudes Rhodaniennes, 1925, 2 vol. in-8°, xiv+887 et 440 p., 117 fig. Egalement : Le calcul des débits du Rhône et de ses affluents. Grenoble, Bibliothèque de l'Institut de Géographie alpine, 1925, in-8°, 168 p.

Il s'agit d'un ouvrage de synthèse à l'échelle du bassin du Rhône utilisant les données météorologiques et hydrométriques collectées pendant des décennies par les administrations françaises et suisses afin de présenter un tableau d'ensemble du fonctionnement



Réédition (2004)

hydrologique de ce fleuve.

Pardé (1942) : Quelques nouveautés sur le régime du Rhône - "erratum et addendum à un gros ouvrage". Mémoires et documents de l'Institut des Etudes Rhodaniennes de l'Université de Lyon, I, Lyon, M. Audin, 1942, 1 vol. in-8°, 200 p, y compris 14 tableaux annexes, 1 fig.

Avec le sous-titre "erratum et addendum à un gros ouvrage" cette publication constitue l'actualisation et le complément du "Régime du Rhône" et du "Calcul du débit du Rhône et de ses affluents", publiés en 1925.

Ces deux ouvrages ont été réédités en 2004 par GéoCarrefour.

Encadré 5-2. A propos des travaux de Denis Cœur(2003)

Les travaux de recherche en histoire de D Cœur portent sur les débordements de l'Isère et de son affluent le Drac dans la plaine de Grenoble. L'auteur se préoccupe surtout des décisions prises par l'autorité municipale pour sauvegarder et sauver, pour prévenir et projeter : « prise en quelque sorte en tenaille, la cité a dû répondre aux assauts répétés de l'un ou l'autre cours d'eau ».

Denis Cœur s'appuie sur une documentation volumineuse, des fonds archivistiques départementaux et locaux d'autant plus riches que les sinistres et les contentieux engendrés par les inondations étaient nombreux : déplacements des lits, effondrements de murs, glissements de terrain, pertes foncières. Son approche d'historien fait également appel aux notions des disciplines de l'hydrologie, de la géographie, de la climatologie et de l'ingénierie pour analyser les témoignages d'époque qui sont parfois contradictoires ou obscurs. La période choisie couvre le petit âge glaciaire (période de hautes eaux) et le réchauffement climatique du XIX^e siècle (période plus calme et des grands travaux d'aménagements pour maîtriser les crues des cours d'eau).

Les annexes présentent de nombreuses illustrations (cartes et plans anciens originaux, gravures, photos, graphiques, tableaux de synthèse....) et des retranscriptions de notes anciennes.

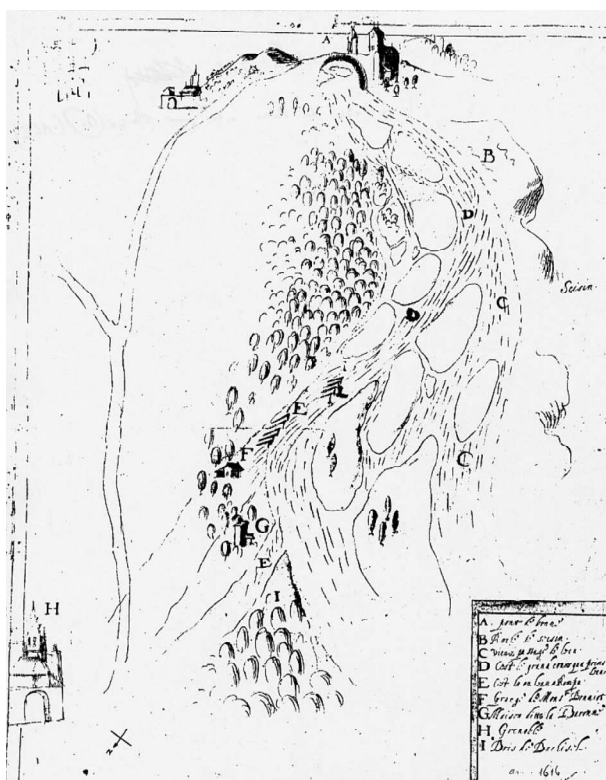
94 - La destruction du pont de Bois (1733)



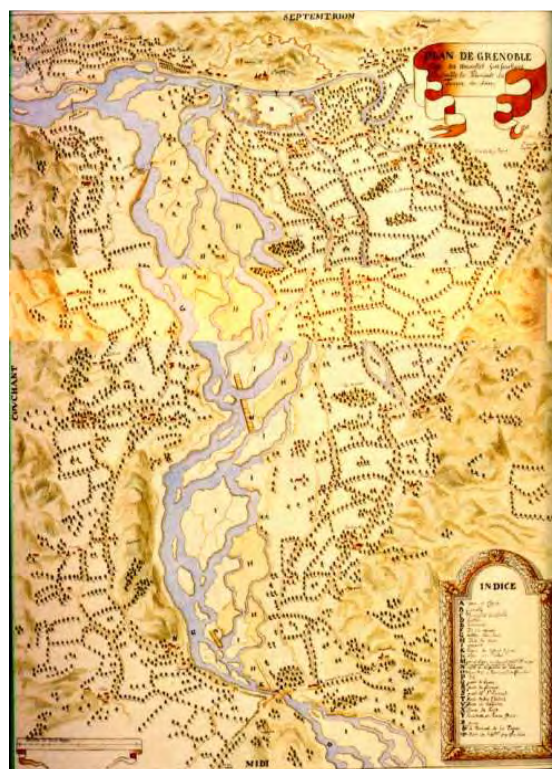
95 - Les militaires sur les digues du Drac (1740)



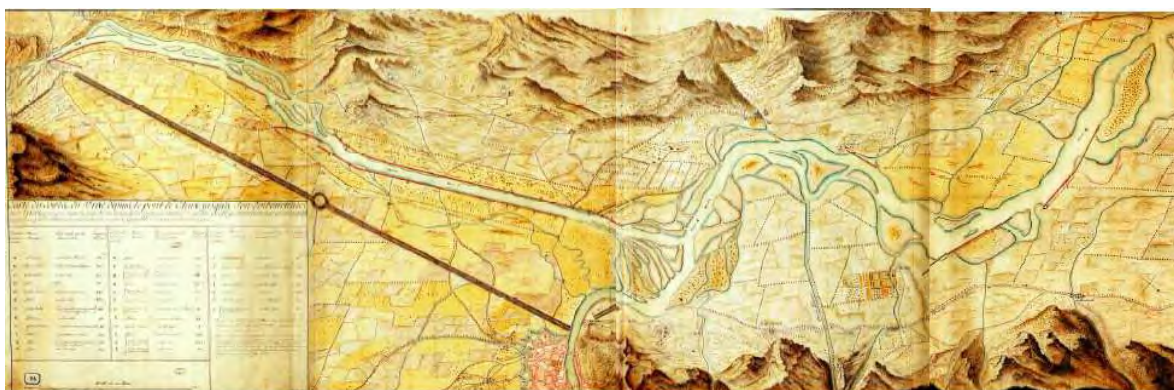
Diodore Raoult illustrant les inondations de septembre 1733 et décembre 1740 – Dessins, extraits, v. 1860 -
ANNEXES II-94/97



Plan du débordement du Drac, par Jean de Beins – 1616
Source – ADI, 1 Fi 1216 - ANNEXE II-36

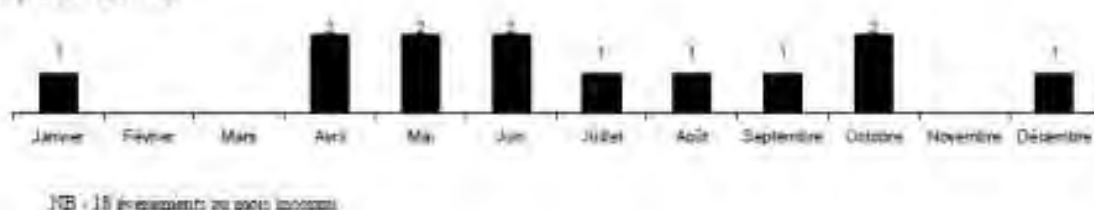


La carte de l'ingénieur Savoye présente l'extension
du torrent en 1660. ANNEXE II-37



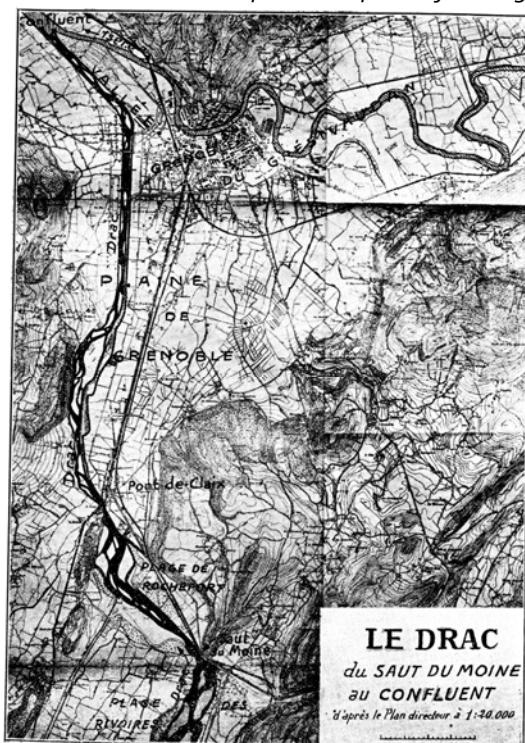
Etat des travaux réalisés le long du Drac, par Jean Verduc – 1718 - ANNEXE II-40

a) 1601-1700

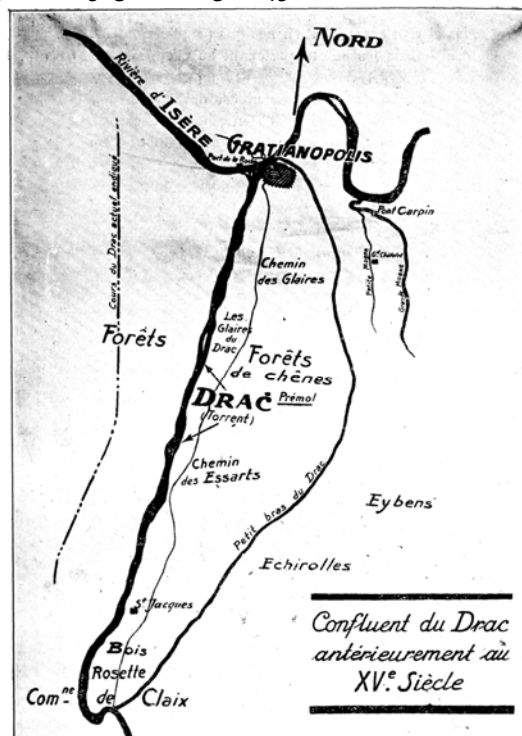


Répartition annuelle des principales crues du Drac dans la plaine de Grenoble aux
XVIIe, XVIIIe, XIXe siècles - ANNEXE I-7

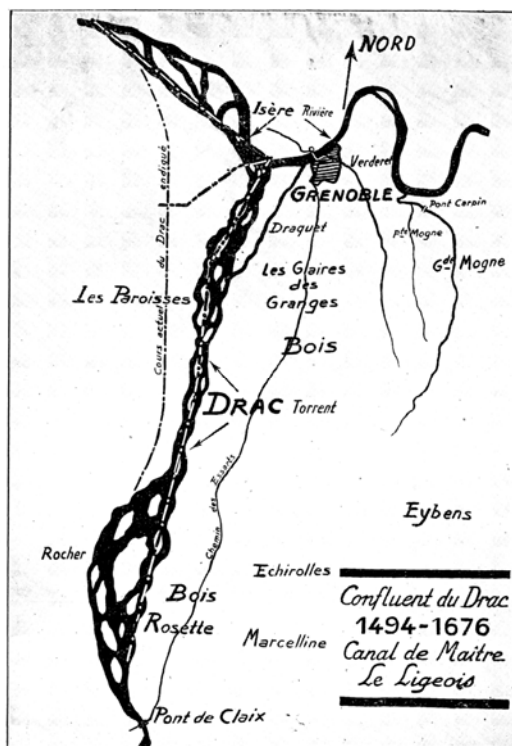
Encadré 5-3. Les travaux de Auguste Bouchayer (1925) -Le Drac dans la plaine de Grenoble de 1280 a 1651
(https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1925_num_13_1_4918)



Le Drac du Saut du Moine au confluent



Le cours du Drac dans la plaine de Grenoble avant le XVe siècle, dit tracé fixe



Le cours du Drac dans la plaine de Grenoble, de 1494 à 1676, dit tracé Le Ligeois.

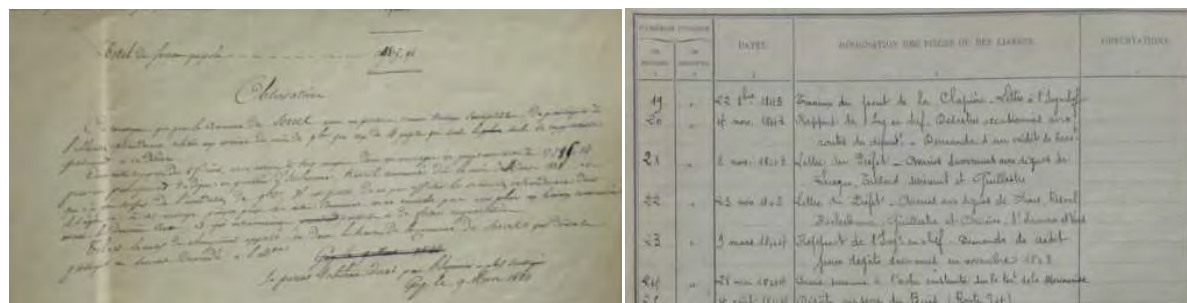


Plan des ravages du Drac lors d'une crue de 1616

Encadré 5-4. A propos de la Base de Données Historiques sur les Inondations (BDHI)

La Base de Données Historiques sur les Inondations (BDHI) recense et décrit les phénomènes de submersions dommageables d'origine fluviale, marine, lacustre et autres, survenus sur le territoire français (métropole et départements d'outre-mer) au cours des siècles passés et jusqu'à aujourd'hui.

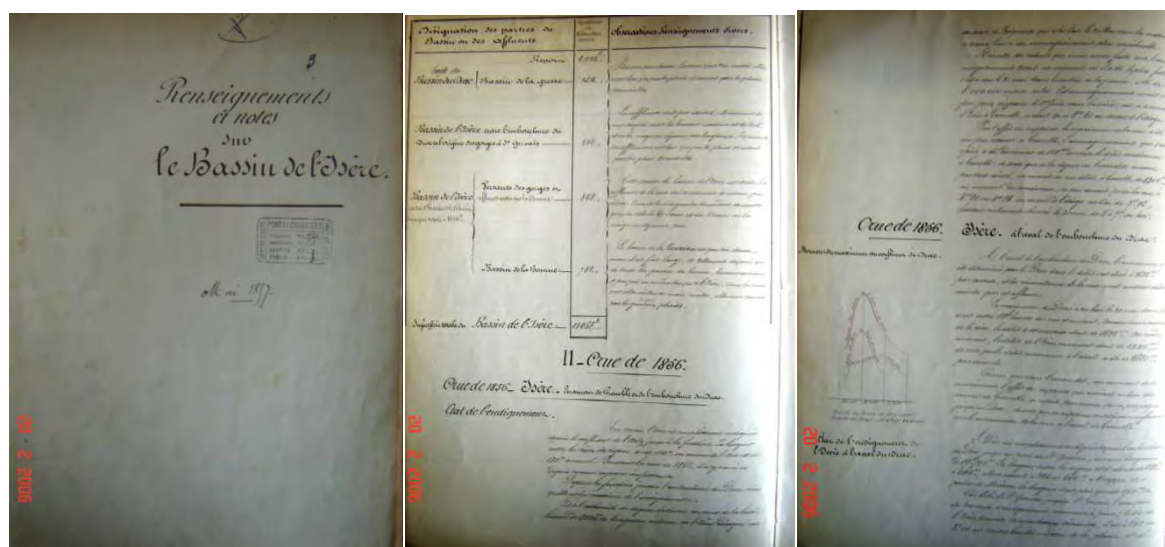
La BDHI présente une sélection d'inondations remarquables qui se sont produites sur le territoire. Elle intègre progressivement les anciens événements, ainsi que les nouveaux qui surviennent. La BDHI est une base de données documentaire. Les informations sont structurées autour de Fiches Document, de Notes Inondation et de Fiches Synthèse.



Extrait de la "Demande de crédit pour dégâts survenus en novembre 1843 sur le Drac par l'Ingénieur En Chef"
(Source : BDHI, <http://bdhi.fr/>)

Encadré 5-5. Rapport de l'Ingénieur GENTIL sur la crue de l'Isère et du Drac des 30 et 31 mai 1856 (Archives départementales de l'Isère)

En 2016 le Service de Prévision des Crues des Alpes du Nord (Anne CLAVEL) a réalisé la transcription de la partie du document concernant la crue de mai 1856. Ce document est très riche en informations tant sur l'état de l'endiguement, sur la marche de la crue ou des effets des ruptures. Il décrit la crue sur l'ensemble du bassin versant : Isère, Drac, Romanche et Gresse.



Encadré 5-6. Les données anciennes de l'annuaire hydrologique numérisé de la SHF

Exemple années 1939

LE DRAC A AVIGNONET

Surface du bassin versant : 2.006,7 km²

Station (usine) en service depuis 1934

[illegible]

(1) Débits moyens mensuels en 1970 corrigés du jeu du lac-réservoir du Sautet : 53,5 ; 33,4 ; 37,2 ; 51,5 ; 80,1 ; 112,9 ; 92 ; 48,9 ; 37,5

(2) En 1939, station de substitution : Le Sautel (S. V. 990 km.), sur le Chant.

(c) Module en 1939 corrigé du jeu du réservoir du Saulet : 81 m³ s, soit 30 l a sec, soit une lame d'eau de 0,345.

LE DRAC AU SAUTET

Surface du bassin versant : 990 km²

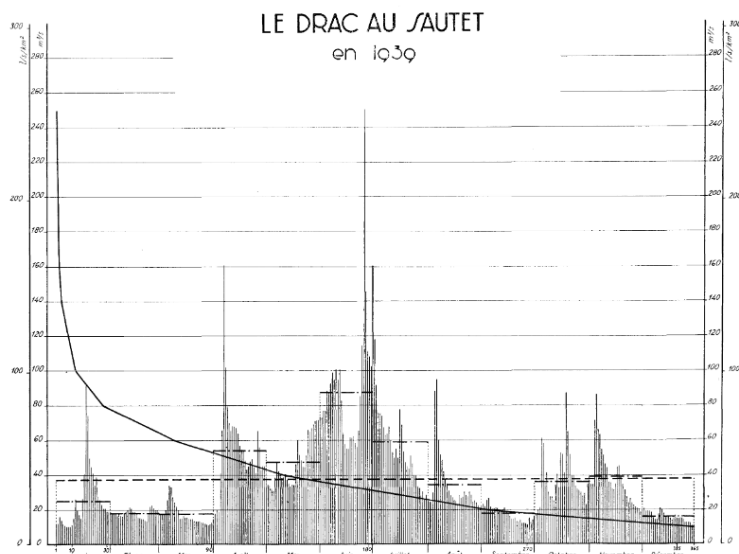
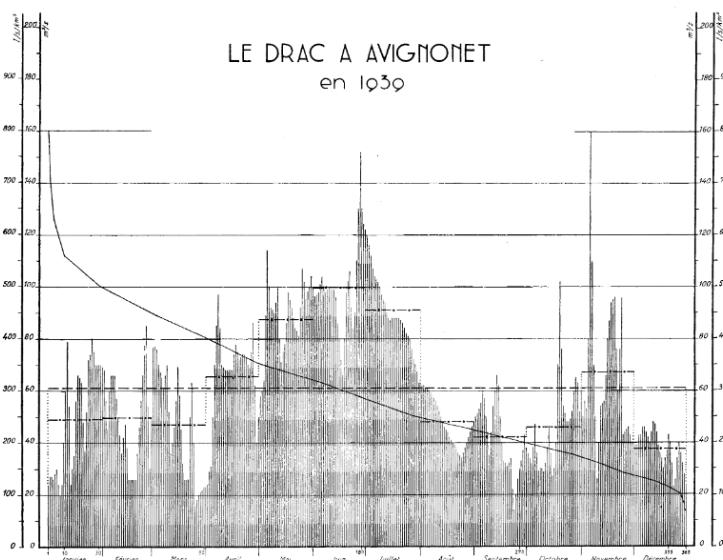
Station (usine depuis 1935) (†) en service depuis 1904

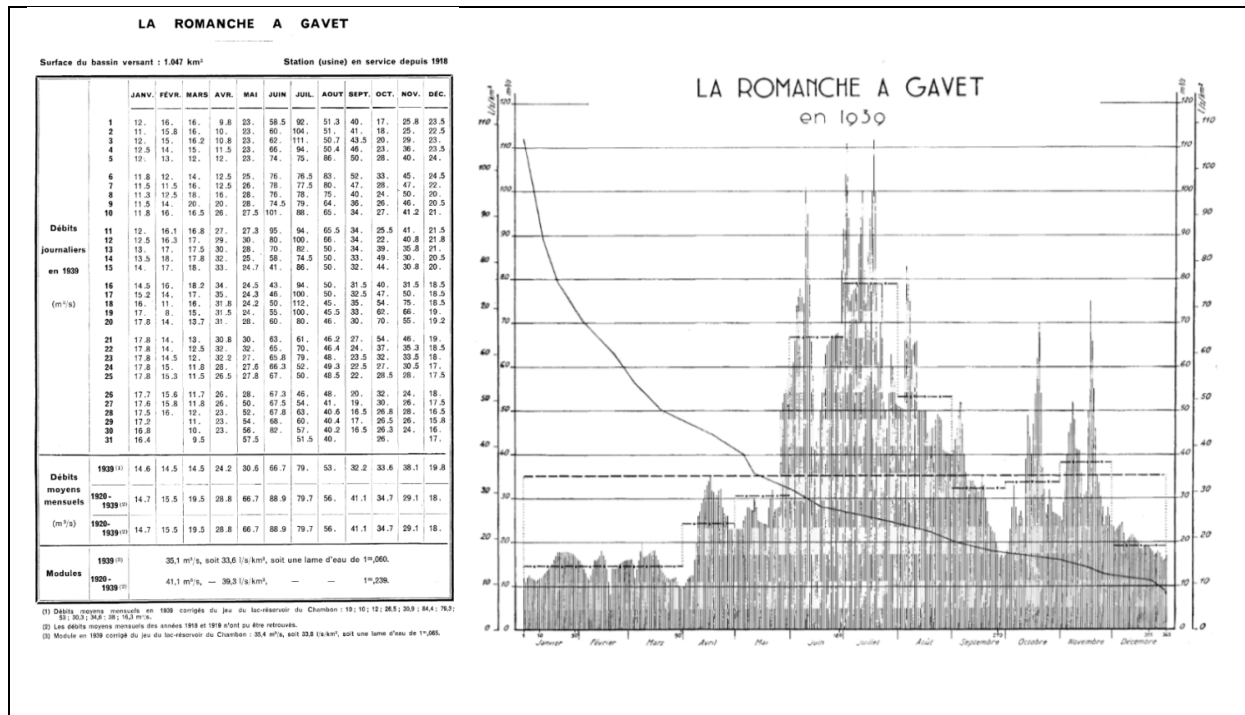
[illegible]

(1) Les disques antérieurs à 1895 concernant les cartes dites de la Sédiz.

(2) Les débits moyens mensuels de 1912 à 1919 n'ont pu être retrouvés. — De janvier à août 1921, station de compensation : Sémur (3 201 km²), sur la Durance; les débits moyens mensuels de janvier à juin 1935 ont été évalués par comparaison.

avec les autres villages.





5.2. ANALYSE CHRONOLOGIQUE DES GRANDES CRUES DE L'ISERE ET DU DRAC

Cœur (2008) a réalisé une analyse chronologique des grandes crues de l'Isère et du Drac survenue sur 3 siècles entre le XVII^e et le XIX^e siècle. La figure suivante présente les principales crues du Drac et de l'Isère dans la plaine de Grenoble (1600-1950). Fautes de données sur l'intensité des crues (hauteurs, débits) pour les crues les plus anciennes, la classification des crues adoptée par Cœur est basée sur les effets induits sur le lit et les territoires environnements (détériorations, transformations géomorphologies,...).

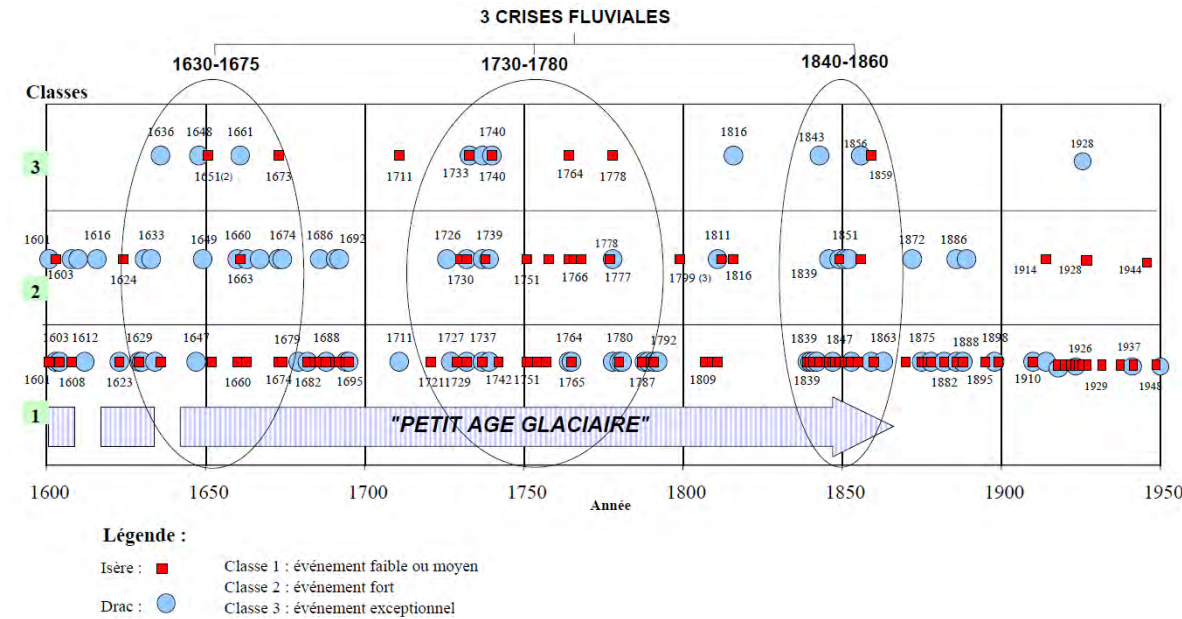


Figure 41. Principales crues du Drac et de l'Isère dans la plaine de Grenoble (1600-1950) (D'après Cœur, 2008)

En résumé, deux crues exceptionnelles et destructrices ont eu lieu sur le Drac en 1733 et 1740 (Cœur, 2008). Entre 1740 et 1816, la crue d'Octobre 1778 est le seul événement majeur sur le Drac (Cœur, 2008).

Toujours, d'après Cœur (2008), entre 1792 et 1839, le Drac ne connaît que deux événements majeurs à peu d'années d'intervalle, l'un en 1811, l'autre en 1816. Après 1830, s'ouvrent vingt années de crise qui rappellent beaucoup, par le nombre et l'intensité des événements, l'épisode des années 1730.

Le long du Drac, les **crues de novembre 1843 et mai 1856** sont à l'origine des deux dernières très grandes inondations dans la plaine de Grenoble, celle de 1843 étant considérée comme la plus considérable des 250 dernières années. E. Gueymard la situe même avant celle de 1733 (cf. SOGREAH, 1976). A cela il faut ajouter 4 autres crues de classe 2 (événement fort) entre 1843 et 1856. Après 1860, le Drac connaît **1 crue extraordinaire en 1928**.

Bien que qu'il faudrait mieux prendre en compte le rôle des ouvrages et des divers aménagements de la rivière sur les variations des niveaux de crues, Cœur(2008) constate que l'épisode de mai/juin 1856 constitue le dernier événement majeur connu sur le Drac (voir Rapport d'Armand Béhic ci-dessous). Sur la Romanche, les deux crues les plus fortes sont celles de mai/juin 1856 et de septembre 1940.

Encadré 5-7. Rapport d'Armand Béhic, ministre secrétaire d'Etat à l'Agriculture au Commerce et aux Travaux Publics, sur les moyens de lutter contre les inondations - 22 octobre 1866

ANNEXE III-27 - Thèse D. Cœur(2003)

Source – Moniteur Universel, 30 octobre 1866.

"La **crue de 1856**, survenue à la suite des pluies continues du mois de mai, avait présenté un caractère de généralité qui ne s'était jamais produit jusqu'alors. Tous les grands bassins hydrographiques de la France, à la seule exception de celui du Rhin, c'est-à-dire les bassins de la Seine, de la Loire, du Rhône, et de la Garonne, ont été frappés par le fléau. Cinquante-cinq départements ont eu à souffrir plus ou moins du débordement des eaux, et quarante et un d'entre eux ont été classés par la commission centrale des secours comme ayant subi des pertes exceptionnelles." " Votre Majesté n'a pas oublié le navrant spectacle de ces villes inondées, de ces populations désolées, auxquelles Elle a voulu porter Elle-même des secours et des consolations. Les pertes individuelles constatées par des évaluations régulières se sont élevées pour l'ensemble des départements frappés par l'inondation de 1856 à la somme de 177 millions."

5.3. DEBITS DE POINTE ET HYDROGRAMMES

Dans le cadre du PPRi, c'est bien de l'intensité de la crue en termes de débit de pointe qui intéresse les services de l'Etat pour définir la crue de référence. Parmi les crues majeures le tableau suivant résume les informations connues sur les plus fortes crues historiques estimées sur le périmètre du PPRi Drac aval (sur les 3 secteurs de l'amont vers l'aval). Elles proviennent des publications de bases du début du 20^{ème} siècle numérisées et qui ont été consultées, ainsi que des synthèses antérieures (notamment celle de SOGREAH, 2011c).

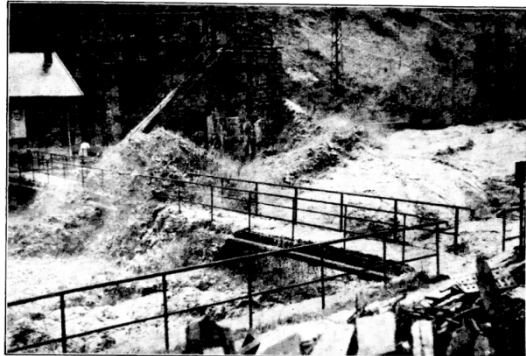
Parmi ces archives, il existe quelques hydrogrammes qui sont reproduits ci-après.

Tableau 15. Les plus fortes crues historiques estimées sur le périmètre du PPRi Drac aval (de l'amont vers l'aval)

	Estimations	Sources & " auteurs "	Commentaires
Romanche à l'amont de la confluence Drac/Romanche			
1er et 2	Pas	D'après Lang &	Lang & Cœur (2014) : " Sur les parties amont du bassin,

novembre 1843	d'estimation connue	Cœur (2014)	les pluies intenses observées durant près de 36 h génèrent des crues sur les multiples affluents torrentiels du Drac, en particulier dans les plaines de Bourg d'Oisans et de Vizille où la Romanche cause d'importants dégâts aux infrastructures et aux espaces agricoles."
		D'après Boucharaye (1925)	Boucharaye (1925) : "les plaines de l'Oisans et de Vizille, que traverse la Romanche éprouvèrent les plus grands désastres. Celle de l'Oisans surtout fut entièrement inondée, après une pluie continue de 36 heures et qui durait encore le 1er novembre, à 8 h du soir".
29-30 mai 1856	600 m ³ /s (vers Vizille)	D'après Pardé (1942) dans « Quelques nouveautés sur le régime du Rhône », édité en 1942 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011d)	Pardé (1942) : « J'avais estimé le maximum connu de la Romanche, au siècle dernier (mai 1856 sans doute) à plus de 700 m ³ /s. Des éléments de calculs découverts aux Archives des Ponts et Chaussées me poussent à réduire ce débit; il ne paraît guère avoir dépassé, dans l'hypothèse la plus large, 600 m ³ /s vers Vizille ». <i>Remarque : Nombreuses ruptures de digues en aval de Bourg d'Oisans ayant laminée la crue.</i>
	600 m ³ /s près de Séchilienne	Annuaire hydrologique numérisé de l'année 1940 (p60)	SHF (1940) : "Elle (crue de 1940) dut débiter 580 m ³ /s près de Séchilienne, contre 600 m ³ /s en mai 1856 (date de la plus grande crue connue du Drac inférieur)."
	575 à 600 m ³ /s	D'après Pardé (1941) dans la revue de géographie alpine de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)	Pardé (1941) : "D'après d'autres calculs que j'ai effectués naguère, la crue de mai 1856, la plus forte connue sur la basse Romanche, aurait débité quelque 575 à 600 mc. Les deux phénomènes (celui de 1940 et celui de 1856) seraient donc à peu près identiques, mais le profil des variations hydrométriques a dû être bien moins aigu en 1856, l'averse ayant été plus soutenue."
	600-800 m ³ /s (site?) 700-800 m ³ /s à la confluence	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "La Romanche put ajouter 600 à 800 mc. à ce flot imposant. " "En mai 1856, son apport fut bien plus imposant : peut-être 700 ou 800 mc" "Le 29 et le 30 mai 1856, la Romanche semble avoir battu tous ses records."
	500 à 550 m ³ /s à Vizille	D'après Gentil (1957) retranscrit par SPC (2017)	Gentil (1957) : " Dans la plaine du Bourg d'Oisans , le maximum a eu lieu le 30 mai de 9h du matin à midi. Les digues ont été rompues en amont et en aval du Bourg d'Oisans ; une grande partie de la plaine a été submergée. A Vizille, le maximum paraît avoir eu lieu le même jour, 30 mai, vers 6 heures du soir ; nous disons paraît car on n'a pu avoir aucune observation bien certaine à cause de la rupture des digues en aval du pont de Vizille."
28-29 septembre	250-300 m ³ /s à Bourg	D'après Pardé (1929) dans la revue	Pardé (1929) : "Le centre du Pelvoux avait reçu un copieux abat d'eau; aussi, le Vénéon s'éleva bien plus

1928	d'Oisans	de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	que ne le fit la haute Romanche. Il détruisit les abords du pont de Bourg-d'Arud". " Peut-être la Romanche à Bourg d'Oisans roula-t-elle 250 à 300 mc. à la seconde" Pardé (1929) "Après le confluent de l'Eau d'Olle, dont la crue fut assez modérée, et de la Lignarre, qui donna relativement plus, le maximum eût dû s'accroître beaucoup. L'inondation de la plaine d'Oisans exerça-t-elle un effet modérateur ?" " le plus gros débit n'a pu excéder beaucoup 300 ou 350 mc." Pardé (1929) : "La Romanche, dans la plaine d'Oisans, monta très vite. Elle cotait 2 m. 50 à 7 h. (1 m. 25 lors des basses eaux de septembre), 2 m. 60 à 8 h., 3 m. 10 à 12 h. A 14 h. 30, l'ascension avait continué sans que nous connaissions son ampleur, lorsque la digue protectrice de la rive gauche à l'amont céda sur 250 m. de longueur. L'ancien fond de lac s'emplit aussitôt et Bourg d'Oisans fut inondé. Le débit qui s'écoula par les brèches fut si abondant que les cotes à l'échelle du pont en aval n'eurent plus aucune signification. Le flot principal dut passer vers 14 h. 30 ou 15 h."
22 octobre 1928	400-500 m³/s à la confluence	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "Bourg d'Oisans et ses alentours subirent un inondation sévère" "débordement de l'Eau d'Olle". "l'inondation sur la plaine du Bourg d'Oisans arrondirent de façon caractéristiques le sommet du graphique" " à notre sens, la Romanche a pu jeter dans le Drac entre 3 et 7 h., le 22, plus de 400 mc. avec un maximum de l'ordre de 500 mc"
	400 m³/s	D'après Pardé (1941) dans la revue de géographie alpine de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)	Pardé (1941) : "Les crues de 1928 auraient débité quelque 400 mc, ou un peu plus"
15 septembre 1940 *	580 m³/s (Au barrage de Noyerchut) 650 m³/s à Séchilienne	D'après Pardé (1941) dans la revue de géographie alpine de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)	Pardé (1941) : « Dans les gorges de son cours inférieur la rivière eut une poussée formidable et roula des flots désordonnés, soulevés en vagues effrayantes ». Cette crue de la Romanche est donc plus pointue que celle de 1856 et « c'est sur l'Eau d'Olle que la crue a eu le plus de violence ».

		 Pl. I-A. -- La crue de la Romanche sous l'usine des Roberts, à la prise d'eau de Rioupéroux, le 15 septembre 1940. Au barrage de Noyerchut : "Aussitôt après, il (le débit) s'enfla de nouveau dans des proportions énormes. Il passait 510 me. à 13 h., 620 à 14 h. 30. Le maximum de 650 me, supérieur de 200 me à celui de septembre 1928, resta étale de 15 à 16 h. A 17 h. " " Le débit de 650 me m'a semblé un peu fort... J'ai refait les opérations, ... je trouve environ 580 mc, soit 540 lit-sec, par km2, et ce chiffre me paraît plus compatible avec le débit de 700 me observé à Grenoble". Note de l'auteur : les débits de la Romanche doivent être exagérés de 10 % près.
-	D'après Lang & Cœur (2014) et BDHI	La Romanche connaît une crue importante qui atteint 2.60 m à Bourg d'Oisans mais ne dépasse pas les niveaux de la crue de 1928 (3.20 m). L'Eau d'Olle (affluent de la Romanche) déborde au Verney (lave torrentielle).
580 m ³ /s près de Séchilienne	Annuaire hydrologique numérisé de l'année 1940	Le maximum des débits journaliers de la Romanche à Chambon se produit effectivement le 15 septembre. Les débits journaliers de la Romanche à Gavet ont été forts pendant 3 jours du 17 au 19 septembre (140 - 160-150 m³/s). SHF (1940) - p47-48 : "L'Eau d'Olle qui se jette dans la Romanche en aval de Bourg d'Oisans eut une crue bien plus exceptionnelle et dommageable . On peut même dire que la <u>crue la plus furieuse de septembre 1940</u> se manifesta sur cette rivière qui draine avec une pente énorme une poche ouverte vers le sud-ouest entre les hauts massifs alpestres des Grandes Rousses et de Belledonne. Au barrage de l'usine du Rivier, le maximum quelque peu accru par des fontes de neige et par de volumineux transports solides, a peut-être représenté 200 m³ s et 3.000 l/s km2. Plus bas, à la Fonderie d' Allemont, le débit a dû dépasser 250 mc/s et 1.430 l. s/km2. En conséquence, la Romanche qui n'avait point éprouvé de montée redoutable dans son haut bassin eut dans la gorge de Livet et au delà une crue des plus importantes. Elle dut débiter 580 m³/s près de Séchilienne, contre 600 m³/s en mai 1856 (date de la plus grande crue connue du Drac inférieur).

			"On connaît bien mal les inondations anciennes de toutes ces rivières. Mais celle de septembre 1940 a certainement compté parmi les 2 ou 3 plus fortes du siècle révolu." "Le même facteur (remblaiement) ayant joué plus intensément encore sur l'Eau d'Olle, le remblaiement atteignit la hauteur étonnante de 5 m. vers l'usine du Verney."
Drac à l'amont de la confluence Drac/Romanche			
29-30 mai 1856	700 - 800 m ³ /s (Drac au Sautet)	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) évoque : "un Drac dans son cours supérieur, qui fut certainement énorme". "La crue exceptionnelle de la haute Durance, toute voisine, milite en faveur de cette hypothèse " "Même si au Sautet le Drac n'a pas débité plus de 700 ou 800 mc, il dut à Champ atteindre 1.200 à 1.300 mc, contre 1.100 ou plus en 1928 car le profil arrondi des crues élémentaires favorisa les concordances."
	1.200 - 1.300 m ³ /s (Drac à Champ sur Drac)		
	1465 m ³ /s (à St-Georges de Commiers)	D'après communication orale Michel Arnaud (EDF) cité par SOGREAH (2011b)	
22 au 23 juillet 1914	1250 m ³ /s en amont de l'embouchure de la Romanche	D'après Gentil (1957) retranscrit par SPC (2017)	"Le maximum de la crue du Drac dans les gorges, au pont de Cognet, a eu lieu le 30 mai dans l'après-midi. Aucune observation ne donne le moment précis. Au pont de la Rivoire à 5430m en amont de l'embouchure de la Romanche, le maximum a eu lieu vers 5 ou 6h du soir" "Enfin, au confluent de la Romanche et du Drac, le maximum a été atteint à 6 heures ½ du soir et a duré 1heure ½. Il résulte de ces renseignements qu'il y a eu coïncidence à peu près complète dans les maxima du Drac et de la Romanche"
	900 m ³ /s (Au barrage de Pont du Lou) - pont marquant la frontière entre le département de l'Isère et les Hautes Alpes	D'après Pardé (1942) dans « Quelques nouveautés sur le régime du Rhône », édité en 1942 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011d)	Pardé (1942) : « dans le bassin supérieur de la rivière [le Drac], ce phénomène avait peut-être battu tous les records d'un siècle ou d'une plus longue période ».
	1390 m ³ /s (à St-Georges de Commiers)	D'après EDF (Michel Arnaud) cité par SOGREAH (2011b)	

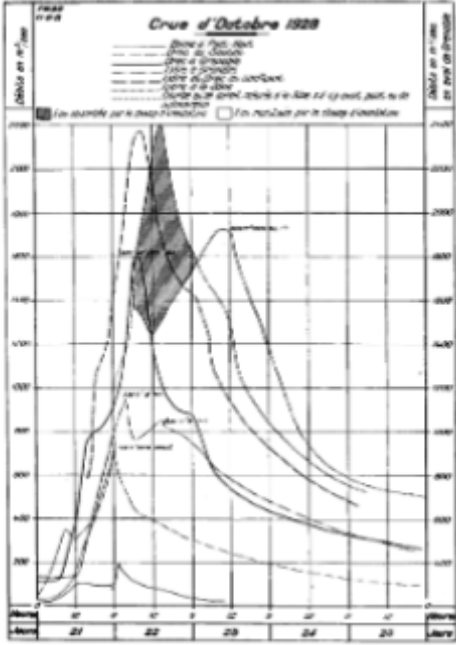
28 Septembre 1928	750 m ³ /s vers 14 h (Drac au Sautet)	D'après Pardé (1929)	Pardé (1929) : "La crue de septembre fut extraordinaire, terrible, dans le Champsaur et le Valgaudemar, à proximité des lieux où l'averse eut son caractère le plus diluvien. Le haut Drac et la Séveraise roulèrent des flots sans doute inconnus depuis 1856, peut-être même depuis une date plus reculée" " Le débit maximum probable au Sautet (750 à 800 mc". "Le mécanisme des dernières crues montre que celles de 1856 et de 1843, si considérables à Grenoble, ont pu, au Sautet, ne pas atteindre un maximum supérieur à celui de 1928" "3 m. 25 en juillet 1914"
21-22 Octobre 1928	700 m ³ /s (Drac au Sautet vers minuit)	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "le limnigraphe de la Société « Bonne et Drac » a été emporté, mais nous disposons de relevés limnigraphiques effectués à l'usine de la Bonne inférieure, sur le Drac même." Nous avons adopté 750 me. pour le 28 septembre vers 14 h., et 700 me. pour le 21 octobre vers 24 h." "la crue d'octobre devint bien plus nocive d'amont en aval"
	1100 m ³ /s au barrage de Champ sur Drac	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	"Au barrage de Champ, l'onde principale passe à 6 h. avec une cote de 2 m. 60, supérieure de 10 centimètres à celle du 28 septembre, et un débit «ans doute voisin de 1.100 mc"
	1250 m ³ /s (à St-Georges de Commiers	D'après communication oral de Michel Arnaud (EDF) cité par SOGREAH (2011b)	
Septembre 1940*	291 m ³ /s (au Sautet à 14h)	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)	
	pas de données de débit de pointe sur le Drac 250 m ³ /s (Bonne à Pont-Haut)	D'après l'annuaire SHF de l'année 1940	SHF (1940) : Le <u>débit journalier</u> a t été important sur le Drac au Sautet (119.1 m ³ /s) le 1509/1940 mais que de 100 m ³ /s à Avignonnet. p48 : " La Bonne débita à Pont-Haut, près la Mure, quelques 250 m3/s ou 650 l/s/km2 , contre 200 en septembre 1928 et 187 en octobre suivant."
19 juin 1948*	pas de données de débit de	D'après l'annuaire SHF de l'année 1948	SHF (1948) : "L'Arve, l'Isère, la Romanche et le Drac atteignirent le 19 juin leurs plus forts débits de l'année entière."

	pointe		(352 l/s/km ² pour le Drac en amont du Sautet).
8 Juin 1955*	pas de données de débit de pointe	D'après l'annuaire SHF de l'année 1955	SHF (1955) : Le débit journalier a été important sur le Drac au Sautet (270 m ³ /s le 08/05/1955).
6 Octobre 1960*	pas de données de débit de pointe	D'après l'annuaire SHF de l'année 1960	SHF (1960) : Le débit journalier a été important sur le Drac au Sautet (300 m ³ /s le 6/10/1960).
Drac à Grenoble			
1er novembre 1843	1700 ou 1.800 m ³ /s	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "En novembre 1843, la cluse éprouva une inondation formidable. Le Drac, cette fois, roula 1.700 ou 1.800 mc; nous ignorons l'appoint de l'Isère, par conséquent le total au confluent". " Le 1er novembre 1843, le Drac, enflé par une pluie méditerranéenne typique de 36 heures, terrifia ses riverains, tandis que la Romanche inondait la plaine d'Oisans." "Bref, la crue de 1843 a dépassé sans doute celle d'octobre 1928."
	4 mètres à Fontaine	D'après Pardé (1928) dans la revue de géographie alpine de 1928 (tome 16, n°2, 1928. pp. 499-519)	Pardé (1928) : "En novembre 1843, il atteignit, semble-t-il, 4 mètres à Fontaine"
	1710 m ³ /s (à Fontaine)	D'après Pardé (1925) dans "« Le régime du Rhône », tome 2 (Isère, Rhône moyen, Rhône inférieur et affluents.) " édité en 1925 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011c)	D'après SOGREAH (2011c) "pas d'indication sur les dates et heures respectives des crues du Drac et de la Romanche"
	1680 m ³ /s (Echelle Pont de Fontaine)	Autres sources (non précisée) citée par SOGREAH (2011c)	
8 novembre 1886	1.240 m ³ /s du Drac (3 m. 40 à Fontaine)	D'après PARDE dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "De même, le 8 novembre 1886, aux 1.240 mc. du Drac (3 m. 40 à Fontaine) s'ajoutèrent seulement 390 mc. de l'Isère"
30 mai 1856	1.880 m ³ /s	D'après Pardé (1925) dans « Le régime du Rhône », tome 2 (Isère, Rhône	Pardé (1925 - page 345) : « Le 30 mai 1856, le Drac a débité 1.880 m ³ /s ».

		moyen, Rhône inférieur et affluents.) édité en 1925 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011c)																																																																																																																															
1880-2000 m³/s	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	D'après Pardé (1929) : "Même si au Sautet le Drac n'a pas débité plus de 700 ou 800 mc, il dut à Champ atteindre 1.200 à 1.300 mc, contre 1.100 ou plus en 1928 car le profil arrondi des crues élémentaires favorisa les concordances." "La Romanche put ajouter 600 à 800 mc. à ce flot imposant. " Ces coïncidences d'ondes exceptionnelles expliquent la suprématie de cette crue sur toutes celles dont nous possédions la hauteur". "La connaissance de sa marche serait très instructive. Nous savons seulement que le maximum, atteint entre minuit le 30 et 1 h. le 31, marqua sur un profil plus creux qu'aujourd'hui 4 m. 20 et représenta 1.880 à 2.000 mc".	TABLEAU VI. Grandes crues de l'Isère et du Drac. <table><tr><th colspan="3">Principales crues de l'Isère à Grenoble</th><th colspan="3">Principales crues du Drac à Grenoble</th></tr><tr><th>DATES</th><th>COTES</th><th>DÉBITS</th><th>DATES</th><th>COTES</th><th>DÉBITS</th></tr><tr><td>14 novembre 1651.....</td><td>6,50</td><td>2.500(?)</td><td>juillet-août 1816.....</td><td>+ de 3,50</td><td>+ de 1.300</td></tr><tr><td>30 novembre 1651.....</td><td>6,50(?)</td><td>2.500(?)</td><td>26 septembre 1842.....</td><td>3,00(?)</td><td>+ de 1.000</td></tr><tr><td>5 juillet 1673.....</td><td>5,40</td><td>1.800(?)</td><td>1 novembre 1843.....</td><td>4,00</td><td>1.710</td></tr><tr><td>11 février 1711.....</td><td>5,65</td><td>1.460(?)</td><td>16 mai 1856.....</td><td>3,50</td><td>1.320</td></tr><tr><td>15 septembre 1733.....</td><td>5,57</td><td>1.900(?)</td><td>30 mai 1856.....</td><td>4,20</td><td>1.880</td></tr><tr><td>20 décembre 1740.....</td><td>5,70</td><td>1.980(?)</td><td>28 octobre 1882.....</td><td>3,08</td><td>1.030</td></tr><tr><td>10 juin 1765.....</td><td>4,65</td><td>1.460(?)</td><td>8 novembre 1886.....</td><td>3,40</td><td>1.250</td></tr><tr><td>2 juillet 1777.....</td><td>près de 4,80</td><td>1.200(?)</td><td>10 novembre 1886.....</td><td>3,34</td><td>1.200</td></tr><tr><td>25-26 octobre 1778.....</td><td>5,40</td><td>1.820(?)</td><td>1 août 1888.....</td><td>3,10</td><td>1.050</td></tr><tr><td>31 juillet 1816.....</td><td>3,90</td><td>1.160</td><td>27 octobre 1889.....</td><td>3,40</td><td>1.250</td></tr><tr><td>17-18 novembre 1840.....</td><td>3,40</td><td>970</td><td>23 juillet 1913.....</td><td>3,25</td><td>1.100</td></tr><tr><td>31 mai 1856.....</td><td>3,80</td><td>1.120</td><td>29 mai 1917.....</td><td>3,00</td><td>930</td></tr><tr><td>2 novembre 1859.....</td><td>5,35</td><td>1.800</td><td>septembre 1920.....</td><td>3,05</td><td>900</td></tr><tr><td>mai 1878.....</td><td>3,30</td><td>940</td><td>29 octobre 1926.....</td><td>3,05</td><td>900</td></tr><tr><td>27 novembre 1882.....</td><td>3,30</td><td>940</td><td>28 septembre 1928.....</td><td>3,50(?)</td><td>1.240</td></tr><tr><td>27 juin 1910.....</td><td>3,20</td><td>900</td><td>22 octobre 1928.....</td><td>+ de 3,90</td><td>1.600</td></tr><tr><td>24 juillet 1914.....</td><td>3,40</td><td>970</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>24 décembre 1910.....</td><td>3,30</td><td>940</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>22 octobre 1928.....</td><td>3,50</td><td>950</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	Principales crues de l'Isère à Grenoble			Principales crues du Drac à Grenoble			DATES	COTES	DÉBITS	DATES	COTES	DÉBITS	14 novembre 1651.....	6,50	2.500(?)	juillet-août 1816.....	+ de 3,50	+ de 1.300	30 novembre 1651.....	6,50(?)	2.500(?)	26 septembre 1842.....	3,00(?)	+ de 1.000	5 juillet 1673.....	5,40	1.800(?)	1 novembre 1843.....	4,00	1.710	11 février 1711.....	5,65	1.460(?)	16 mai 1856.....	3,50	1.320	15 septembre 1733.....	5,57	1.900(?)	30 mai 1856.....	4,20	1.880	20 décembre 1740.....	5,70	1.980(?)	28 octobre 1882.....	3,08	1.030	10 juin 1765.....	4,65	1.460(?)	8 novembre 1886.....	3,40	1.250	2 juillet 1777.....	près de 4,80	1.200(?)	10 novembre 1886.....	3,34	1.200	25-26 octobre 1778.....	5,40	1.820(?)	1 août 1888.....	3,10	1.050	31 juillet 1816.....	3,90	1.160	27 octobre 1889.....	3,40	1.250	17-18 novembre 1840.....	3,40	970	23 juillet 1913.....	3,25	1.100	31 mai 1856.....	3,80	1.120	29 mai 1917.....	3,00	930	2 novembre 1859.....	5,35	1.800	septembre 1920.....	3,05	900	mai 1878.....	3,30	940	29 octobre 1926.....	3,05	900	27 novembre 1882.....	3,30	940	28 septembre 1928.....	3,50(?)	1.240	27 juin 1910.....	3,20	900	22 octobre 1928.....	+ de 3,90	1.600	24 juillet 1914.....	3,40	970				24 décembre 1910.....	3,30	940				22 octobre 1928.....	3,50	950			
Principales crues de l'Isère à Grenoble			Principales crues du Drac à Grenoble																																																																																																																														
DATES	COTES	DÉBITS	DATES	COTES	DÉBITS																																																																																																																												
14 novembre 1651.....	6,50	2.500(?)	juillet-août 1816.....	+ de 3,50	+ de 1.300																																																																																																																												
30 novembre 1651.....	6,50(?)	2.500(?)	26 septembre 1842.....	3,00(?)	+ de 1.000																																																																																																																												
5 juillet 1673.....	5,40	1.800(?)	1 novembre 1843.....	4,00	1.710																																																																																																																												
11 février 1711.....	5,65	1.460(?)	16 mai 1856.....	3,50	1.320																																																																																																																												
15 septembre 1733.....	5,57	1.900(?)	30 mai 1856.....	4,20	1.880																																																																																																																												
20 décembre 1740.....	5,70	1.980(?)	28 octobre 1882.....	3,08	1.030																																																																																																																												
10 juin 1765.....	4,65	1.460(?)	8 novembre 1886.....	3,40	1.250																																																																																																																												
2 juillet 1777.....	près de 4,80	1.200(?)	10 novembre 1886.....	3,34	1.200																																																																																																																												
25-26 octobre 1778.....	5,40	1.820(?)	1 août 1888.....	3,10	1.050																																																																																																																												
31 juillet 1816.....	3,90	1.160	27 octobre 1889.....	3,40	1.250																																																																																																																												
17-18 novembre 1840.....	3,40	970	23 juillet 1913.....	3,25	1.100																																																																																																																												
31 mai 1856.....	3,80	1.120	29 mai 1917.....	3,00	930																																																																																																																												
2 novembre 1859.....	5,35	1.800	septembre 1920.....	3,05	900																																																																																																																												
mai 1878.....	3,30	940	29 octobre 1926.....	3,05	900																																																																																																																												
27 novembre 1882.....	3,30	940	28 septembre 1928.....	3,50(?)	1.240																																																																																																																												
27 juin 1910.....	3,20	900	22 octobre 1928.....	+ de 3,90	1.600																																																																																																																												
24 juillet 1914.....	3,40	970																																																																																																																															
24 décembre 1910.....	3,30	940																																																																																																																															
22 octobre 1928.....	3,50	950																																																																																																																															
1835 m³/s au au pont suspendu	D'après Gentil (1957) retranscrit par SPC (2017)	"Le maximum de la crue du Drac au confluent de l'Isère ou du moins au pont suspendu qui est à 2800 m en amont du confluent, a eu lieu, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment, le 30 mai à 11 heures du soir, il a duré environ 2h½. A ce moment, toutes les eaux de la Gresse, de la Romanche et du Drac étaient réunies ; le débit était de 1835 m³/s"																																																																																																																															

	1835 m ³ /s (Echelle Pont de Fontaine)	Autres sources (non précisée) cité par SOGREAH (2011c)	
	3194 m ³ /s entre les deux digues	Calcul de Gueymard cité par Bouchayer (1925)	Bouchayer (1925) : "il était tombé six fois plus d'eau dans la vallée de la Romanche que dans celle de l'Isère et quatre fois plus que celle du Drac. La Romanche roulait autant d'eau que le Drac". P503 "les hydrauliciens refusent d'accepter ce chiffre formidable"
8 novembre 1886	1.240 m ³ /s du Drac (3 m. 40 à Fontaine)	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "les crues de novembre 1886 et octobre 1889, les plus fortes connues depuis le record de 1856.
10 novembre 1886	1.200 m ³ /s du Drac (3 m. 34 à Fontaine)	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "le 10 novembre suivant, le Drac bondit de nouveau à 1.200 mc, mais l'Isère ne cotait plus que 1 m. 20 (300 mc) ."
23 juillet 1914	1140 m ³ /s	D'après M.Pardé dans "« Le régime du Rhône », tome 2 (Isère, Rhône moyen, Rhône inférieur et	

		affluents.) " édité en 1925 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011c)	
	1100 m ³ /s	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "3,25 en juillet 1914"
	1750 m ³ /s	D'après Lettre de M. Gillio - cité par SOGREAH (2011c)	
	-	D'après Pardé (1942) dans « Quelques nouveautés sur le régime du Rhône », édité en 1942 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011d)	Pardé (1942) concernant la crue du Drac à Fontaine : « elle a dû atteindre dans la nuit du 22 au 23 juillet, vers 2 heures du matin, 4 mètres ou 4 m. 10, côte très proche des records (4 m. 20 en mai 1856, presque autant en novembre 1843) ».
28 septembre 1928	1240 m ³ /s (à Fontaine)	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : "la crue de septembre, due à des phénomènes aussi violents que localisés dans le temps et l'espace, n'a pas cessé de décroître en importance relative de l'amont vers l'aval." "Extraordinaire dans le Champsaur et le Valgaudemar, elle fut seulement inquiétante à Grenoble". Pardé (1941) : "Dans ce travail (Pardé, 1925), j'attribue 3 m. 25 à la crue de juillet 1914 sur le Drac à Grenoble; en réalité, elle a coté au moins 4 m., et donc a été formidable."
22 octobre 1928	1.600 m ³ /s à Fontaine	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	Pardé (1929) : " la plus haute cote elle-même reste mal définie" " nous ne possédons pas de données très solides sur les débits du Drac à Fontaine". Au final " avis assez conforme à celui de M. Wilhelm". "En définitive, nous avons établi une courbe qui donne 517 me. pour 2 m. 40, 1.240 pour 3 m. 50; nous l'avons extrapolée de façon à obtenir 1.600 mc. pour le maximum probable : 3 m. 92 ou 3 m. 9" D'après Pardé (1929) : "A Fontaine la crue correspondait à une averse très longue (45 heures environ avec deux paroxysmes) ; cette pluie supérieure à la précédente par son total avant le Sautet (167 mm.) a donc produit en ce point, après une croissance à deux phases, un flot légèrement inférieur à celui de septembre (800 mc.), mais qui, bien renforcé en aval, s'enfla beaucoup dans sa marche vers le Nord ." "la crue d'octobre devint plus nocive d'amont en aval" D'après PARDE (1929) : " L'intervention de la Romanche et l'appoint de la Gresse rendirent

			mémorable la crue du Drac inférieur." "La Gresse a pu débiter 50 à 80 mc." " Son débit (le Drac à Grenoble) représentait alors 1.600 mc, contre 1.880 à 2.000 en 1856."  Fig. 8. — Crue d'Octobre 1928.
	670 m ³ /s	Autres sources (DDE) cité par SOGREAH (2011c)	
	1570 m ³ /s	Autres sources (Rapport ingénieur en chef Wilhelm) cité par SOGREAH (2011c)	
	1610 m ³ /s	Autres sources (Echelle Pont de Fontaine) cité par SOGREAH (2011c)	
15 Septembre 1940*	800 m ³ /s (2 m. 70 à Grenoble)	Annuaire hydrologique numérisé de l'année 1940	D'après l'annuaire SHF de l'année 1940 p47-48 : "Le Drac peu dangereusement gonflé en amont du confluent de la Bonne n'avait subi qu'une crue moyenne : 2 m. 70 à Grenoble, et 800 m³/s contre 1.800 à 2.000 parfois." Le maximum des débits journaliers de la Romanche à Chambon se produit effectivement le 15 septembre puis les débits journaliers de la Romanche à Gavet ont été forts pendant 3 jours du 17 au 19 septembre (140 - 160-150 m³/s). Le débit journalier a également été important sur le Drac au Sautet (119.1 m³/s).
	700-750 m ³ /s	D'après Pardé dans la revue de géographie alpine	Pardé (1941) : " Drac à Grenoble a coté au maximum 2 m. 70 (soit 700 me.) à 20 heures le 15, ou peut-être 2 m. 80 vers 18 ou 19 heures : peu de chose à côté des 3

		de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)	m. 90 et des 4 m. ou 4 m. 10 atteints respectivement en octobre 1928 et juillet 1914"... "il ne me surprendrait pas que le Drac ait débité à Grenoble 750 m³/s ou un peu plus, au lieu des 700 que ma courbe lui attribue." " Sans l'effet des barrages-réservoirs, ce maximum eût avoisiné 1.000 mètres cubes"
	700 m³/s	D'après Lang & Cœur (2014) et BDHI	Lang & Cœur (2014) et BDHI "Sur les rivières principales de la région grenobloise, la montée des eaux n'a rien d'extraordinaire en comparaison avec les crues de juillet 1914, septembre 1928 ou la crue bicentennale de novembre 1859. Le Drac atteint le 15 septembre à 20 h une hauteur de 2.70 m à Grenoble, pour un débit estimé à 700 m³/s."
	1100 m³/s	DDE cité par SOGREAH (2011d)	
18-19 Juin 1948*	530 m³/s	Autres sources (DDE) cité par SOGREAH (2011c)	D'après l'annuaire SHF de l'année 1955 : Le maximum des débits journaliers de la Romanche à Riouperoux se produit le 8 septembre. Le débit journalier a également été important sur le Drac au Sautet (270 m³/s). "En mai et juin, pluies et neige s'unissent pour augmenter les torrents même au point de provoquer des accidents sur l'Arc et l'Isère."
	1000 m³/s	Autres sources (EDF) cité par SOGREAH (2011c)	
	1050 m³/s	D'après PARDE (1928) et M.PARDE dans « Quelques nouveautés sur le régime du Rhône », édité en 1942 et réédité en 2004, cité par SOGREAH (2011c)	
Juin 1955*	1200 m³/s	Autres sources (DDE) cité par SOGREAH (2011c)	D'après l'annuaire SHF de l'année 1960 : Le débit journalier a été important sur le Drac au Sautet (300 m³/s le 6/10/1960) mais plus faible sur la Romanche à Riouperoux (140 m³/s). "partout les crues d'octobre ont été considérables, le double de la normale le plus souvent". " Les alpes du nord sont relativement calmes quand celles du Sud se déchainent : le Sautet (etc.) voient passer 4 fois le débit moyen de ce mois."
	1030 m³/s	Autres sources (EDF) cité par SOGREAH (2011c)	
	970 m³/s	D'après Pardé (1928) et Pardé (1942) dans « Quelques nouveautés sur le régime du Rhône », édité en 1942 et réédité en 2004 - cité par SOGREAH (2011c)	
Octobre 1960*	1050 m³/s	Autres sources (DDE) cité par SOGREAH (2011c)	

* Retenues du Chambon sur la Romanche et du Sautet sur le Drac existantes (barrage mis en eau en 1935).

5.4. ANALYSE DES PERTURBATIONS CLIMATIQUES A L'ORIGINE DES CRUES HISTORIQUES MAJEURES DU DRAC

5.4.1. PHENOMENES A L'ORIGINE DES CRUES HISTORIQUES DU DRAC ET DE LA ROMANCHE

Maurice Pardé a largement décrit les phénomènes à l'origine des crues historiques du Drac et de la Romanche. SOGREAH (2011c) en donne les principaux extraits. Quelques articles d'origine de Pardé (1925, 1929, 1941) sont disponibles sur Internet.

Les bassins versant du Drac et de la Romanche sont soumis aux deux influences des climats océanique et méditerranéen auxquelles s'ajoutent les apports saisonniers dus à la fusion nivale. Le bassin de la Romanche étant situé à des altitudes supérieures à celui du Drac, les débits liés à la fonte du manteau neigeux (Romanche) ou des glaciers (Véneon) sont plus importants que ceux observés sur le bassin du Drac amont.

Cette triple influence est à l'origine de deux grands types de crues décrites par Pardé (1925, 1929, 1942) :

- **Crues d'origine océanique.**

Les perturbations océaniques venant de l'ouest et du Sud-Ouest, lorsque de hautes pressions sur l'Espagne lancent des vents pluvieux tièdes vers une dépression située entre la Grande-Bretagne et la Scandinavie. Elles se traduisent par des précipitations abondantes (surtout sur les pentes exposées à l'Ouest, du Jura, des Préalpes, des Alpes septentrionales).

Elles ont lieu préférentiellement en saison froide, le plus souvent en hiver d'octobre à mars. Par sa position plus méridionale, le bassin versant du Drac, notamment au Sud de Monestier-de-Clermont, de La Mure, de Valjouffrey, est bien moins soumis aux masses pluvieuses océaniques que le bassin versant de la Romanche et par extension celui de l'Isère supérieure. Il n'est arrosé par les pluies océaniques que dans la moitié septentrionale de son bassin. Le bassin de la Romanche est davantage soumis au flux océanique que le Drac. Ainsi les perturbations océaniques touchent principalement la basse vallée du Drac et se traduisent généralement par des crues de faible ampleur sur le Drac

- **Crues d'origine méditerranéenne.**

Les crues les plus importantes connues sur le Drac, sont provoquées par des vents de Sud à Sud-Est émis- d'un anticyclone italien ou balkanique vers une dépression principale ou secondaire qui envahit la France méridionale.

Les pluies méditerranéennes sont moins abondantes en moyenne et moins fréquentes que les pluies océaniques, surtout en été, mais sont caractérisées par des abats d'eau très violents en automne et parfois en mai. Les crues méditerranéennes ont lieu surtout en automne d'après Pardé (1925).

Le bassin du Drac est toujours fortement ou très fortement arrosé par les pluies méditerranéennes extensives. Le bassin de la Romanche est moins soumis aux remontées d'air méditerranéen à l'origine d'averses intenses que le Drac. En effet ces remontées d'air méditerranéen ne touchent le bassin de la Romanche que de façon très atténuée du fait de la barrière montagneuse que constituent les massifs des Ecrins et du Pelvoux.

D'après Pardé (1925) "les maxima fameux de mai 1856 et novembre 1843, d'autres moins forts, mais encore supérieurs à ceux de toutes les crues océaniques, appartiennent à cette catégorie de phénomènes". La crue de juillet 1914 fait partie de ces crues d'origine méditerranéenne.

Les pluies très intenses dans un flux d'air chaud sud sud-est peuvent aussi contribuer à la fonte rapide du manteau neigeux. La fonte des neiges constitue alors un caractère aggravant et peut provoquer une crue exceptionnelle par son volume. C'est le cas de la crue du 1er novembre 1843. D'après Lang & Cœur (2014), la crue de novembre 1843 est spécifiquement du type méditerranéen extensif. Elle se distingue en cela de la crue de mai 1856 où les influences océaniques et méditerranéennes se sont cumulées. Le 1er novembre 1843, les eaux du Drac sont gonflées par des pluies très intenses dans un flux d'air chaud sud sud-est qui contribue à fonte rapide du manteau neigeux.

En plus de ces deux origines de crue, Pardé (1925) et Lang et Cœur (2014) mentionne le rôle des averses intenses mais localisées caractéristiques du climat de montagne (orages liés aux effets orographiques), survenant en saison chaude s'ajoutant, voire favorisant la fonte intense du manteau neigeux.

Tableau 16. Origine des crues les plus remarquables sur le Drac et la Romanche

Date de la crue remarquable	Régime hydro-climatique	Commentaire
Novembre 1843	Spécifiquement de type méditerranéen Extensif.	Lang et Cœur (2014) : "Précipitations méditerranéennes extensives intenses et forte fusion nivale provoquée par un vent chaud de sud-est"
	Crue enflée par la fonte des neiges due au vent lourd et chaud.	Bouchayer (1925) : "les eaux, enflées par la fonte des neiges, que provoquait un vent lourd et chaud soufflant depuis plusieurs jours, et par une pluie torrentielle, s'élevèrent en plusieurs endroits au dessus des digues"
Mai 1856	Influences océaniques et méditerranéennes cumulées.	Lang et Cœur (2014) : "les influences océaniques et méditerranéennes se sont cumulées"
	Cumul de pluie très important.	Bouchayer (1925) ; "il était tombé six fois plus d'eau dans la vallée de la Romanche que dans celle de l'Isère et quatre fois plus que celle du Drac". "La Romanche roulait autant d'eau que le Drac". P503
	Crue enflée par la fonte des neiges.	Cœur (2008) " l'influence mixte du bassin de la Romanche très proche dans son fonctionnement des hautes vallées iséroises (régime pluvio-glaciaire, effets de lombarde) mais sujet aussi aux violentes perturbations méditerranéennes"
22 au 23 juillet 1914	Méditerranéen extensif	Pardé (1929, 1942) : " Il eut pour cause une averse diluvienne de 6 ou 7 heures seulement, tombant sur un sol saturé, au cours, d'une intempérie méditerranéenne ; d'où la promptitude presque cévenole de la montée et de la baisse »."
Septembre 1928	"Vents pluvieux méditerranéens de Sud à Sud-Est"	Pardé (1929) : " phénomènes aussi violents que localisés dans le temps et l'espace"" Extraordinaire dans le Champsaur et le Valgaudemar"
Octobre 1928	"Vents pluvieux méditerranéens de Sud à Sud-Est"	Pardé (1929) : "Averse encore plus remarquables (qu'en septembre) par sa persistance et par sa vaste extension que par son intensité" " durée plus grande de la pluie consécutive" "En octobre, l'averse affecta un caractère grave dans tout le domaine du Drac, même dans les régions les plus déprimées" A Pardé (1929) : Moyenne générale de 182 mm sur Drac en

		amont du Sautet (contre 94 mm les 28 et 29 septembre) + Moyenne de 120 (135?) mm sur la Romanche et le Véneon. Moyenne pour tout le Drac : 137 mm entre le 28 et 29 septembre (contre 65 mm les 28 et 29 septembre)
Septembre 1940	" pluie océanique, amenée par des vents d'ouest à sud-ouest" + " conditions localement orageuses".	Pardé, (1941) ; Lang & Cœur (2014) et BDHI : " Les cumuls sont importants au nord sur les préalpes et sur les massifs centraux occidentaux. L'évènement échappe cependant à la répartition d'une pluie océanique "classique". Ces cumuls importants sur des zones habituellement épargnées par ce type de phénomène sont à attribuer à des conditions localement orageuses liées à un fort gradient thermique"
	" il ne s'agit point d'un phénomène atlantique absolument pur"	SHF (1940) : "En outre, dans le Dauphiné, le vent pluvieux me semble avoir eu pour origine plutôt le sud-sud-ouest que l'ouestSud-Ouest. Enfin, la chute assez calme et uniforme de 24 heures se termina, contrairement à ce qui arrive lors des grandes averses océaniques habituelles, par des précipitations diluviennes accompagnées de tempête pendant quelques heures. Bref il ne s'agit point d'un phénomène atlantique absolument pur comme ceux qu'on observe si fréquemment en Europe occidentale (janvier 1910 et 1899, décembre 1882 et 1918, février 1928, par exemple); ces derniers ont en effet pour caractères essentiels le vent d'ouest-sud-ouest ou de sud-ouest, un rythme assez uniforme, sans grains ni trombes, et une immunité parfaite au sud de Sisteron et sur le versant italien des Alpes."
		SHF (1940) : "Le mois de septembre, plutôt sec dans les Alpes-Maritimes, a vu des crues tres importantes dans les Alpes septentrionales qui ont été le siège de trois violentes averses les 8-9, 14-15 et 25 septembre." "Les moyennes générales furent de l'ordre de 90 mm sur l'Isère et sur le Drac avant Grenoble" "Les phénomènes les plus violents en 1^{re} occurrence eurent 1^{er} eu sur certains affluents ou sous-affluents qui drainaient une bande de terrain très arrosée depuis la Bonne jusqu'à l'Arly"

La différence des régimes pluviométriques propres à chaque sous-bassins, laisse supposé qu'il n'est pas possible que les phénomènes océaniques et méditerranéens à l'origine des apports pluviométriques importants soient aussi intenses à la fois sur la Romanche et le Drac (contrairement à ce qui s'est passé sur le bassin de l'Isère lors de la crue du 1^{er} et 2 novembre 1859¹⁸). Si les deux

¹⁸ Comme le synthétise Cœur (2008) en traitant l'origine des crues exceptionnelles de l'Isère : "bien que les témoignages survalorisent le rôle de la neige (on sait aujourd'hui que la fusion nivale intervient en fait assez marginalement dans la formation des phénomènes extrêmes *[sic]*), ils n'en rappellent pas moins les éléments d'un scénario météorologique aujourd'hui bien connu : une phase de redoux au printemps ou à l'automne, associées en général à un fort vent de sud ; le tout souvent précédé d'une période pluvieuse plus ou moins longue et soutenue, accompagnée en générale, lors des épisodes d'automne, de précipitation abondantes durant les quelques jours ou quelques heures, prélude à la submersion. M. Pardé souligne la double origine à la fois océanique et méditerranéenne des événements : la première assure l'extension des précipitations dans le temps et la seconde produit des systèmes d'averses brutales".

perturbations se succèdent, l'une est nettement moins forte que l'autre comme cela a été le cas pour la crue de 1856 sur le bassin du Drac. Ainsi c'est, au moins en partie, une divergence climatique qui peut neutraliser ou atténuer les effets de la convergence hydrographique.

Encadré 5-8. La crue de 1843

D'après Lang et Cœur (2014)

La crue de novembre 1843 est spécifiquement du type méditerranéen extensif. Elle se distingue en cela de la crue de mai 1856 où les influences océaniques et méditerranéennes se sont cumulées. Le 1er novembre 1843, les eaux du Drac sont gonflées par des pluies très intenses dans un flux d'air chaud sud sud-est qui contribue à fonte rapide du manteau neigeux. Les données hydro-météorologiques disponibles sont très partielles. Le débit du Drac à Fontaine le 1er novembre est estimé à 1 710 m³/s (Pardé, 1925).

Dans la nuit, les eaux submergent sur 1,5 m de hauteur la digue barrant l'entrée sud de la plaine de Grenoble (digue Marcelline). La digue du pont de Claix est emportée sur 150 m.

Une brèche et des débordements se forment également plus en aval dans le secteur du Petit-Séminaire. Une bonne partie de la plaine en rive droite du Drac est sous les eaux (0,60 m sur 1500 m de large selon le témoignage de l'ingénieur E Gueymard). La commune d'Echirolles se retrouve complètement inondée. Les écoulements reprennent d'anciens lits et s'étendent jusqu'au quartier de la Galochère pour rejoindre l'Isère un peu en amont de Grenoble. Les terres agricoles et la route du pont de fer subissent d'importants dégâts. En aval de la confluence, les débits cumulés du Drac et de l'Isère atteignent 2 600 m³/s. Tout le secteur entre Grenoble et Voreppe est plus particulièrement affecté (terres engravées, routes détruites, digues ensevelies, etc.).

Sur les parties amont du bassin, les pluies intenses observées durant près de 36 h génèrent des crues sur les multiples affluents torrentiels du Drac, en particulier dans les plaines de Bourg d'Oisans et de Vizille où la Romanche causent d'importants dégâts aux infrastructures et aux espaces agricoles.

Particularité hydro-météo (genèse, intensité)	Zones inondées	Impacts
Précipitations méditerranéennes extensives intenses et forte fusion nivale provoquée par un vent chaud de sud-est.	Plaine de Grenoble en rive droite, entre Pont-de-Claix et la confluence. Vallée de la Romanche.	Inondations entre Echirolles et Grenoble, dégâts aux propriétés riveraines et sur la route du pont de fer. Inondations catastrophiques dans la plaine de Bourg d'Oisans .

5.4.2. CONCOMITANCE DES CRUES DU DRAC AVEC LES CRUES DE L'ISERE ?

Pour les crues remarquables du Drac à Fontaine, les débits de l'Isère à l'amont de la confluence Drac/Isère ont également été recherchés. Ils sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 17. Débit de l'Isère pour les plus fortes crues historiques du Drac sur le périmètre du PPRi Drac aval

	Estimations	Sources & "auteurs"	Commentaires
L'Isère à l'amont de la confluence Drac/Isère			
Novembre 1843	<i>pas notifiée dans les crues remarquables de l'Isère</i>	BDHI (Document associé Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) 2011-Bassin Rhône-Méditerranée)	BDHI : A l'aval de la confluence 2600 m ³ /s le 1/11/1843 http://bdhi.fr/appli/web/view/inondation/23678
Mai 1856	1120 m ³ /s le 31 mai 1856	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	
	1020 m ³ /s le 31 mai 1856	D'après Huguet (1969) - Revue de géographie alpine Année 1969 Volume 57 Numéro 1 pp. 53-84	
	1200 m ³ /s	BDHI (Document associé : La crue de 1856: reconstitution et analyse d'un événement hydrologique de référence (id: 2492))	" L'Isère est affectée par deux crues successives le 18 et le 25 mai, avant l'épisode majeur du 31 mai où le pic atteint un peu plus de 1200 m ³ /s à Grenoble."
	1200 m ³ /s à Grenoble	D'après Gentil (1957) retranscrit par SPC (2017)	" Le maximum, à Grenoble, a eu lieu le 31 mai de 4h1/2 à 7h du soir, et à ce moment le débit par seconde était de 1200.00 m ³ /s." "Le maximum du Drac a eu lieu le 30 mai dans la nuit entre 10h du soir et minuit. Comme nous venons de le dire, le débit à cet instant était de 1835 m ³ /s. Au même moment, le débit de l'Isère en amont était de 1045 m ³ /s de sorte que le débit maximum à l'aval a été de 2880 m ³ par seconde."
24 juillet 1914	970 m ³ /s	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	
	810 m ³ /s	D'après Huguet (1969) Revue de géographie alpine Année 1969 Volume 57 Numéro 1 pp. 53-	

		84	
Septembre 1928	460 m ³ /s	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	D'après Pardé (1929) : "Combien l'Isère moyenne ajoutât-elle à cette onde menaçante : 460 mc. sans doute, alors que la rivière du Grésivaudan devait rouler jusqu'à 700 me. le 29 à 4 h. Bref, nous ne devons guère nous abuser en évaluant h 1.600 me. Ou 1.700 mc. le maximum formé au confluent des deux rivières."
Octobre 1928	950 m ³ /s le 22 à 14h 850 m ³ /s le 23 à 14h	D'après Pardé (1929) dans la revue de géographie alpine de 1929 (tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413)	D'après Pardé (1929) : "Pour l'Isère, dont le fond paraît stable, à la traversée de Grenoble, une bonne courbe lie les cotes aux débits. Mais, en cas de crue très puissante du Drac, le remous exercé par celui-ci ralentit quelque peu le courant de l'Isère et fausse le barème applicable d'habitude. Il ne nous fait point doute qu'à 7 h., le 22 octobre, moment où le Drac allait parvenir à son apogée, sa hauteur au confluent réduisait à moins de 800 mc le débit de l'Isère; or, cette rivière, en écoule nt normal, aurait dû rouler 840 à 850 mc pour le niveau observé de 3 m. à l'échelle du service ordinaire. Nous avons porté sur notre graphique 770 mc, mais un peu à l'aveuglette. Même source d'imprécision pour la crue de septembre."
15 Septembre 1940	950 m ³ /s	D'après Pardé (1941) dans la revue de géographie alpine de 1941 (Tome 29 n°1 pp 107-132)	D'après Pardé (1941) : "L'Isère avait, de son côté, arrêté son ascension à 3 m. 10 le 16 entre 12 et 16 heures, soit environ 950 mc. Or, les crues de cette importance sont très fréquentes. Les crues réellement désastreuses, celles qui inondent Grenoble, dépassent 5 mètres, et débitent deux fois plus que celle de septembre 1940. Le dernier cataclysme de ce genre remonte à novembre 1859. Cette fois l'Isère cota 5 m. 35, débita près de 2.000 me, submergea tout le Grésivaudan et pour ainsi dire toute notre ville"
	835 m ³ /s	D'après Huguette (1969) Revue de géographie alpine Année 1969 Volume 57 Numéro 1 pp. 53-84	
	950 m ³ /s à Grenoble le 16/09	BDHI (Document associé Evaluation Préliminaire des Risques d'Inondation (EPRI) 2011-Bassin Rhône-Méditerranée)	BDHI : Le débit de l'Isère à Grenoble atteint son maximum le 16, avec une hauteur à 3.10 m. (http://bdhi.fr/appli/web/view/inondation/23680)

Pardé (1929 a et b) montre que contrairement au Drac dont la montée des eaux est le plus souvent liée aux pluies méditerranéennes, l'Isère doit ses inondations les plus typiques aux pluies océaniques avec des vents à composante Sud-Ouest, des précipitations très fortes sur les Alpes du Nord et modérées sur le Drac. Ces phénomènes s'opposent par leurs causes atmosphériques, par la direction des vents pluvieux, par l'aire d'extension des averses. Pardé (1929) souligne que des circonstances atmosphériques tout à fait anormales sont nécessaires pour provoquer de très grandes crues

simultanées du Drac et de l'Isère. Cette coïncidence n'a dû survenir, depuis des siècles, qu'en septembre 1733.

En fait, il distingue 5 catégories de crues de l'Isère et du Drac (note de l'auteur) :

1. **"Crues surtout violentes à l'aval** de la confluence (crues d'importance moyenne au confluent des deux rivières (1.000 à 1.200 mc) liés à des chutes d'eau torrentielles sur le Vercors et le Bas-Dauphiné."
 2. **"Crues équivalentes du Drac et de l'Isère mais non extraordinaires** par suite de précipitations d'origine indécise, le plus souvent en été, sous l'empire du climat continental. La crue de **juillet 1914** est de ce type (1.800 à 1.900 mc. le 23 juillet 1914 à l'entrée de la cluse)."
 3. **"Crues océaniques extraordinaires avec prédominance de l'Isère.** L'Isère fournit plus de 1.800 mc, mais le Drac, en pleine baisse quand l'Isère arrive à son apogée, lui ajoute quelques centaines de mc. seulement. Cela suffit pour concentrer au confluent un débit désastreux de 2.200 à 2.400 mc. et parfois bien plus. En **novembre 1859**, le Drac était déjà bas quand l'Isère monta très fort. Ces termes vagues nous laissent supposer que le Drac renforça de 500 à 550 me. les 1.800 mc. de l'Isère, soit un total à peu près équivalent à celui de 1928 (2.300 à 2.400 mc). Il n'en fallait pas plus pour recouvrir tout le Bas-Grésivaudan. "
 4. **"Crues méditerranéennes simples.** Il s'agit des gonflements remarquables du seul Drac, à la suite d'averses méditerranéennes classiques. Dans ce cas, l'Isère donne peu. Ainsi, le 28 septembre 1928, les deux cours d'eau totalisèrent 1.600 à 1.700 mc. De même, le 8 **novembre 1886**, aux 1.240 mc. du Drac (3 m. 40 à Fontaine) s'ajoutèrent seulement 390 mc. de l'Isère; le 10 novembre suivant, le Drac bondit de nouveau à 1.200 mc, mais l'Isère ne cotait plus que 1 m. 20 (300 mc) . La crue du 2 **novembre 1843** est de ce type (2.300 à 2.400 mc pour l'Isère)."
 5. **"Crues méditerranéennes générales avec prédominance du Drac.** C'est le type le plus rare et le plus dangereux, caractérisé par une crue énorme du Drac et par une poussée non exceptionnelle, mais déjà considérable de l'Isère. Le phénomène inverse semble si rare que nous n'en tiendrons pas compte; le rôle primordial du Drac dénote bien, en ces circonstances, l'influence prédominante des pluies méditerranéennes; mais il s'agit d'averses généralisées ou combinées avec des précipitations océaniques qui frappent les Alpes du Nord en vertu de situations atmosphériques encore mal définies. "
- "La crue d'**octobre 1928** représente très bien cette catégorie (crue de l'Isère à la Cluse de 2.300 à 2.400 me. le 22 octobre 1928). On y range encore le plus formidable des cataclysmes bien connus, celui de **mai 1856** (crue de l'Isère à la Cluse de 2.800 à 2.900 mc le 31 mai) . En cette occasion, fonctionnèrent des concordances désastreuses. Non seulement le Drac fut terrible, mais l'Isère parvint à 3 m. 80 (soit 1.120 mc), sinon plus. Le profil arrondi des crues sur les deux cours d'eau favorisa les coïncidences de gros débits. A 1 h. le 31 mai 186, le Drac précipitait 1.880 à 2.000 mc. au confluent et l'Isère cotait environ 3 m. 60, soit au moins 900 mc, malgré le remous exercé par le Drac. Ainsi, le total s'éleva à 2.800, sinon 2.900 mc. "

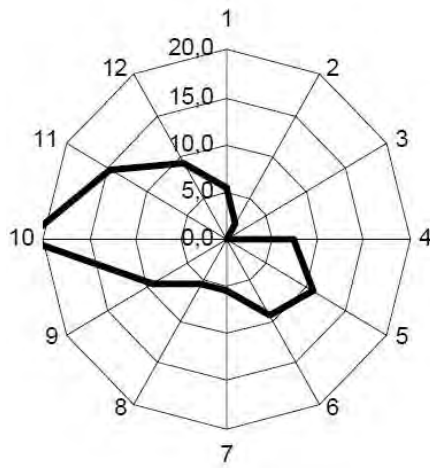
Encadré 5-9. Analyse saisonnière des grandes crues de l'Isère et du Drac entre 1600 et 1900

(d'après Cœur, 2008)

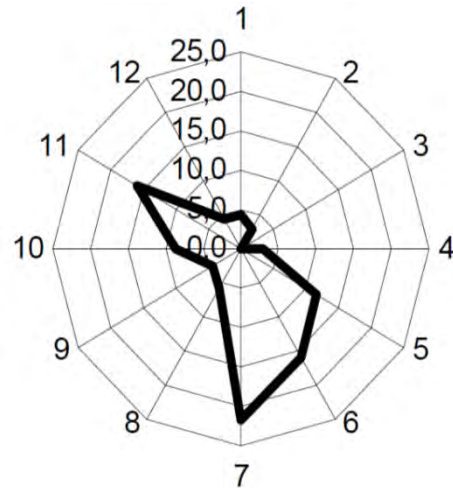
Cœur (2008) a également réalisé une analyse générale de la distribution saisonnière des crues. Pour le Drac la répartition annuelle des crues du Drac en deux maxima : le premier à l'automne (octobre-novembre), le second au printemps (mai-juin). Pour l'Isère, entre 1600 et 1900, les deux maxima de juin-juillet et d'octobre-novembre sont aussi bien marqués.

D'après Cœur (2008), le maximum d'automne sur le Drac confirme le poids des influences méditerranéennes

dans la genèse des crues du Drac. Selon Cœur : "Les différences hydrogéomorphologiques des deux cours d'eau (Isère et Drac) ont, fort heureusement, empêché que les crues extrêmes surviennent simultanément sur les deux cours d'eau. Le passage des hauteurs d'eau maximales du Drac précédait en général de plusieurs heures celui de l'Isère. Les rares exceptions ont, à chaque fois, donné lieu à des événements catastrophiques."



Drac



Isère

Répartition annuelle des crues du Drac et de l'Isère à Grenoble (1600-1900) - Pourcentage de crues observées chaque mois - toutes classes de crue (d'après Cœur, 2008 - ANNEXE I-8 et ANNEXE I-10)

Rappelons que ces analyses se basent sur des enquêtes historiques pour lesquels l'indication du mois n'est pas toujours donnée, ce qui limite la représentativité de l'échantillon de départ.

6. ANNEXE II : ANALYSE DES DEBITS MESURES ACTUELLEMENT DISPONIBLES

Après avoir largement décrit les crues anciennes (avant 1950), l'objectif de cette annexe est de décrire, à partir des mesures de débits disponibles, le régime du Drac, d'estimer l'impact des aménagements hydroélectriques sur le régime du cours d'eau et d'analyser les chroniques de débits moyens journaliers afin de comprendre les crues "modernes".

Enfin, les débits et les hydrogrammes caractéristiques de crue (associés à des temps de retour), issues des études antérieures sont analysés et présentés dans l'annexe III.

Encadré 6-1. Quelques définitions utiles

(d'après le Dictionnaire français d'hydrologie et modifié
<http://hydrologie.org/glu/indexdic.htm>)

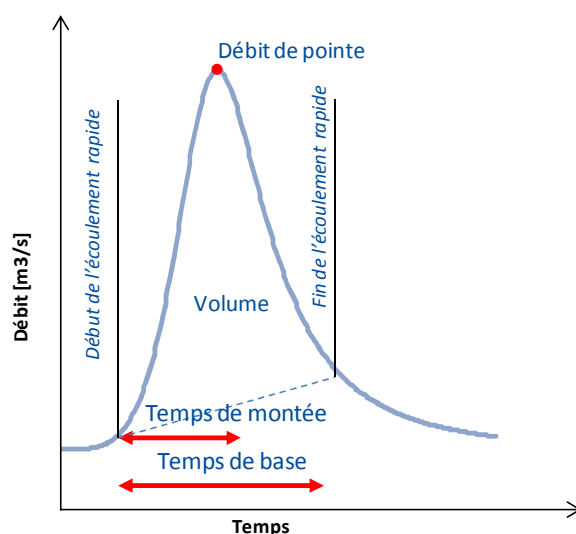
Hydrologie : L'hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol. L'**hydrologie de surface** étudie le ruissellement, les phénomènes d'érosion, les écoulements des cours d'eau et les inondations.

Hydraulique : L'hydraulique est une branche de la physique qui a pour objet l'étude de l'écoulement des liquides dont l'eau. L'**hydraulique fluviale** traite essentiellement de l'écoulement à surface libre de l'eau dans les cours d'eau naturels ou artificiels. L'hydraulique en charge étudie les écoulements à section pleine qui se propagent dans les conduites entièrement remplies par la veine liquide.

Inondation : Une inondation est un débordement lent ou rapide d'un cours d'eau hors de son lit mineur à la suite d'une crue. Les eaux occupent alors le lit majeur du cours d'eau.

Crue : Les crues (encore appelées « hautes eaux ») représentent une quantité d'eau « extraordinaire » (au sens étymologique du terme) qui est transportée (avec ou sans débordement) par un système hydraulique (lacs et cours d'eau). Le terme « crue » désigne dans la présente étude l'épisode complet de crue/décru jusqu'au retour à un régime courant. Elle peut être représentée par son **hydrogramme**. La crue peut être qualifiée selon son origine (comment s'est-elle formée?), son intensité (débit de pointe Q_p , volume écoulé, temps de montée, durée...) et sa fréquence d'apparition (exprimée généralement en temps de retour en années). La crue doit être distinguée de l'inondation. L'inondation correspond au débordement des eaux hors du lit mineur en rivière ou des berges d'un lac. Une crue ne conduit pas nécessairement à une inondation.

Hydrogramme : L'hydrogramme est la représentation, graphique ou non, de la variation des débits dans le temps. La connaissance de l'ensemble de l'hydrogramme de crue et de son volume total en particulier, est indispensable pour de nombreuses applications notamment pour l'estimation de cartes d'exposition aux risques d'inondation.



Exemple de variables utilisés pour caractériser l'intensité des crues

Aléa : L'aléa est un événement ou processus, naturel ou humain potentiellement dommageable. Il doit être défini par une intensité (pourquoi et comment ?), une occurrence spatiale (où ?) et temporelle (quand ?, durée ?).

Temps ou Période de retour (d'une crue) : La notion de temps de retour est destinée à caractériser la fréquence d'apparition d'un phénomène. Pour les événements rares le temps de retour est l'inverse de la probabilité d'occurrence de l'événement considéré au cours d'une année quelconque. Si p est la probabilité que l'événement donné se produise au cours d'une année donnée, le temps de retour attaché à cet événement est défini comme l'inverse de cette probabilité : $T=1/p$. Le temps de retour n'est donc qu'une autre façon d'exprimer, sous une forme qui se veut plus imagée, la probabilité d'un événement à un moment donné. Malgré son nom sans doute bien mal choisi, il ne fait référence à aucune notion de régularité ou de périodicité et peut même s'appliquer à des événements qui ne se sont pas produits et qui ne se produiront peut-être jamais à l'avenir.

6.1. DONNEES DE DEBITS JOURNALIERS ISSUES DE LA BANQUE HYDRO

La Banque HYDRO (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>), service proposé par l'état, stocke les mesures de hauteur d'eau (à pas de temps variable) en provenance d'environ 5000 stations de mesure (dont environ 3200 sont actuellement en service) implantées sur les cours d'eau français. HYDRO calcule sur une station donnée les débits instantanés, journaliers, mensuels,... à partir des valeurs de hauteur d'eau et des courbes de tarage (relations entre les hauteurs et les débits). Ces valeurs sont actualisées à chaque mise à jour d'une hauteur ou d'une courbe de tarage (addition, précision supplémentaire, correction,...).

Sur le bassin versant du Drac, la BANQUE HYDRO donne la liste des stations hydrométrique suivantes (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>). Les mesures de débit sont réalisées par la DREAL et EDF.

Tableau 18 – Liste des stations de mesures hydrométriques (en service ou arrêtées) sur le bassin versant du Drac

Code de la station	Libellé de la station	Département	Hauteurs Données disponibles	Débits Données disponibles
W2002010	Le Drac Noir à Orcières [Merlette]	Hautes-Alpes (05)	2013 - 2014	1974 - 1976
W2002021	Le Drac Noir à Orcières [Les Tourengs]	Hautes-Alpes (05)	1989 - 2015	1989 - 2015
W2015010	Le Drac Blanc à Champoléon [Gondouins]	Hautes-Alpes (05)	1975 - 1976	1974 - 1977
W2015020	Le Drac de Champoléon à Champoléon [Pont de Corbière]	Hautes-Alpes (05)	1989 - 2015	1989 - 2015
W2022010	Le Drac à Saint-Jean-Saint-Nicolas [Les Ricous]	Hautes-Alpes (05)	1972 - 2015	1972 - 2015
W2022030	Le Drac à Chabottes [Pont de Chabottes]	Hautes-Alpes (05)	2007 - 2015	2007 - 2015
W2222010	Le Drac à Corps [Le Sautet]	Isère (38)	non disponible	1969 - 1999
W2832020	Le Drac à Fontaine	Isère (38)	non disponible	1984 - 2011
W2714010	La Romanche à Mizoën [Chambon amont]	Isère (38)	non disponible	1948 - 2011
W2764010	La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]	Isère (38)	non disponible	1951 - 2011
W2314010	La Bonne à Entraigues [Pont Battant]	Isère (38)	1980 - 2015	1905 - 2016
W2335210	La Roizonne à la Valette [La	Isère (38)	1980 - 2015	1919 - 2016

	Rochette]			
W2405010	La Jonche à la Mure	Isère (38)	1972 - 2015	1972 - 2016
W2405020	La Jonche à Pierre-Châtel	Isère (38)	1984 - 1995	1986 - 1995
W2534010	L'Ébron à Clelles [Parassat]	Isère (38)	non disponible	1974 - 1977
W2746010	La Rive au Bourg d'Oisans	Isère (38)	1980 - 1991	1905 - 1990
W2755010	L'Eau d'Olle à Allemond [La Pernière]	Isère (38)	non disponible	1951 - 2011
W2767210	La Duy à Vizille	Isère (38)	1979 - 2015	1979 - 2015
W2804010	La Gresse à Saint-Guillaume [Pont des Beaumettes]	Isère (38)	1981 - 1986	1982 - 1984
W2804020	La Gresse à Gresse-en-Vercors [Pont Jacquet]	Isère (38)	1986 - 2016	1987 - 2016

Trois stations hydrométriques représentatives d'une partie du bassin versant et offrant des durées d'exploitation intéressantes pour l'analyse hydrologique sont disponibles. Les deux stations de la Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau] et du Drac à Fontaine présentent des régimes hydrologiques fortement influencés.

Tableau 19 - Stations de mesure hydrométriques utilisées

Code de la station	Libellé de la station	Surface du Bassin versant topographique	Altitude	Régime influencé	Producteur	Disponibilité de la donnée de débits (Qj)*
W2222010	Le Drac à Corps [Le Sautet]	990 km ²	671 m	pas ou faiblement	EDF	30 années (1970 - 1999)
W2764010	La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]	1000 km ²	701 m	fortement	EDF	64 années (1951 - 2014)
W2832020	Le Drac à Fontaine	3550 km ²	207 m	fortement	EDF	31 années (1984 - 2014)

* Seul les débits moyens maximums journaliers sont disponibles sur la BANQUE HYDRO

Le tableau suivant indique les périodes communes sur les stations :

Tableau 20 - Périodes communes sur les 3 stations étudiées

Code des stations	Libellé des stations	Disponibilité de la donnée de débits (Qj)*
W2222010 / W2764010	Le Drac à Corps [Le Sautet] / La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]	30 années (1970 - 1999)
W2222010 / W2832020	Le Drac à Corps [Le Sautet] / Le Drac à Fontaine	16 années (1984 - 1999)
W2832020 / W2764010	Le Drac à Fontaine / La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]	30 années (1984 - 2014)
W2832020 / W2222010 / W2764010	Le Drac à Fontaine / Le Drac à Corps [Le Sautet] / La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau]	16 années (1984 - 1999)

Les débits journaliers sur les 3 stations de référence de l'étude (Le Drac à Corps [Le Sautet] ; La Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau] ; Le Drac à Fontaine) ont été récupérés auprès de la banque HYDRO en Août 2016.

6.2. ANALYSE DU REGIME DU DRAC ET DE LA ROMANCHE

Le Drac et ses affluents sont aménagés par de nombreux ouvrages dont les principaux sont :

- La dérivation du Drac vers le canal de Gap aux Ricous (Superficie du bassin versant de 203 km²)¹⁹ ;
- Les retenues sur les rivières du Drac (Sautet - St Pierre de Cognet- Monteynard- N.D de Commiers), de la Romanche (Chambon-Clapier) et de l'Eau d'Olle (Grand Maison - Verney).

Les débits observés sur le secteur du PPRi (Drac et Romanche) sont ainsi influencés par les grands aménagements hydroélectriques implantés sur les cours d'eau. Différentes données et études permettent d'estimer cet impact sur le régime hydrologique et les débits en crues.

La BANQUE HYDRO fournit des débits mensuels mesurés (QMM) ou naturels (QMN) aux 3 stations hydrométriques représentatives du Drac (le Drac au Sautet ; le Drac à Fontaine) et de la Romanche (à Champeau). Pour chaque mois, les valeurs suivantes sont calculées :

- **QMM** : "débit mensuel mesuré", il s'agit de la moyenne des débits journaliers obtenus par une mesure des hauteurs (ou plus rarement des débits). L'évolution de ces débits est une combinaison d'un régime naturel typique des cours d'eau alpins (fort étiage d'hiver et crues annuelles de fonte) et de la gestion des aménagements hydroélectriques.
- **QMN** : "débit mensuel naturel reconstitué", c'est une estimation du débit naturel que l'on observerait en l'absence de l'ouvrage hydraulique modifiant le régime de la station. Si aucune valeur de modification du régime n'est communiquée à la banque HYDRO, le débit naturel reconstitué affiché est égal au débit mesuré.

Par ailleurs, la SHF (Société hydrotechnique de France) propose sur Internet une série d'annuaires hydrologiques numérisés (publiés entre 1939 et 1969) - voir encadré "Les annuaires hydrologiques numérisés de la SHF". Les données à la station d'Avignonet permettent d'avoir une idée plus précise de l'hydrologie naturelle du Drac, c'est-à-dire avant les derniers grands aménagements de Monteynard et de Saint Georges de Commiers. A noter que de 1934 à 1954, les débits du Sautet et d'Avignonet étaient déjà influencés par le barrage de Sautet, mais les débits publiés sont dit "naturel" c'est-à-dire qu'ils tiennent compte des variations du réservoir du Sautet.

6.2.1. LES REGIMES " NATURELS" DU DRAC ET DE LA ROMANCHE

Les figures suivantes montrent l'évolution des débits mensuels "naturels" du Drac et de la Romanche aux 3 stations de référence (données issues de la BANQUE HDYRO) ainsi que celle du Drac à Avignonet et au Sautet et de la Romanche à Riouperoux issues des annuaires de la SHF.

Les fluctuations saisonnières du **Drac en amont de la confluence** avec la Romanche sont typiques d'un régime nivo-pluvial avec :

- Deux maximas annuels : des hautes eaux de printemps-été dues à la fonte des neiges d'avril à juillet inclus (avec un maximum en mai-juin sous l'influence de la fonte nivale) et en octobre-novembre-décembre sous l'effet des pluies d'automne (avec un maximum en novembre lié aux précipitations de fin d'automne).

¹⁹ D'après EDF (2013) la prise d'eau des Ricous, une partie des débits du Drac sont dérivés vers le canal de Gap et le bassin de la Durance (Qmax dérivable = 4 m³/s).

- Deux périodes d'étiage, l'un de fin d'été en août-septembre (lié au déficit pluviométrique) et l'autre d'hiver en janvier-février (accumulation des précipitations sous forme de neige).

Le régime naturel de la **Romanche** est plutôt nivo-glaciaire avec une seule période de haute-eaux sur la période printemps-été dues à la fonte des neiges et des glaciers (avec un maximum en juin encore très sensible en juillet du aux altitudes plus élevées que sur le bassin du Drac).

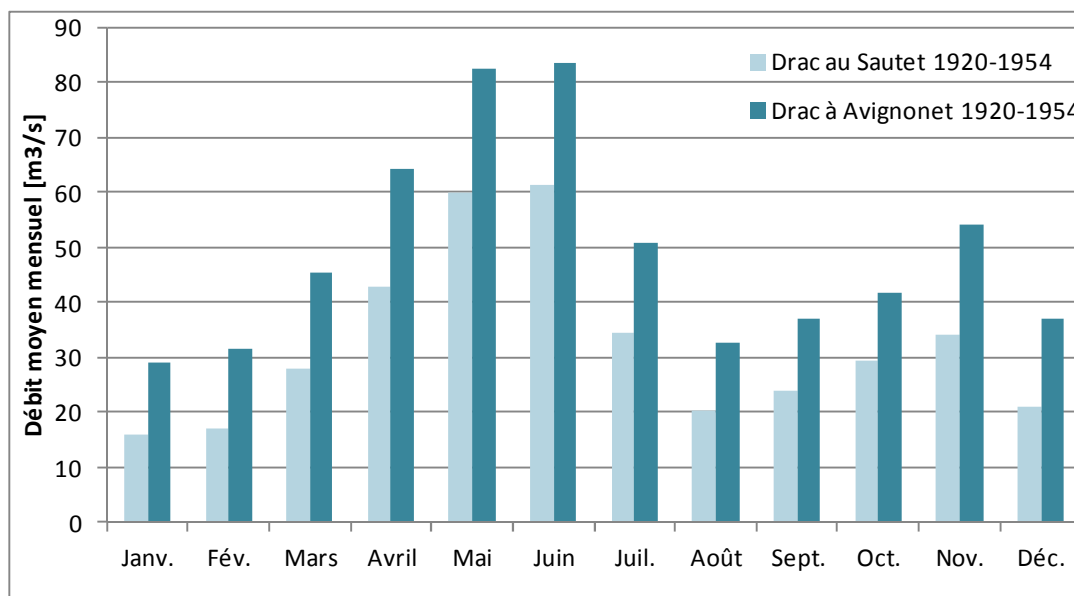


Figure 42. Evolution des débits mensuels naturels du Drac au Sautet et à Avignonet sur la période 1920-1954 avant les grands aménagements de Monteynard et de Saint Georges de Commiers (données issues de l'annuaire hydrologique numérisé de la SHF, 1954).

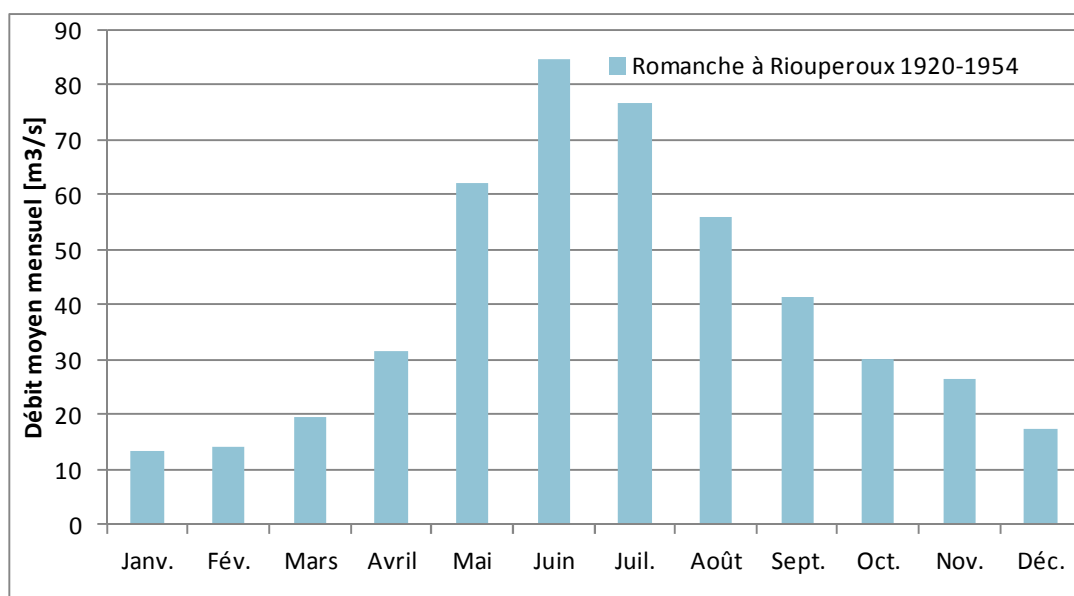


Figure 43. Evolution des débits mensuels naturels de la Romanche à Riouperoux avant les grands aménagements sur l'Eau d'Olle (données issues de l'annuaire hydrologique numérisé de la SHF, 1954).

A noter que les valeurs maximales naturelles sont assez proches sur les deux sous-bassins du Drac en débit moyen mensuel. Par ailleurs la variabilité d'une année sur l'autre peut être assez forte comme le montre le régime des débits (désinfluencé) du Drac au Monteynard établie par EDF (EDF, 2016) dans la figure ci-dessous.

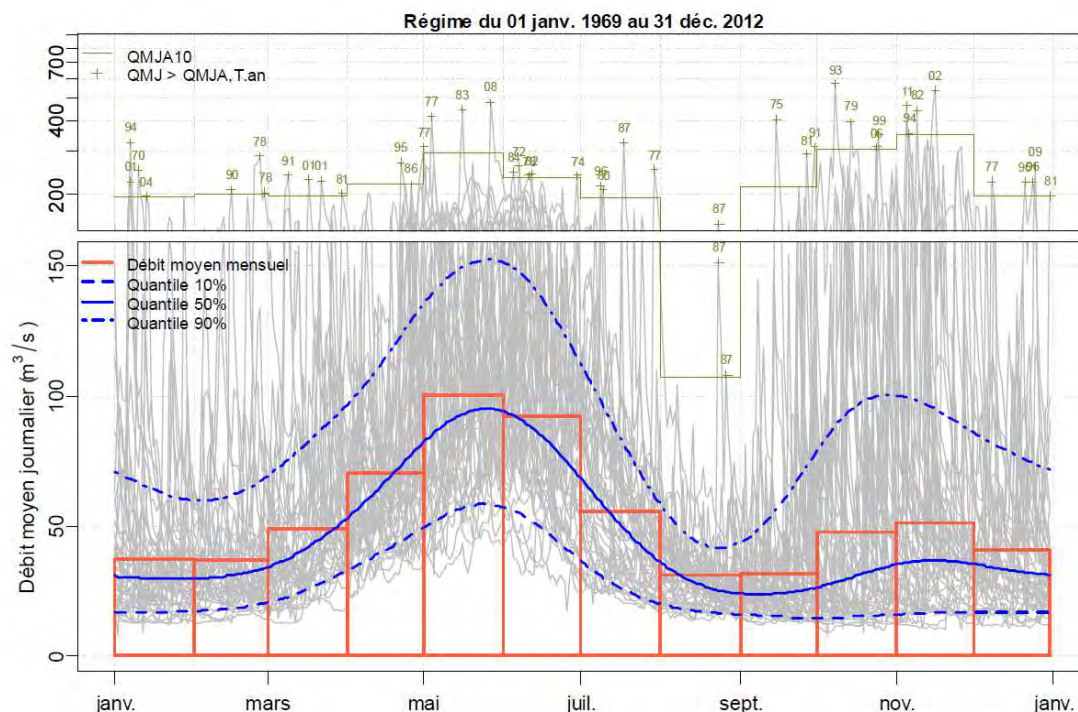


Figure 44. Régime des débits (désinfluencé) du Drac au Monteynard (EDF, 2016). Les croix vertes représentent les années pour lesquelles les valeurs de débits dépassent le débit journalier moyen mensuel de temps de retour 10 ans.

Le régime naturel du **Drac à Fontaine** est nivo-pluvial avec deux saisons hydrologiques assez marquées :

- Deux maximas annuels : une saison de très hautes eaux de Mai à Juillet (plus longue du fait de la double influence des régimes du Drac amont - maximum en mai et de la Romanche - maximum en juin). L'automne marque un maximum secondaire moins bien marqué que sur le Drac amont du fait d'un étiage estivale moins prononcé (apport de la Romanche) et d'apport relativement plus faibles de la Romanche en Automne (moins touchée par les pluies d'origine méditerranéenne).
- Deux périodes d'étiage : la période d'étiage la plus longue se situe de décembre à mars quand les précipitations sont stockées sous forme de neige dans les hauts massifs alpins constituant le bassin versant. La période d'étiage de fin d'été lié au déficit pluviométrique est plus court (minimum en septembre).

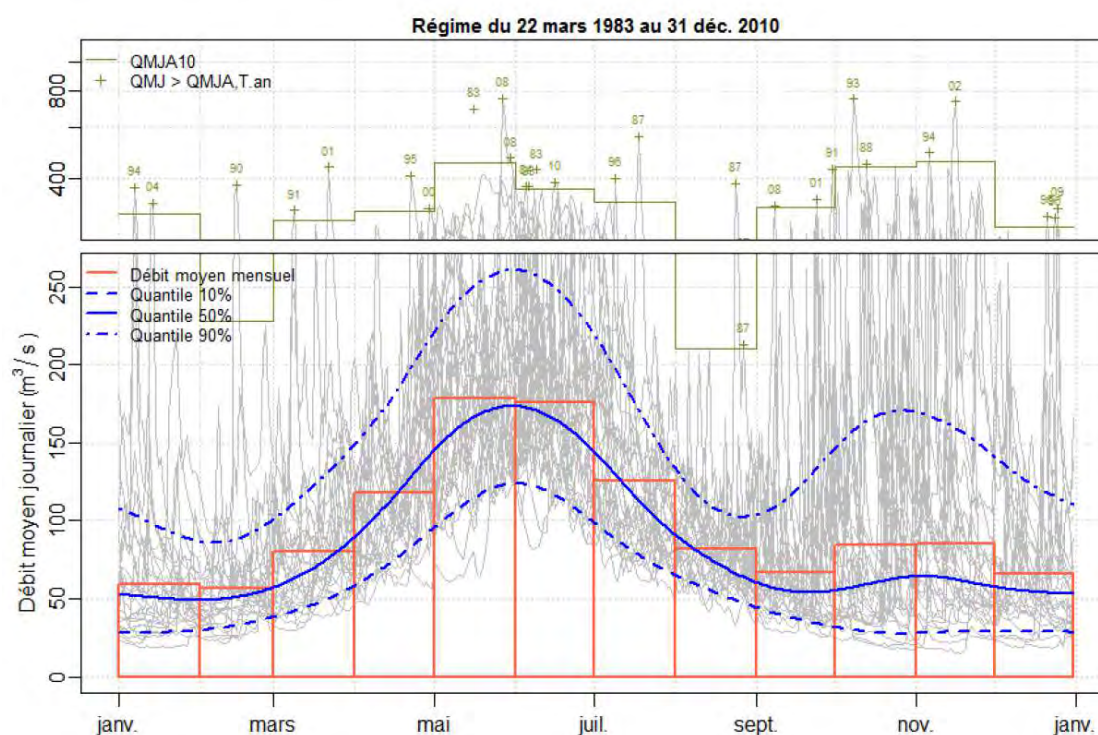


Figure 45. Régime des débits (désinfluencé) du Drac à Fontaine (EDF, 2013). Les croix vertes représentent les années pour lesquelles les valeurs de débits dépassent le débit journalier moyen mensuel de temps de retour 10 ans.

La comparaison des débits moyens mensuels normés (figure suivante) permet de mettre en évidence le décalage de la période de haute eau entre le bassin du Drac amont et la Romanche, lié à la fonte du manteau de neige sur l'un et de glaciers sur l'autre. Le Régime du Drac à Fontaine subit cette double influence.

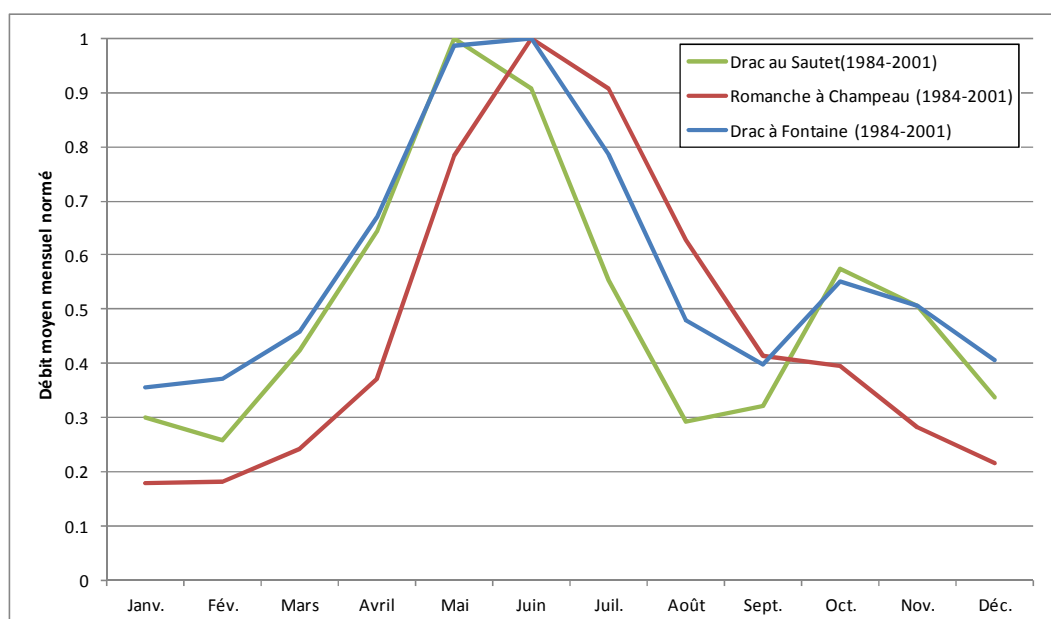


Figure 46. Comparaison des régimes naturels (débit moyen mensuel normé) sur la période commune (1984-2001) aux 3 stations de référence (données issues de la BANQUEHYDRO)

6.2.2. LES REGIMES "INFLUENCES" DU DRAC ET DE LA ROMANCHE

La comparaison des débits moyens mensuels influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) aux 3 stations hydrométriques représentatives du Drac et de la Romanche permet de préciser l'influence des aménagements hydroélectriques par effet de stockage ou déstockage dans les retenues (voir figures ci-dessous).

Le régime du **Drac au Sautet** n'est quasiment pas influencé.

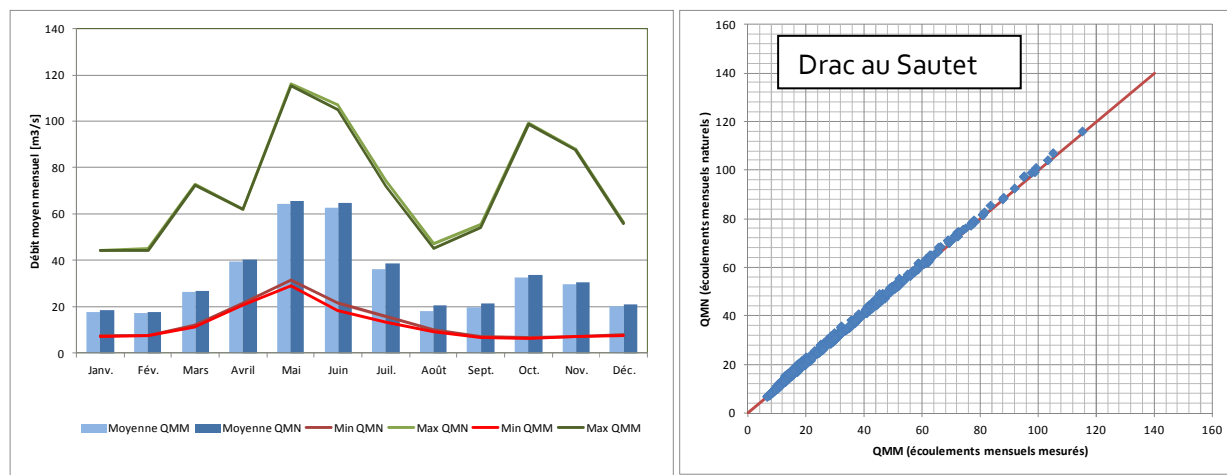


Figure 47. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station du Drac au Sautet (période de 1969-2002)

Le régime de la **Romanche à Champeau** est influencé par le fonctionnement des aménagements de production hydroélectrique sur son bassin versant avec une période de stockage (QMM<QMN) qui démarre en mai et se termine en juillet (maximum en juin). Le déstockage (QMM>QMN) intervient principalement de novembre à février.

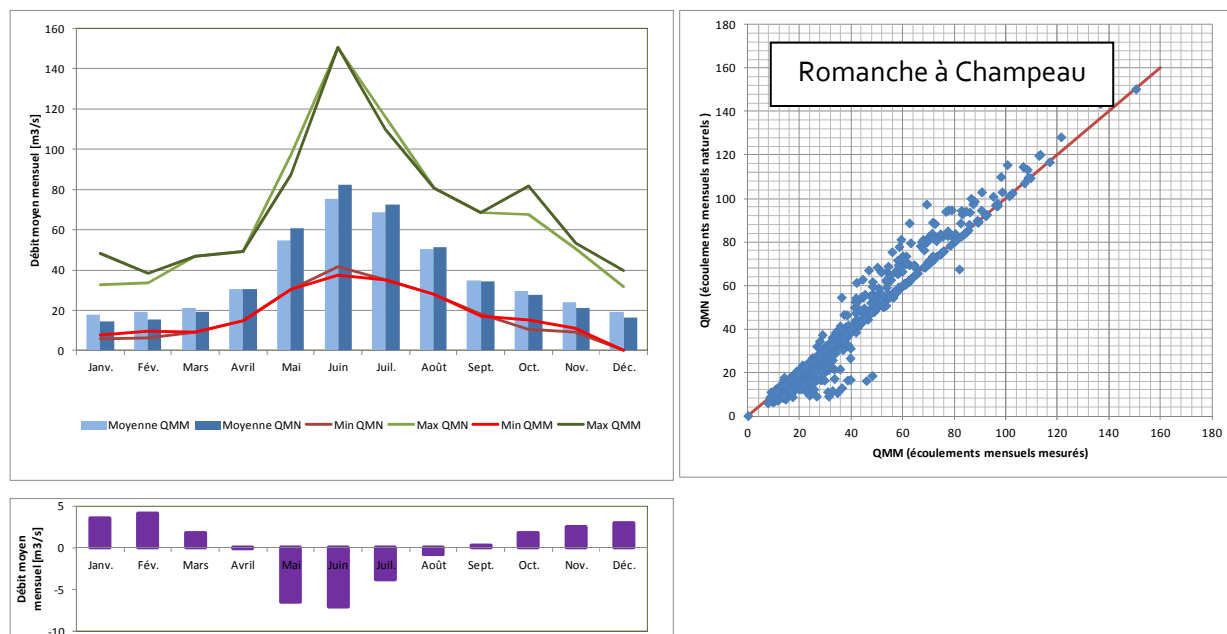


Figure 48. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station de la Romanche à Champeau (période de 1951-2014)

Pour le **Drac à Fontaine** qui subit la double influence des chaînes de production hydroélectriques du Drac amont et de la Romanche, la période de stockage principale s'étend d'avril à juillet avec un maximum en mai. La période de restitution principale s'étend de janvier à mars avec un maximum en février et de manière plus secondaire en automne (d'octobre à décembre). Ces graphiques cachent cependant une variabilité entre années forte comme en témoignent les graphiques QMN vs QMM avec les données mois-années.

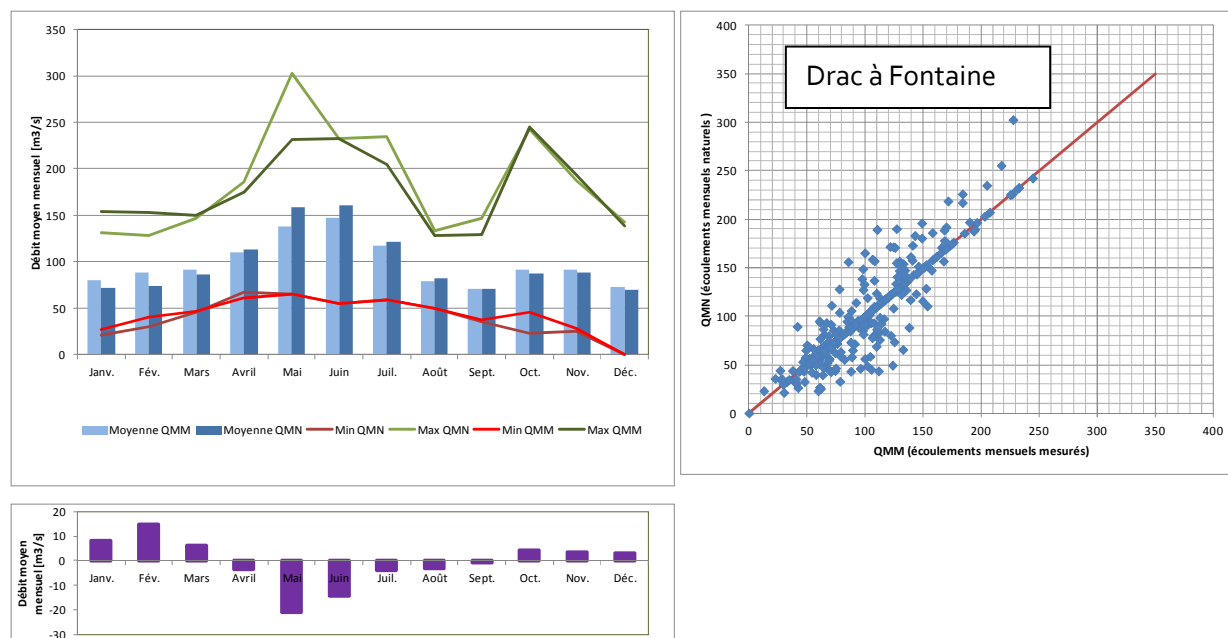


Figure 49. Comparaison des débits moyens mesurés et des débits naturels reconstitués à la station du Drac à Fontaine (période de 1984-2014)

6.3. ANALYSE DES PLUS FORTES CRUES ENREGISTREES (MESUREES)

6.3.1. LE DRAC A FONTAINE

Rappelons que seuls les débits journaliers ont été récupérés.

6.3.1.1. Répartition saisonnière des crues les plus fréquentes

Le Tableau ci-dessous présente les 23 plus fortes crues en termes de débits moyens journaliers influencés enregistrés sur le Drac à Fontaine entre 1984 et 2014 (c'est-à-dire supérieures à la crue biennale estimée par un ajustement de Gumbel sur 30 années de données de débits moyens journaliers annuels (1984 - 2014)). Pour chaque crue les débits moyens journaliers à +/- 3 jours observés au niveau des stations du Drac au Sautet ainsi que la Romanche à Champeau sont indiqués. Les figures suivantes présentent les hydrogrammes à pas de temps journaliers correspondant pour les deux crues les plus fortes.

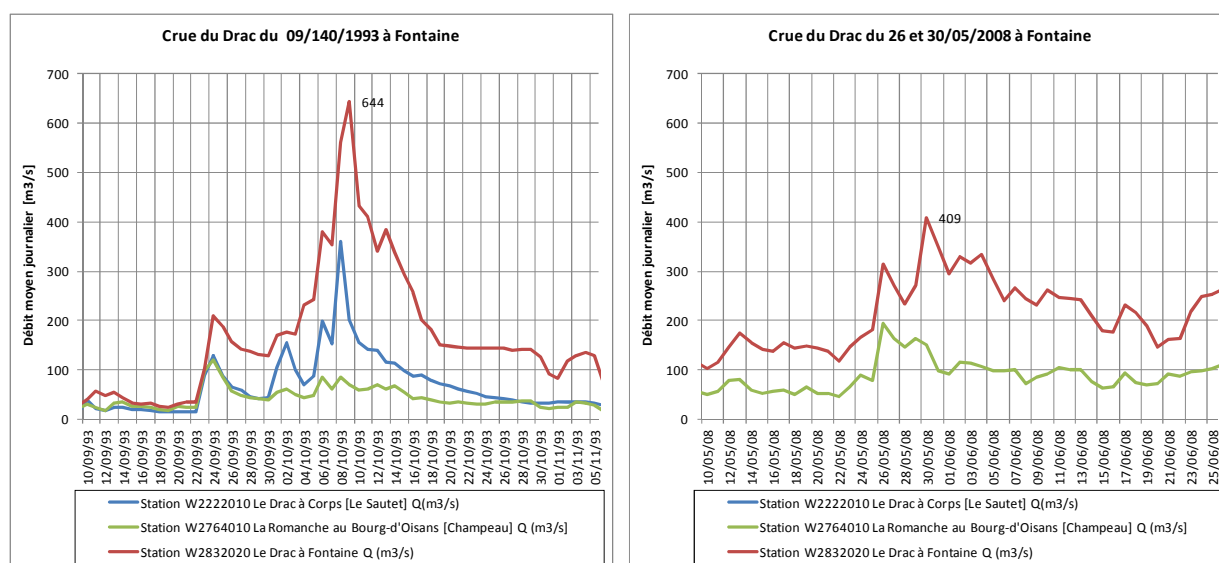


Figure 50. Hydrogrammes des crues remarquables à pas de temps journaliers mesurés aux 3 stations hydrométriques étudiées sur la période 1983-2014 (données issues de la BANQUE HYDRO)

Tableau 21 - Débits moyens journaliers remarquables mesurés aux 3 stations hydrométriques étudiées sur la période 1983-2014 (données issues de la BANQUE HYDRO)

	DRAC à Fontaine		Romanche à Champeau			Drac au Sautet		
	Date de l'évènement	Débit moyen journalier (m³/s)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m³/s)	Ecart de temps (jour)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m³/s)	Ecart de temps (jour)
1986	22/05/86	373	22/05/86	136	0	19/05/86	157	-3
1987	18/07/87	339	18/07/87	248	0	18/07/87	194	0
1990	08/12/90	268	07/12/90	68	-1	05/12/90	30	-3
1992	31/10/92	360	29/10/92	89	-2	31/10/92	153	0
1992	21/11/92	303	21/11/92	88	0	20/11/92	79	-1
1993	09/10/93	644	08/10/93	86	-1	08/10/93	360	-1
1994	07/01/94	276	05/01/94	69	-2	07/01/94	131	0
1994	06/11/94	303	06/11/94	87	0	06/11/94	201	0
1994	11/11/94	281	10/11/94	53	-1	14/11/94	156	3
1995	30/05/95	364	30/05/95	125	0	30/05/95	100	0
1995	01/12/95	270	01/12/95	44	0	04/12/95	21	3
2001	01/06/01	262	30/05/01	116	-2			
2002	16/11/02	373	16/11/02	85	0			
2002	26/11/02	363	26/11/02	48	0			
2008	26/05/08	314	26/05/08	194	0			
2008	30/05/08	409	29/05/08	164	-1			

2008	07/09/08	253	07/09/08	96	0			
2010	31/05/10	272	31/05/10	105	0			
2010	17/06/10	331	16/06/10	113	-1			
2013	19/05/13	304	16/05/13	112	-3			
2013	19/06/13	360	20/06/13	161	1			
2013	08/08/13	297	08/08/13	187	0			

La distribution mensuelle de ces crues montre une répartition des crues les plus fréquentes entre le printemps (mai et juin) et l'automne (octobre, novembre et décembre) caractéristique des régimes des rivières alpines pluvio-nival.

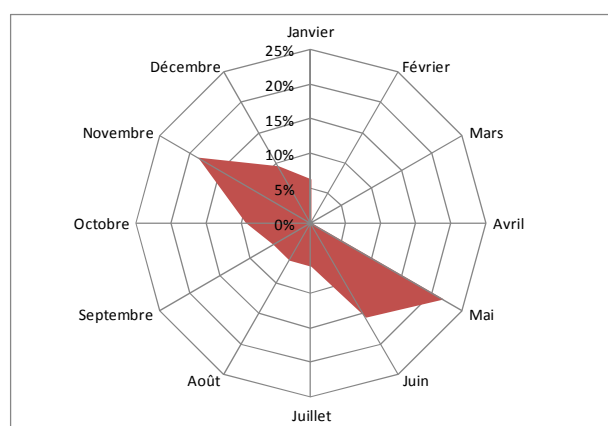


Figure 51. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 (en % d'occurrence)

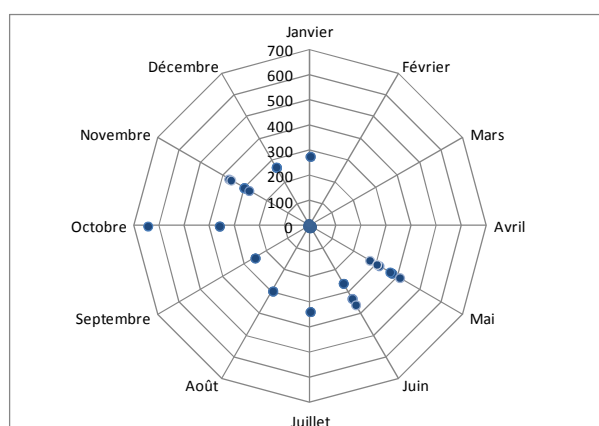


Figure 52. Distribution mensuelle des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 en termes de débits moyens journaliers (en m³/s)

Les crues de printemps

Les crues les plus nombreuses (35 % des crues) surviennent au début de la saison chaude en raison principalement des débits de base gonflés par la fusion nivale.

Sur cette période de hautes eaux, il suffit de précipitations abondantes, mais pas nécessairement exceptionnelles, pour générer le débit maximal de l'année (Dumas, 2010). En effet les fortes crues sont parfois observées alors que les cumuls de précipitations ne sont pas très importants (voir tableau et figure ci-après). C'est le cas pour les crues du 22/05/1986 et du 30/05/1995. Celles-ci sont générées au printemps par des pluies faibles alliées à une forte fonte du manteau neigeux et en absence de stockage significatif dans les retenues (EDF, 2014). L'épisode du 26/05/2008 au 30/05/2008, ainsi que la crue du 17/06/2010 sont dus quant à eux, à des cumuls de précipitations importantes alliés à la fonte du manteau neigeux au printemps. Pour certaines crues, les retenues des aménagements en amont de Fontaine ont eu parfois un impact significatif sur les volumes moyens maximaux (EDF, 2014).

Crue du 30/05/95

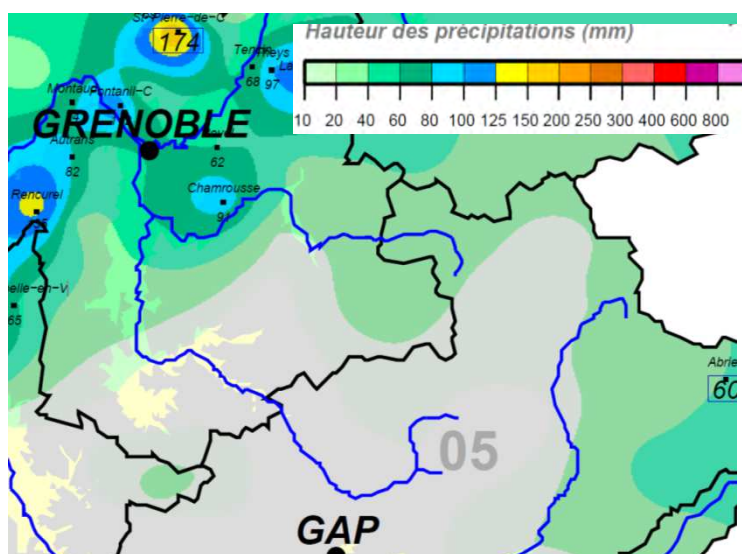
Origine de la crue : fonte des neiges

Débit de crue maximum journalier :
364 m³/s

Cumul de pluie sur 5 jours* : 48 mm

Episode de pluie associé** : 3 jours
du 29/05 au 31/05/1995 au nord des
bassins (maximum de 174 mm à
Saint-Pierre de Chartreuse).

Commentaire : La Romanche est
plus arrosée ce qui se traduit par des
débits moyens journaliers
maximums plus importants sur la
Romanche que sur le Drac au Sautet.



Episode de 3 jours du 29/05 au 31/05/1995

Crue du 26/05/08 et 30/05/08

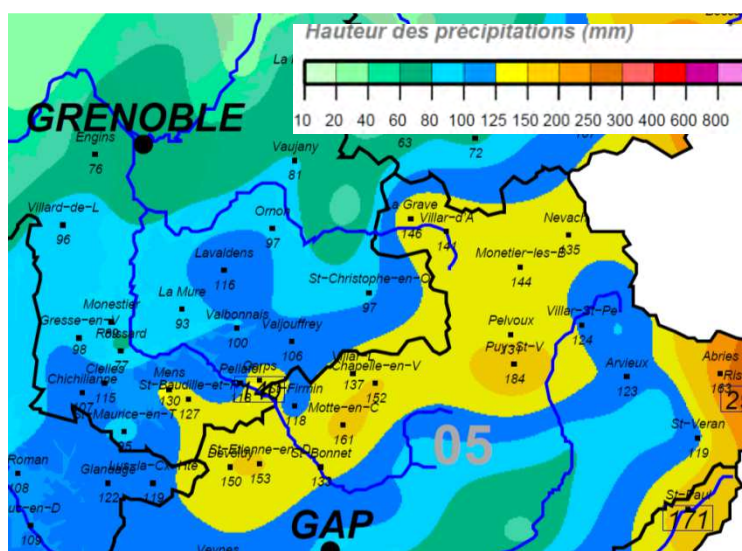
Origine de la crue : cumul de pluie et
fonte des neiges

Débit de crue maximum journalier :
409 m³/s

Cumul de pluie sur 5 jours* : 121 mm

Episode de pluie associé** : 6 jours
du 24/05 au 29/05/2008 (maximum
de 146 mm à la Grave et de 140 mm
à Saint Firmin).

Commentaire : La Romanche et le
Drac reçoivent des cumuls
importants de précipitations liés à
une circulation du Sud et un retour
d'Est. Les débits moyens journaliers
maximums sont plus importants sur
le Drac au Sautet (81 mm en 24h le
25/05/2008 à la Motte en
Champsaur).



Episode de 6 jours du 24/05 au 29/05/2008

Figure 53. Exemple de crue de printemps. * Pluie spatiale définie à Fontaine (calculée par EDF, 2011) - ** Cartes pluviométriques issues du site de MétéoFrance "Pluies extrêmes en France métropolitaine".

Les crues d'automne

Les crues d'automne (19% des crues en novembre) sont marquées par des précipitations globalement plus abondantes sur cette période de l'année. Pour ces crues remarquables, hormis pour la crue du 31/10/1992, les précipitations touchent davantage le bassin versant du Drac que celui de la Romanche. La seule grande crue (supérieure à 600 m³/s) est celle d'octobre 1993 ; elle est associée à une circulation du Sud et des cumuls de pluie relativement élevés sur le bassin versant du Drac (131 mm sur 5 jours), mais pas exceptionnels (celle de 2002 l'est plus).

Crue du 31/10/1992

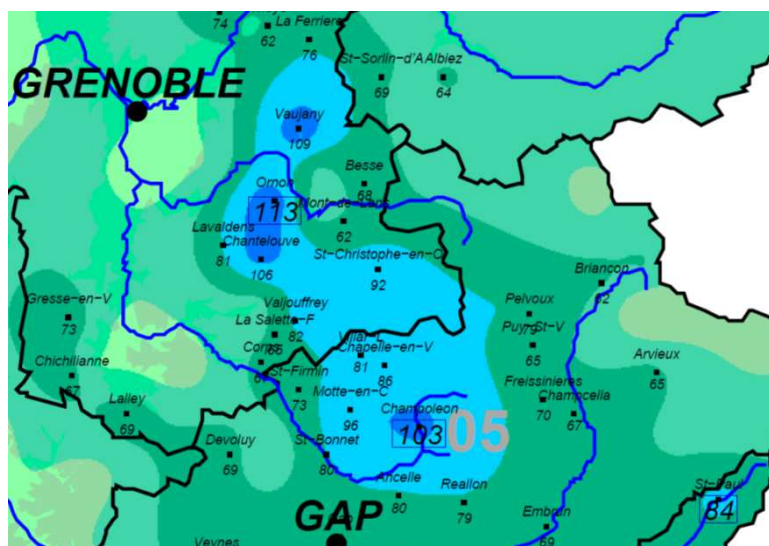
Origine de la crue : cumul de pluie sur l'ensemble du bassin versant

Débit de crue maximum journalier : 360 m³/s

Cumul de pluie sur 5 jours* : 105 mm

Episode de pluie associé** : 3 jours du 28/10 au 30/10/1992 (maximum de 113 mm à Ornon et de 103 mm à Champoleon).

Commentaire : La Romanche et le Drac reçoivent des cumuls importants de précipitations liés à situation météorologique "Océanique stationnaire". Les deux bassins contribuent à la crue du Drac à Fontaine.



Episode de 3 jours du 28/10 au 30/10/1992

Crue du 09/10/93

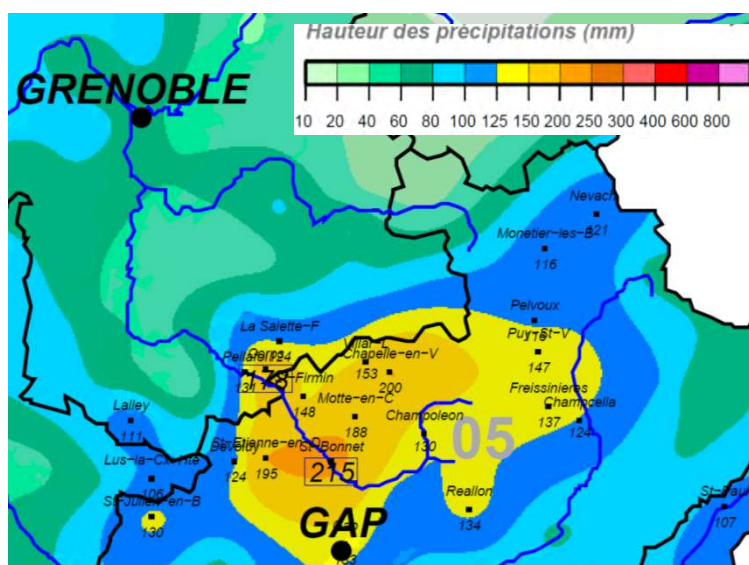
Origine de la crue : forte intensité de pluie sur le Drac

Débit de crue maximum journalier : 644 m³/s

Cumul de pluie sur 5 jours* : 131 mm

Episode de pluie associé** : 4 jours du 05/10 au 08/10/1993 (maximum de 215 mm en 4 jours à Saint Bonnet en Champsaur et de 178 mm à Corps).

Commentaire : Le Drac reçoit des cumuls de pluie bien plus importants que la Romanche (lié à une origine des flux méditerranéens). Les débits moyens journaliers maximums de la Romanche à Champeau sont faibles.



Episode de 4 jours du 05/10 au 08/10/1993

Crue du 06/11/94

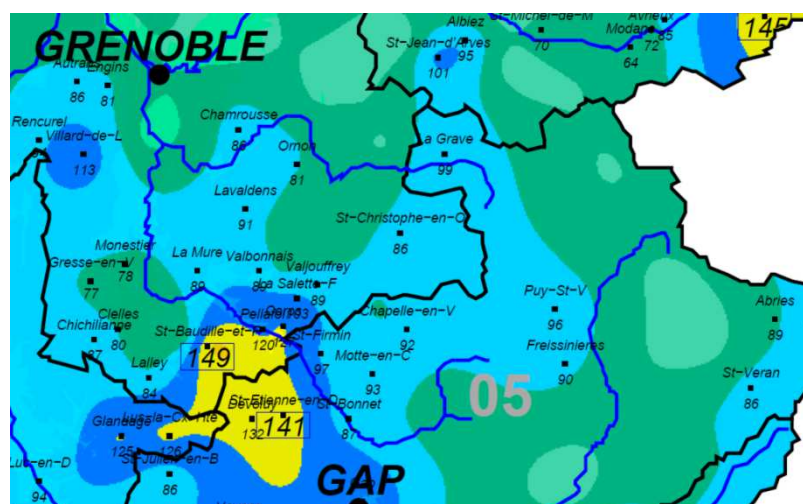
Origine de la crue : forte intensité de pluie sur le Drac

Débit de crue maximum journalier : 303 m³/s

Cumul de pluie sur 5 jours* : -

Episode de pluie associé** : 3 jours du 04/11 au 07/11/1994 (maximum de 149 mm à Saint Baudille en Pipet).

Commentaire : Le Drac reçoit des cumuls de pluie plus importants que la Romanche. Les débits moyens journaliers maximums de la Romanche à Champeau sont faibles.



Episode de 3 jours du 04/11 au 07/11/1994

Crue du 16/11/02

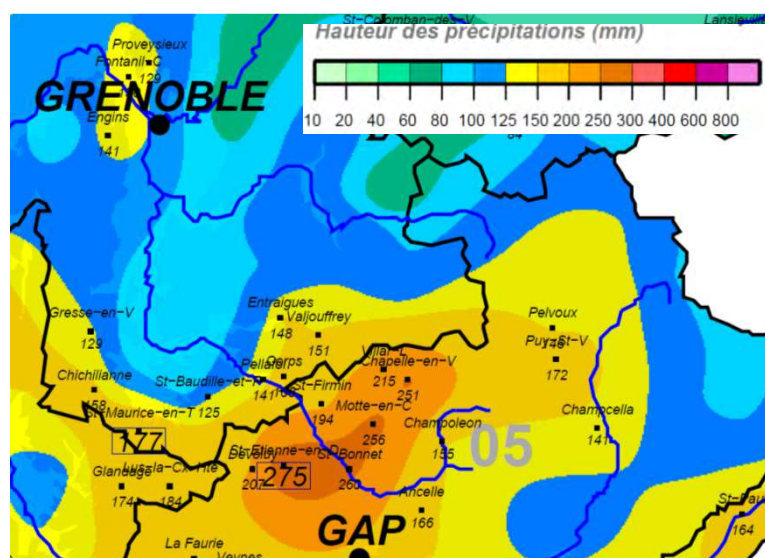
Origine de la crue : forte intensité de pluie sur le Drac

Débit de crue maximum journalier : 373 m³/s

Cumul de pluie sur 5 jours* : 177 mm

Episode de pluie associé** : 5 jours du 12/11 au 16/11/2002 (maximum de 134 mm/24h à Saint Bonnet en Champsaur).

Commentaire : Le Drac reçoit des cumuls de pluie plus importants que la Romanche. Les débits moyens journaliers maximums de la Romanche à Champeau sont faibles.



Episode de 5 jours du 12/11 au 16/11/2002

Figure 54. Exemple de crue d'Automne. * Pluie spatiale définie à Fontaine (calculée par EDF, 2011) - ** Cartes pluviométriques issues du site de MétéoFrance "Pluies extrêmes en France métropolitaine".

Les types de temps associés à l'ensemble des crues sont de 5 types (cf. tableau EDF). Les types de temps les plus courants associés à ces crues remarquables sont des flux d'Ouest (Onde atlantique) et les flux du Sud (Circulation de sud). Le bassin versant du Drac à Fontaine subit également l'influence des dépressions centrales, du retour d'Est et des flux océaniques stationnaires. Tous ces types de temps sont susceptibles de générer des fortes crues.

Il est également intéressant de noter qu'un type de temps n'est pas particulièrement associé à une saison de crues :

- Les 6 crues de printemps-été correspondent à des cumuls de pluies et des types de temps très variables (4 types de temps) ; les phénomènes météorologiques généralement associés

à ses crues (perturbation orientée Sud Est) n'apparaissent que 3 fois sur 6 (2 crue associée à "Circulation de sud", 1 crue associée à un "Retour d'Est"). Les phénomènes météorologiques de type perturbation océanique (provenance Ouest ou Sud Ouest) sont à l'origine des 3 autres crues. Enfin, certaines crues sont associées à de très faibles cumul pluvieux et donc à des processus de fonte importants.

- Les crues d'Automne présentent en revanche des cumuls plus importants mais également des situations météorologiques variables (4 types de temps) bien que les types de temps liés aux perturbations océaniques soient bien représentés (3 crues sur 5).

Tableau 2 – Récapitulatif des 11 plus fortes crues en pointe observées à Fontaine sur la période 1983-2010 (d'après EDF, 2014)

Date de l'épisode	Débit de pointe influencé sur l'épisode (m ³ /s)*	Débit moyen journalier influencé maximal sur l'épisode (m ³ /s)*	Cumul maximal sur l'épisode des précipitations sur 5 jours (mm)**	Situation météorologique dominante (Type de Temps TT)
09/10/1993	826	644	131	Circulation de sud
16/11/2002	550	373	177	Dépression centrale
30/05/2008	482	409	121	Circulation de sud
31/10/1992	474	360	105	Océanique stationnaire
26/05/2008	445	314	105	Circulation de sud
21/11/1992	416	303	86	Océanique stationnaire
22/05/1986	409	373	20	Onde atlantique
07/09/2008	398	253	134	Onde atlantique
30/05/1995	392	364	48	Sud-ouest
18/07/1987	382	339	81	Onde atlantique
17/06/2010	367	331	76	Retour d'Est

* Débit influencé mesuré à la station de Fontaine

** Pluie spatiale définie à Fontaine (calculée par une combinaison linéaire des mesures pluviométriques disponibles sur le bassin (ou à proximité).

*** Classification de type de temps établis par EDF-DTG et utilisée dans l'application de la méthode SCHADEX (Paquet et al., 2006)²⁰. A travers ces 8 types de temps, les circulations atmosphériques typiques sur les massifs montagneux français sont distinguées.

²⁰ Paquet E., Gailhard, J. et Garçon (2006).-Evolution de la méthode du Gradex : approche par type de temps et modélisation hydrologique. La Houille Blanche, 5: 80-90,doi:10.1051/lhb:2006091.

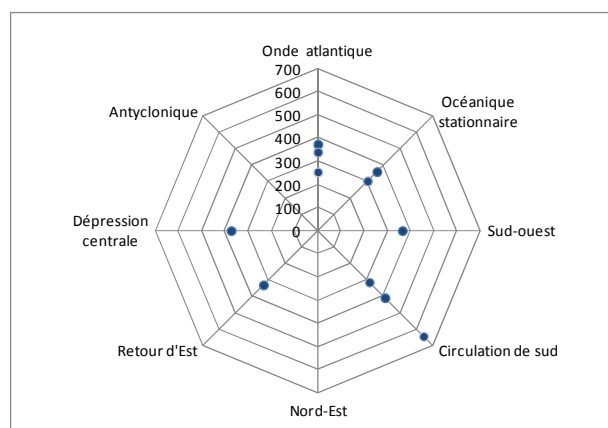


Figure 55. Distribution des 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 par type de temps (en %) - (d'après données issues de EDF, 2014)

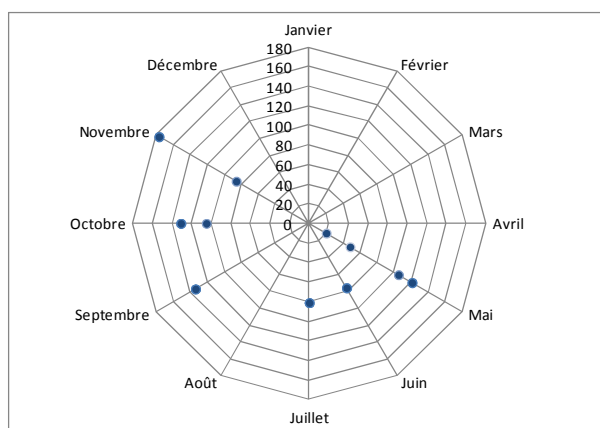


Figure 56. Distribution mensuelle des cumul maximal sur l'épisode des précipitations sur 5 jours pour les 11 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2010 (en mm) - (d'après données issues de EDF, 2014))

6.3.1.2. Analyse des fréquences d'apparition (Q_j mesurées)

Une analyse sur les fréquences empiriques des débits moyens maximums journaliers annuels mesurés (m^3/s) par couple de station S_1/S_2 à été menée pour identifier une éventuelle dépendance entre les crues de la Romanche et celles du Drac. L'idée est de voir si les plus forts volumes journaliers observés annuellement sur le Drac à Fontaine correspondent à ceux de la Romanche et vice-versa.

Le principe de l'analyse est décrit ci-dessous :

1. Sélection des données de débits journaliers de deux stations S_1 et S_2 sur une période commune.
2. Estimations des fréquences empiriques et ajustement à une loi de GUMBEL sur la période commune.
3. Sélection des débits journaliers de crue (débits moyens maximums journaliers annuels) sur la station de référence S_1 et sur la période commune (débit journalier de crue caractérisés par le jour calendaire et sa fréquence empirique et théorique $F^{th}(S_1)$).
4. Recherche du débit moyen maximum journalier sur la station S_2 et sur la même date à ± 3 jours (ceci permet de tenir compte des décalages dans le temps de la sollicitation pluvieuse et des temps d'acheminement) et attribution d'une fréquence théorique $F^{th}(S_2)$.
5. Comparaison des dates, des débits et des fréquences théoriques.
6. Même étape mais avec S_2 comme référence.

Ainsi, si les plus forts volumes journaliers observés lors des événements remarquables aux deux stations S_1 et S_2 se produisaient au même moment ou étaient dépendant l'un de l'autre, les points définis par les coordonnées ($F^{th}(S_1)$, $F^{th}(S_2)$) seraient alignés ou parallèle à la droite $x=y$.

La station du Drac à Fontaine est prise comme référence (S_1). La station S_2 est celle de la Romanche à Champeau. La période commune s'étend sur 30 années (1984 - 2014).

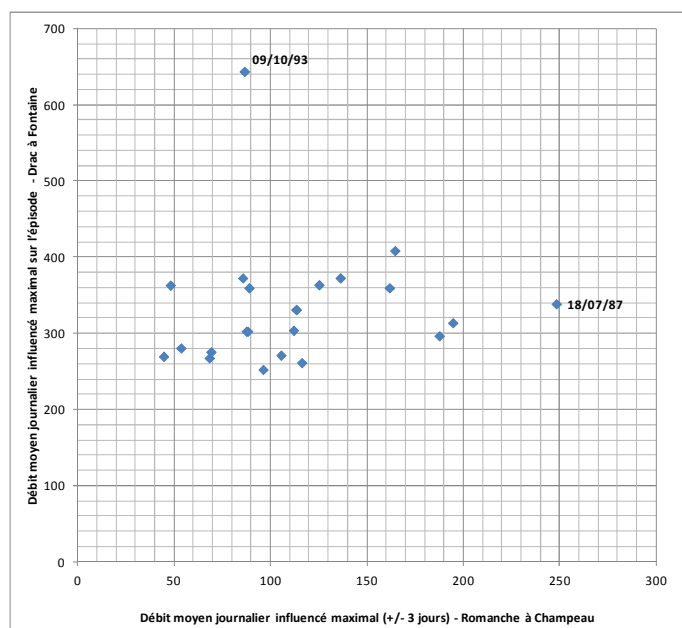


Figure 57. Débit moyen journalier influencé maximal des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 vs Débit moyen journalier influencé maximal à +/- 3 jours de la Romanche à Champeau.

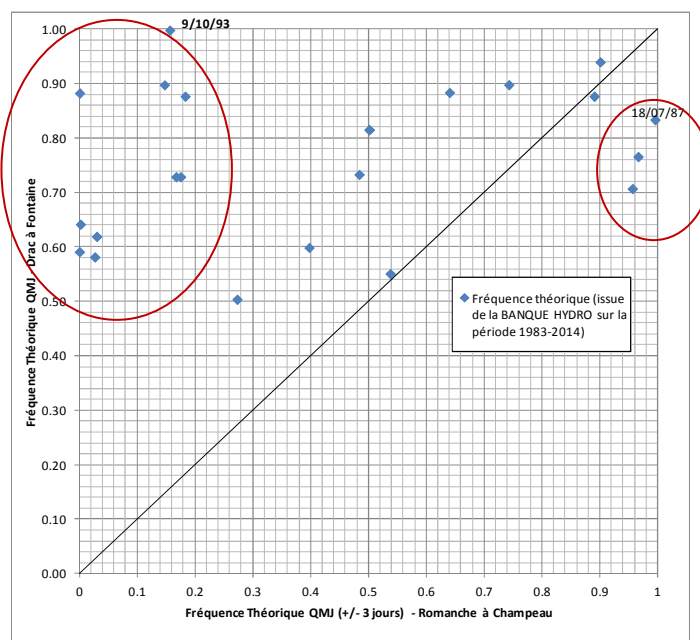


Figure 58. Fréquence théorique des débits moyens journaliers influencés maximal (QMJ) des 23 crues remarquables du Drac à Fontaine entre 1984-2014 en %)

Les deux figures permettent de soulever différents points :

- La comparaison des débits journaliers maximum sur les 23 crues remarquables du Drac à Fontaine avec ceux de la Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau] à +/- 3 jours (sur les 30 années communes) ne montre pas de dépendance significative entre ces deux grandeurs. Une forte crue du Drac à Fontaine n'est pas forcément liée à une forte crue de la Romanche. La crue d'octobre 1993, seule crue > 600 m³/s, paraît atypique avec un débit particulièrement faible sur la Romanche par rapport aux débits enregistrés sur le Drac.
- La comparaison des fréquences théoriques ne montre pas de dépendance systématique entre ces deux grandeurs. Les crues les plus rares sur le Drac ne correspondent pas forcément à des volumes journaliers rares sur la Romanche (à +/- 3 jours). Les crues du Drac à Fontaine s'expliquent par la double influence des crues du Drac amont et de la Romanche, dont les crues ne sont pas forcément concomitantes. Différents types de crue apparaissent :
 1. Une série de crues rares du Drac à Fontaine (10 crues dont celle d'octobre 1993) qui ne correspondent pas à des volumes rares sur la Romanche. Il s'agit donc a priori d'une crue du Drac amont avec une crue simultanée faible de la Romanche (cette dernière est liée soit à une sollicitation pluvieuse plus faible sur le bassin de la Romanche que sur celui du Drac ou d'un laminage important de la crue - effet des retenues ou des débordements en lit majeur). Sur cette crue, l'étude EDF(2014) montre que la crue sur le Drac amont n'a pas subi l'influence des retenues.
 2. Une série de crues rares à Fontaine qui correspondent à des volumes plus rares sur la Romanche (3 crues dont celle de juillet 1987). Il s'agit donc a priori de crue de la Romanche avec une crue simultanée faible du Drac liée soit à une sollicitation pluvieuse plus faible sur le bassin ou d'un amortissement important (effet des retenues ou des débordements en lit majeur). Effectivement, la crue de 1987 a par exemple été laminée par les retenus du Drac en amont de la confluence avec la Romanche (EDF, 2014).

3. Pour les autres crues du Drac à Fontaine, la fréquence est plus ou moins liée aux crues de la Romanche (dépendances des fréquences théoriques).

Afin de mieux cerner les types de crues, la même procédure a été appliquée aux stations du Drac au Sautet et de la Romanche au Bourg d'Oisans [Champeau] mais uniquement sur la période commune qui s'étend sur 16 années (1984 - 1999). Sur les 11 crues remarquables de la période communes, il n'y a pas de dépendances systématiques entre les fréquences de crues du Drac à Fontaine est celles du Drac au Sautet ou celles de la Romanche à Champeau.

6.3.2. LE DRAC A MONTEYNARD

Il n'est pas aisé de recenser les événements sur le bassin versant du Drac au Monteynard. Les sites des barrages de Monteynard et de Notre-Dame de Commiers sur le Drac ont cependant fait l'objet d'une réactualisation de l'étude de crue extrême avec la méthode SCHADEX (EDF, 2015) dans laquelle des données pour les 10 crues les plus fortes crues en volume observées au Monteynard sur la période 1969 - 2012 sont disponibles (EDF dispose de débits mesurés de manière journalière au droit du barrage de Monteynard). Les débits non influencés sont reconstitués à partir de différentes séries journalières (décrit au § 4.2.2 EDF, 2016).

Le Tableau ci-dessous présente les 10 plus fortes crues en termes de débits moyens journaliers influencés enregistrées sur le Drac à Monteynard et pour chaque crue les débits moyens journaliers à +/- 3 jours observés au niveau des stations du Drac au Sautet et à Fontaine ainsi que la Romanche à Champeau sont indiqués.

Tableau 22 - Débits moyens journaliers remarquables mesurés à Monteynard sur la période 1969-2012 et aux 3 stations hydrométriques étudiées

	DRAC à Monteynard *		Drac au Sautet **			Romanche à Champeau**			Drac à Fontaine**		
	Date de l'évènement	Débit moyen journalier (m³/s)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m³/s)	Ecart de temps (jour)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m³/s)	Ecart de temps (jour)	Date du maximum (+/- 3 jours)	Débit moyen journalier (m³/s)	Ecart de temps (jour)
1975	15/09/1975	271	15/09/75	217	0	15/09/75	189	0			
1977	04/05/1977	292	04/05/77	209	0	01/05/77	74	3			
1979	14/10/1979	285	17/10/79	240	-3	15/10/79	85	-1			
1982	09/11/1982	261	09/11/82	254	0	09/11/82	56	0			
1983	16/05/1983	276	16/05/83	253	0	16/05/83	143	0			
1993	08/10/1993	572	08/10/93	360	0	08/10/93	86	0	09/10/93	644	-1
1994	06/11/1994	255	06/11/94	201	0	06/11/94	87	0	06/11/94	303	0
2002	16/11/2002	482				16/11/02	85	0	16/11/02	373	0
2008	26/05/2008	199				26/05/08	194	0	26/05/08	314	0
2011	05/11/2011	242				05/11/11	92	0	05/11/11	188	0

* données issues du rapport EDF 2015

** données issues de la BANQUE HYDRO

La distribution mensuelle de ces 10 crues montre une répartition des crues les plus fréquentes entre le printemps (mai) et l'automne (octobre, novembre et décembre) caractéristique des régimes des rivières alpines pluvio-nival. Les crues les plus nombreuses (7 crues sur 10) surviennent en automnes (dont 4 crues sur 10 en novembre) et sont marquées par des précipitations globalement plus abondantes sur cette période de l'année. L'influence des retenues est très variable et non systématique d'une crue à une autre d'après les données d'EDF (EDF, 23016). Cet aspect est traité dans la partie suivante.

L'analyse des situations météorologiques met en évidence que la genèse des fortes pluies a pour origine des types de temps correspondant majoritairement à une Circulation de Sud (TT4) et des Dépressions Centrales (TT7). Plus rarement, le bassin versant du Drac subit également l'influence, des Retours d'Est (TT6), des Flux Océaniques stationnaires (TT2) et des situations Ondes Atlantiques (TT1), qui ont pour conséquences d'importantes crues qui font parties des 10 plus fortes recensées entre 1969 et 2012.

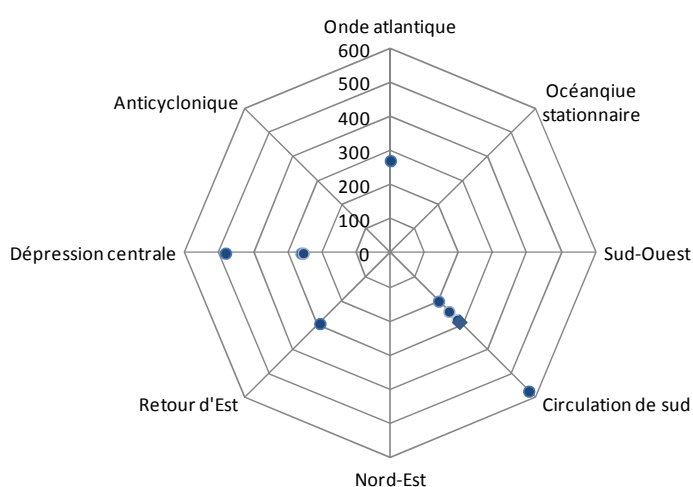


Figure 59. Distribution des 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 par type de temps (en %) - (d'après données issues de EDF, 2016)

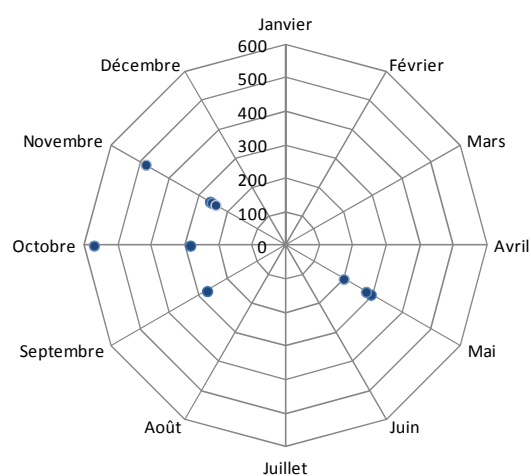


Figure 60. Distribution mensuelle des cumul maximal sur l'épisode des précipitations sur 5 jours pour les 10 crues remarquables du Drac à Monteynard sur la période 1969-2012 (en mm) - (d'après données issues de EDF, 2016))

6.3.3. INFLUENCE DES AMENAGEMENTS SUR LES CRUES LES PLUS REMARQUABLES

Les sites des barrages de Monteynard et de Notre-Dame de Commiers sur le Drac ainsi que du Drac à Fontaine ont fait l'objet d'une réactualisation de deux études de crue extrême avec la méthode SCHADEX (EDF, 2014 et 2016).

Des séries de débits naturels ont été reconstituées sur les deux sites à partir de différentes autres séries de mesures de débit ou des variations de réserves dans les retenues. Une analyse sur les débits moyens journaliers influencés et désinfluencé pour les plus fortes crues observés a été menée :

- Sur les 10 plus fortes crues en débit journalier (en volume observées), enregistrées sur le Drac au Monteynard entre 1969 et 2012.
- Sur les 11 plus fortes crues en pointe, enregistrées sur le Drac à Fontaine entre 04/1983 et 2010.

Tableau 23 - Récapitulatif des 10 plus fortes crues en volume observées au MONTEYNARD sur la période 1969 - 2012 (EDF, 2016)

Date de l'épisode	Débit moyen journalier désinfluencé maximal sur l'épisode ⁴ (m ³ /s)	Débit moyen journalier influencé ⁵ maximal sur l'épisode (m ³ /s)	Impact des aménagements sur le débit moyen journalier (m ³ /s)	Cumul maximal sur l'épisode des précipitations sur 5 jours ⁶ (mm)	Situation météorologique dominante (Type de Temps TT)
08/10/1993	569	572	3	157	Circulation de sud (TT4)
16/11/2002	534	482	-52	197	Dépression centrale (TT7)
26/05/2008	476	199	-277	119	Circulation de sud (TT4)
05/11/2011	462	242	-221	156	Circulation de sud (TT4)
16/05/1983	448	276	-172	123	Circulation de sud (TT4)
09/11/1982	444	261	-183	124	Dépression centrale (TT7)
04/05/1977	417	292	-125	123	Retour d'est (TT6)
15/09/1975	407	271	136	158	Onde atlantique (TT1)
14/10/1979	398	285	-113	186	Circulation de sud (TT4)
06/11/1994	356	255	-102	101	Dépression centrale (TT7)

Tableau 24 - Récapitulatif des 11 plus fortes crues en pointe observées à FONTAINE sur la période 1983-2010 (EDF, 2014)

Date de l'épisode	Débit de pointe ¹ (m ³ /s)	Débit moyen journalier influencé maximal sur l'épisode ² (m ³ /s)	Débit moyen journalier désinfluencé maximal sur l'épisode ³ (m ³ /s)	Impact des aménagements sur le débit moyen journalier (m ³ /s)	Cumul maximal sur l'épisode des précipitations ⁴ sur 5 jours (mm)	Situation météorologique dominante (Type de Temps TT)
09/10/1993	826	644	750	-106	131	Sud (TT4)
16/11/2002	550	373	736	-363	177	Dépression centrale (TT7)
30/05/2008	482	409	471	-62	121	Sud (TT4)
31/10/1992	474	360	376	-16	105	Océanique stationnaire (TT2)
26/05/2008	445	314	753	-439	105	Sud (TT4)
21/11/1992	416	303	363	-60	86	Océanique stationnaire (TT2)
22/05/1986	409	373	415	-42	20	Onde atlantique (TT1)
07/09/2008	398	253	323	-70	134	Onde atlantique (TT1)
30/05/1995	392	364	356	8	48	Sud-ouest (TT3)
18/07/1987	382	339	560	-221	81	Onde atlantique (TT1)
17/06/2010	367	331	390	-59	76	Retour d'est (TT6)

6.3.3.1. Sur les crues remarquables du Drac à Monteynard

La figure suivante permet de comparer les débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Monteynard (Drac amont).

L'impact des aménagements sur le débit moyen journalier observés est variable d'une crue à l'autre :

- Il est faible pour les deux crues naturelles les plus importantes (crues du 08 octobre 1993 et du 16 novembre 2002). Les ouvrages ont été transparents.
- Pour les 8 autres crues de plus faibles amplitudes, l'impact est variable mais significatif. La troisième crue "naturelle" la plus forte (26/05/2008) voit ainsi son débit moyen journalier diminuer de 280 m³/s et passer de la 3ème à la 10ème crue la plus remarquable !

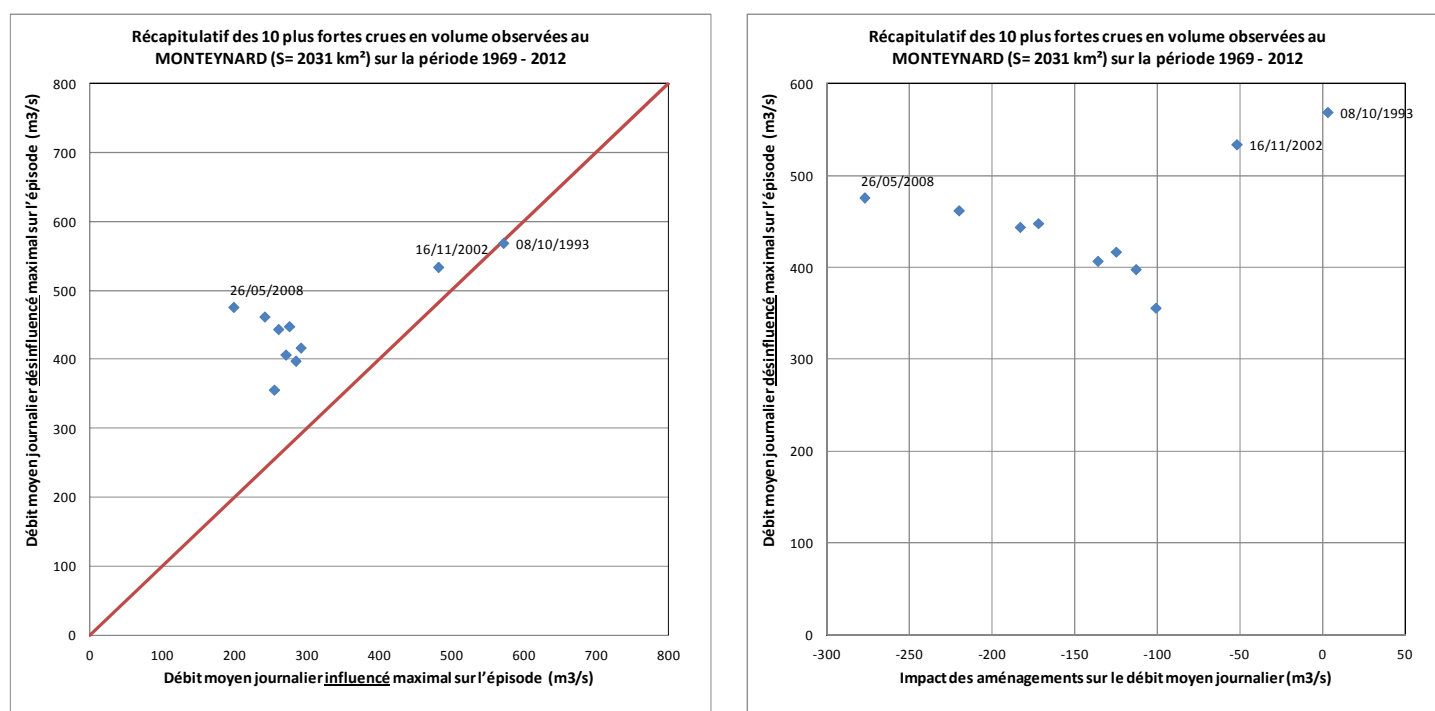


Figure 61. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observées sur le Drac à Monteynard (d'après EDF, 2016)

6.3.3.2. Sur les crues remarquables du Drac à Fontaine

Le tableau ci-dessous présente les débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine.

Tableau 25 - Débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine (EDF, 2014). Les rangs r des crues sont également indiqués.

Date de l'épisode	Débit de pointe influencé sur l'épisode (m³/s)	r	Débit moyen journalier influencé maximal sur l'épisode (m³/s)	r	Débit moyen journalier désinfluencé maximal sur l'épisode (m³/s)	r	Impact des aménagements sur le débit moyen journalier (m³/s)	Ecart
26/05/2008	445	5	314	9	753	1	-439	-58%
09/10/1993	826	1	644	1	750	2	-106	-14%
16/11/2002	550	2	373	3	736	3	-363	-49%
18/07/1987	382	10	339	7	560	4	-221	-39%
30/05/2008	482	3	409	2	471	5	-62	-13%
22/05/1986	409	7	373	3	415	6	-42	-10%
17/06/2010	367	11	331	8	390	7	-59	-15%
31/10/1992	474	4	360	6	376	8	-16	-4%
21/11/1992	416	6	303	10	363	9	-60	-17%
30/05/1995	392	9	364	5	356	10	8	2%
07/09/2008	398	8	253	11	323	11	-70	-22%

La figure suivante permet de comparer les débits moyens journaliers influencés (c'est à dire observé) et désinfluencés (naturel reconstitué) sur le Drac à Fontaine (Drac aval de la confluence avec la Romanche).

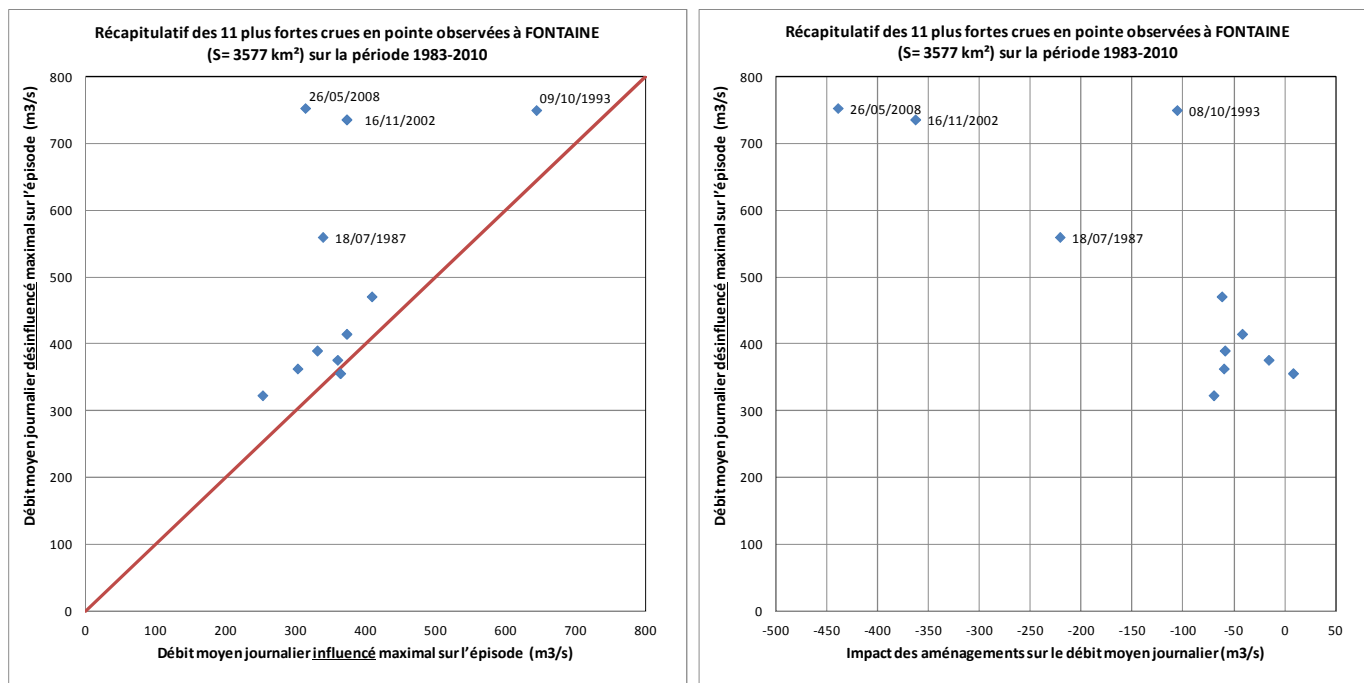
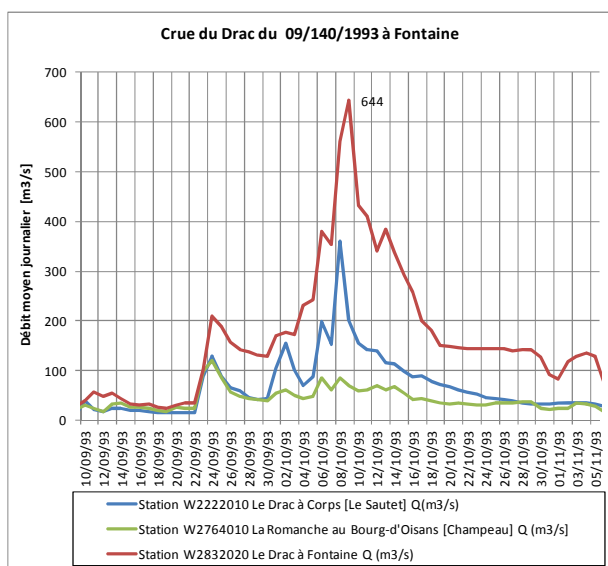


Figure 62. Comparaison des débits moyens journaliers influencés et désinfluencés pour les plus fortes crues observées sur le Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014)

Les crues à Fontaine subissent la double influence des aménagements du Drac et de la Romanche. Mais l'impact des aménagements présents en amont de Fontaine n'est pas systématique, en effet :

- 7 crues sur 11 sur ne présentent pas de stockage significatif dans les retenues sur l'épisode de crue (écart de + 8 à -70 m³/s soit un écart relatif de +2 à -17% du débit naturel). Pour ces crues, le débit "naturel" moyen maximum journalier était inférieur à 500 m³/s.
- sur les 4 plus fortes crues "naturelles" (événement du 26 mai 2008, du 16 novembre 2011, du 9 octobre 1993 et du 18 juillet 1987), l'impact des aménagements en amont de Fontaine (Drac amont + Romanche) est une diminution des volumes de crue. L'écart sur l'épisode est variable mais peut être important. Il est par exemple très faible pour la crue de 1993 (écart de -100 m³/s soit un écart relatif de -14% du débit naturel) mais important pour les trois autres crues (écart entre -221 et -439 m³/s soit un écart relatif de -39% à -58% du débit naturel).

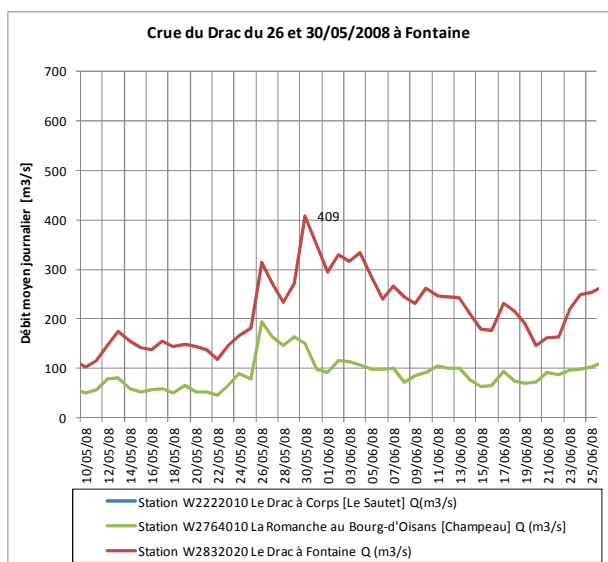
Le focus, présenté ci-dessous, sur les 4 crues les plus remarquables en terme de débit journalier "naturel" confirme la double influence des aménagements du Drac et de la Romanche sur les crues mesurées du Drac à Fontaine et son caractère non systématique.



Crue d'octobre 1993

- o Plus forte crue connue à Fontaine et Monteynard ;
- o très peu influencée par les aménagements sur le Drac amont (en effet le débit moyen journalier influencé maximal = Débit moyen journalier désinfluencé maximal) ;
- o en revanche la diminution significative à Fontaine (-106 m³/s)
- o débits journaliers observés à la station de Champeau étaient <100m³/s.

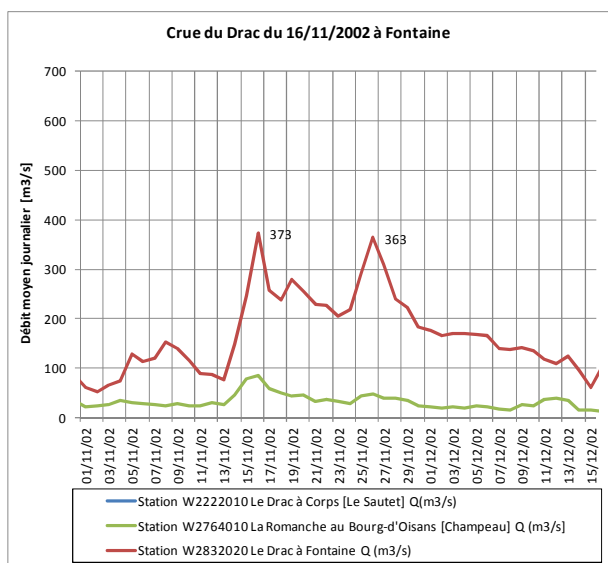
=> tend à montrer que l'impact des aménagements de la Romanche en terme de volume n'était pas négligeable. Les débits journaliers observés à la station de Champeau étaient <100m³/s.



Crue de mai 2008

- o Plus forte crue "naturelle" ;
 - o Impact significatif des aménagements sur le débit moyen journalier à Monteynard (-277m³/s) ;
 - o Impact significatif des aménagements sur le débit moyen journalier à Monteynard à Fontaine (-439 m³/s). Le débit moyen journalier diminue de 58% et passe de la plus forte crue naturelle à la 6ème crue la plus remarquable en terme de volume journalier influencé! Le débit de pointe influencé sur cet épisode reste le 5ème plus fort débit de pointe observé.
- => tend à montrer que l'ensemble des aménagements sur le Drac et/ou sur la Romanche ont joué un rôle d'atténuation de la crue.

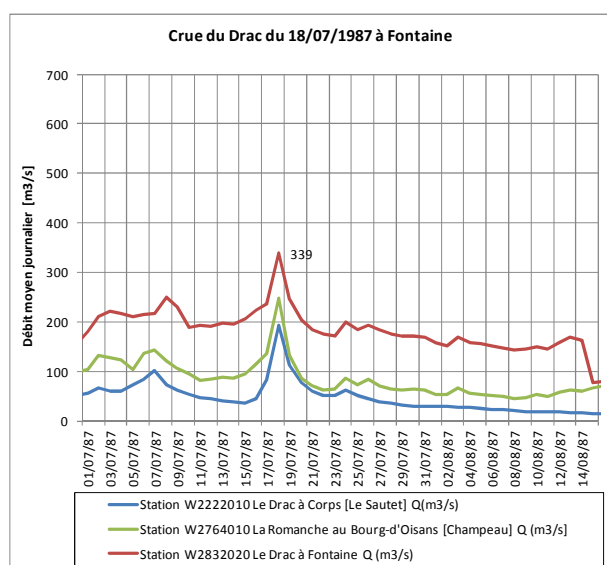
Pour rappel, les mois de mai-juin sont une période de remplissage des retenues de barrages.



Crue novembre 2002

- o Même ordre de grandeur en terme de volume naturel que celle de 1993 et 2008 ;
- o Très peu influencée par les aménagements sur le Drac amont (écart de -52 m³/s du volume maximale journalier) ;
- o En revanche la diminution significative à Fontaine (-363 m³/s). L'impact sur les volumes est fort (-49%) ; l'épisode de crue passe de la 3ème plus forte crue naturelle à la 7ème crue la plus remarquable en terme de volume journalier influencé. Le débit de pointe influencé reste cependant élevé (2ème débit de point le plus important).

=> tend à montrer que l'impact des aménagements de la Romanche en terme de volume n'était pas négligeable. La période de l'année n'est pourtant pas propice à un stockage (barrage en général plein).



Crue Juillet 1987

- o 4eme crue "naturelle" la plus remarquable en volume ;
- o fortement influencée en terme de débit de pointe puisqu'elle n'occupe plus que la 10eme place sur ce paramètre ;
- o issue d'une crue sur les deux affluents (Drac amont et Romanche). Il n'y a pas de donnée de l'impact des aménagements sur cette crue pour Monteynard.

La forme des hydrogrammes (débits journaliers mesurés) tend à montrer que l'impact des aménagements sur le débit moyen journalier à Fontaine (-221 m³/s) est lié aux deux chaines de production.

Figure 63. Focus sur les 4 crues les plus remarquables du Drac à Fontaine en terme de débit journalier "naturel". Les hydrogrammes sont issus des données de débits journaliers mesurés (BANQUE HYDRO).

6.3.3.3. Sur les crues extrêmes

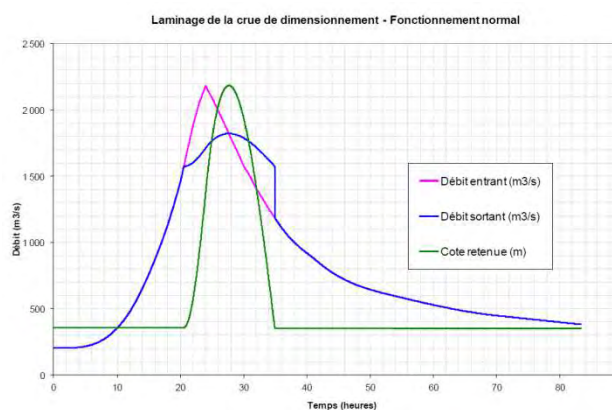
Une note récente (EDF, 2016) a également été réalisée pour la mise à jour des capacités d'évacuation et de laminage aux barrages de Monteynard et Notre-Dame de Commiers ; elle estime les cotes atteintes pour la crue de projet (respectivement 1000 et 10 000 ans) en fonctionnement normale. L'étude Schadex (EDF, 2015) a permis de fournir également un hydrogramme type de crue du Drac au barrage de Monteynard et de ND de Commiers. Les calculs de laminage ont été menés en considérant une cote initiale à RN.

Les résultats du laminage des crues de projet aux barrages de Monteynard et Notre-Dame de Commiers sont présentés dans les deux figures suivantes.

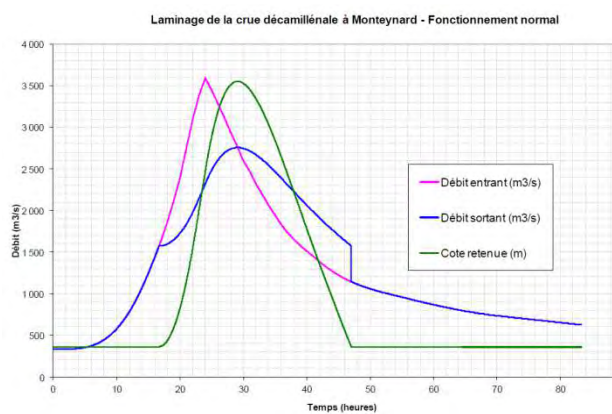
Suite à la mise à jour de l'hydrologie du Drac au barrage de Monteynard et de Notre-Dame de Commiers en Février 2016, trois calculs de laminage de crue amènent les conclusions suivantes :

1. Au barrage de Monteynard, la cote atteinte en crue de projet (Q1 000) a été estimée à 491,02 m NGF soit 3,96 m en dessous de la cote des PHE actuelles en considérant une cote initiale à RN. L'atténuation du débit de pointe est d'environ 350 m³/s (-15%).
2. Au barrage de Notre-Dame de Commiers, la cote atteinte en crue de projet (Q10 000) a été estimée à 365,03 m NGF soit 0,97 m en dessous de la cote des PHE actuelles en considérant une cote initiale à RN, et le laminage par la retenue de Monteynard.

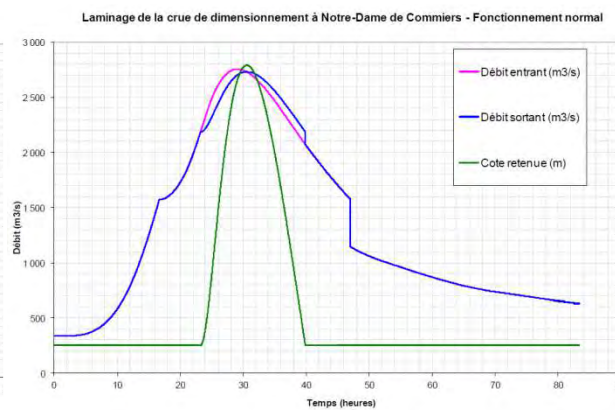
Les barrages de Monteynard et Notre-Dame de Commiers sont donc en mesure d'évacuer en dessous de leur cote de PHE, respectivement la crue millénaire et la crue décennale déterminée par l'étude hydrologique Shadex de 2016.



AMENAGEMENT DE MONTEYNARD
(Q_{1000})



AMENAGEMENT DE MONTEYNARD
(Q_{10000})



AMENAGEMENT DE NOTRE-DAME DE COMMIEERS
(Q_{10000})

Figure 64. Laminage de la crue de projet (disponibilité de l'ensemble des évacuateurs de crue)

7. ANNEXE III : ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES

L'objet de l'analyse statistique des crues extrêmes du Drac (amont et aval) et de la Romanche est dans un premier temps de fournir des estimations de débits qui correspondent à une période de retour choisie (cf. encadré sur " Analyse statistique des débits de crue"). Ces analyses permettent également de s'approcher de la période de retour des événements observés ; étape essentielle pour la définition de la crue de référence dans la doctrine PPRi.

L'ensemble des éléments présentés ci-dessous sont issues d'études antérieures.

Encadré 7-1. Analyse statistique des débits de crue

(d'après Hingray et al. et modifié)

L'analyse statistique des débits de crue permet en général soit d'estimer la période de retour des événements observés soit d'estimer le débit qui correspond à une période de retour choisie.

L'analyse statistique des débits de crue se fait sur la base de séries de valeurs maximales extraites de longues séries d'observations. Les données utilisées sont en générale les séries de maximums annuels (e.g. débits moyens maximums sur une heure) ou des séries tronquées (i.e. valeurs de débit de pointe dépassant un certain seuil).

Analyse fréquentielle "classique"

Dans le cas idéal où la série de débits est suffisamment longue, une analyse fréquentielle classique peut être envisagée. L'analyse fréquentielle fait appel aux techniques d'ajustement fréquentiel qui consiste à ajuster une loi de distribution statistique théorique – le modèle fréquentiel – à la loi de distribution empirique déduite de la série d'observations considérée. Le problème qui se pose alors est de savoir si l'extrapolation des ajustements pour des fréquences rares est légitime.

Des données sur les crues historiques connues peuvent parfois être intégrées à la série pour améliorer l'estimation. L'intérêt est évidemment d'élargir l'échelle temporelle d'analyse, en utilisant des événements exceptionnels, qui sont potentiellement les plus riches d'information pour l'estimation des quantiles extrêmes. Cependant, le cadre statistique d'analyse doit être adapté (Lang et al., 2007 ; Lang et al., 2013) à ces données incomplètes (en général seules les crues ayant eu de forts impacts ont été relevées) et entachées d'incertitudes beaucoup plus importantes qu'avec des données récentes (cf. transformation hauteur-débit avec courbe de tarage).

Crues historiques et influence des aménagements sur les crues

Les crues historiques, souvent utilisées pour compléter les crues observées, sont les crues anciennes particulièrement fortes survenues avant l'implantation d'une station de mesure et ayant laissées dans les mémoires ou dans des témoignages écrits personnels et les archives publiques des traces et des informations susceptibles de permettre leurs estimations. L'utilisation de crues historiques dans l'estimation des débits de crue pour une période de retour donnée est notamment justifiée lorsque les bassins versants ont subi de profondes modifications anthropiques par différents aménagements (e.g. hydrauliques). Les séries de débits de crues disponibles sur les bassins en question deviennent de ce fait non homogènes et ne peuvent a priori plus être utilisées pour une analyse fréquentielle classique. L'estimation des débits de crue pour une période de retour donnée devient difficile. Or l'influence des aménagements sur les crues, généralement importante pour les crues courantes, se réduit fortement voir devient négligeable pour les événements majeurs. Pour gérer correctement les crues, il est donc important de pouvoir estimer les débits de crues dans une situation de bassin « sans aménagements ». Une solution consiste à utiliser, si elles existent, d'une part les crues observées sur le bassin avant les aménagements et d'autre part, les différentes crues importantes survenues après la construction des aménagements (a priori peu influencées ou éventuellement reconstituées). Ces dernières crues deviennent « historiques » et peuvent donc être utilisées en complément des séries de débits non influencés pour l'analyse fréquentielle souhaitée.

C'est cette méthode qui a été utilisée dans les études hydrologiques de SOGREAH en 1976.

Analyse fréquentielle « hydro-météorologique »

Si la série de débits est insuffisamment longue pour l'estimation des débits maximaux de crues correspondant à des fréquences d'apparition rares à très rares – temps de retour de plus de 100 ans, l'analyse fréquentielle peut utiliser en plus des données sur les débits des informations pluviométriques. En effet de plus longues séries de précipitations sont souvent disponibles pour les bassins étudiés. Différentes méthodes permettent alors l'estimation de ces débits extrêmes allant de la méthode du GRADEX développée par EDF et ses principales adaptations (méthode AGREGEE développée par le CEMAGREF, Méthode SPEED- Système Probabiliste d'Etude par Evénements Discrets- développée par SOGREAH) aux méthodes utilisant des modèles hydrologiques. Les modèles hydrologiques utilisables pour la simulation de débits sur la base de scénarios météorologiques sont multiples et plus ou moins complexes. L'approche peut être événementielle, multi-événementielle ou continue. Les approches récentes faisant intervenir la génération stochastique des pluies pour la génération de scénarios de crues sont plus complexe à mettre en œuvre que les méthodes « classiques » de prédétermination des crues mais permettent de s'affranchir de l'embarras du choix a priori d'un hydrogramme de projet unique. Citons à titre d'exemple, la méthode SHYPRE (Acronyme de Simulation d'HYDrogrammes pour la PREdétermination des crues) développée par le CEMAGREF ou encore la méthode SCHADEX (Acronyme de Simulation Climato-Hydrologique pour l'Appréciation des Débits Extrêmes) développée par EDF.

L'approche SPEED utilisée par SOGREAH lors de l'étude du TRI Grenoble-Voirion (SOGREAH, 2013) pour la mise à jour des débits caractéristiques du Drac est une adaptation de la théorie du GRADEX. Les deux études sur le Drac (à Fontaine et au Monteynard) font appel à la méthode SCHADEX (EDF, 2016).

Hydrogrammes de référence

L'obtention des hydrogrammes de référence passe généralement par la détermination du débit de pointe $Q_p(T)$ relatif à une période de retour T cible et par l'utilisation d'une forme moyenne de crue. La variété des méthodes est très importantes (Lang et al., 2007 ; Hingray et al., 2009 ; Lang et al., 2014). Les méthodes par simulation SHYREG et SCHADEX offrent une alternative intéressante à l'hypothèse d'une forme moyenne de crue, avec l'introduction d'une variabilité des formes de crue.

7.1. ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DE LA ROMANCHE

L'estimation des pointes de crues sur la Romanche pour différentes périodes de retour a fait l'objet de plusieurs approches successives. Celles-ci ont contribué à faire évoluer la connaissance sur la dynamique des crues de la Romanche et ont abouti à l'évaluation des débits de crue caractéristiques de la Romanche pour différentes périodes de retour. Le rapport de présentation du PPRi Romanche aval (DDT, 2012) en a fait une synthèse.

Ce sont ces valeurs qui ont été par la suite utilisées dans les projets d'aménagements (EGIS-EAU, 2011), le TRI Voirion-Grenoble (ARTELIA, 2013) ou les études réglementaires de type PPRi (DDT, 2012) et étude de danger (SOGREAH, 2011a).

En résumé, pour préciser les débits de pointes et l'hydrogramme de crue de la Romanche en aval de la plaine de Bourg d'Oisans (entre Livet-Gavet et Champsur Drac), différentes approches ont été adoptées :

1. Analyse fréquentielle et application de la méthode du GRADEX (EDF/DTG, 1995²¹ ; SOGREAH, 1999- ANNEXE 1) puis révision des ajustements en 2008 (HYDRETUDES, 2008 dont annexe 5 de P. Lefort).
2. Prise en compte du laminage de l'onde de crue à l'aval de la plaine de Bourg d'Oisans : étude de scénarios pour reconstituer les débits à l'aval de la plaine du Bourg d'Oisans , à

²¹ Cité dans le rapport de présentation du PPRi Romanche aval (DDT, 2012) : Etude d'hydrologie et des crues extrêmes de la Romanche à Séchilienne – Réf. D4166/DTG – RECHA/95 - 047 – A/DP/AG – (05-1995).

partir des hydrogrammes entrants fournis par EDF et des débits de pointe – originaux (EDF 2007) ou recalculés (Lefort 2008) avec prise en compte ou non des barrages EDF (HYDRETUDES, 2008 et 2009).

3. Prise en compte du risque d'éboulement à court terme des ruines de Séchilienne (SOGREAH, 2011).
4. Prise en compte du projet "Basse Romanche" (SOGREAH 2011).

Par ailleurs, dans le cadre du PPRi Romanche aval (DDT, 2012) la rupture du barrage qui serait formé par l'éboulement de 3 millions de m³ provenant des Ruines de Séchilienne et obstruant la vallée a également été prise en compte.

7.1.1. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE GRADEX

Les premières estimations de pointes de crues pour différentes périodes de retour ont été réalisées par EDF DTG (Division Technique Générale) en 1995, lors des premières investigations portant sur l'impact des Ruines de Séchilienne et précisée par les rapports de mars 2003 et mars 2004 cités en référence dans le rapport de présentation du PPRi Romanche aval (DDT, 2012) et la note hydrologique d'HYDRETUDES (2008). La méthodologie utilisée est a priori une analyse fréquentielle "classique" à partir de la station hydrométrique de Champeau (en aval de L'Eau d'Olle), à la sortie de la plaine du Bourg d'Oisans. Pour l'extrapolation à des fréquences de crues plus rares, la méthode du GRADEX a été utilisée en utilisant la statistique des données des pluies maxima annuelles aux pluviomètres du bassin versant. Un pivot à la période de retour 10 ans a été choisi sur les stations amont et 20 ans en aval de l'Eau d'Olle à Champeau ou Séchilienne (HYDRETUDES, 2008 dont annexe 5 de P. Lefort).

Les débits de pointe obtenus sont pour la crue centennale en différents points du cours de la Romanche les suivants (cité dans le rapport de présentation du PPRi Romanche aval) :

*Tableau 26. Débits fréquentiels de la Romanche
(d'après HYDRETUDES, 2008 dont annexe 5 de P. Lefort)*

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s)		
	en amont du confluent avec l'Eau d'Olle	en aval du confluent avec l'Eau d'Olle	à l'amont des Ruines de Séchilienne
10 ans	286	352	378
30 ans	407	497	533
100 ans	660	830	880
1000 ans	1141	1461	1538

Les résultats présentés dans l'étude SOGREAH (1999 - ANNEXE 1) sont une synthèse de différentes sources d'informations (étude SOGREAH, 1995, étude DDE sur les ruines de Séchilienne, très nombreuses études sur la Romanche, dont celles d'EDF/DTG). Ces débits supposent que les barrages (Chambon, Grand Maison, Verney) sont pleins au moment de la crue, donc qu'ils n'ont pas d'influence. Les débits "à la confluence" sont ceux de la Romanche à l'amont des Ruines de Séchilienne estimés ci-dessus (880 m³/s).

*Tableau 27. Débits fréquents de la Romanche à la confluence
(d'après SOGREAH, 1999)*

Période de retour de la crue	Débit de Pointe (m ³ /s) à la confluence
500 ans	env. 1300
200 ans	1050
100 ans	880
50 ans	env. 700
20 ans	450
10 ans	400

Dans le cadre des études réalisées pour le Schéma d'aménagement de la Romanche aval (entre Livet-Gavet et Champsur Drac), les débits de pointes (et la forme des hydrogrammes) en amont de la plaine de Bourg d'Oisans ont été remis en cause et affinés (HYDRETTUES dont annexe 5 de P. Lefort, 2008 ; HYDRETTUES 2009), puis validés par un comité d'experts et l'Etat.

La révision des débits de pointes associés à un temps de retour de 100 ans s'est basée sur une homogénéisation des hypothèses d'application du Gradex sur la Romanche et ses affluents : un pivot de 20 ans sur l'ensemble du bassin versant et un pivot de 10 ans sur l'Eau d'Olle ont été appliqués. Une meilleure prise en compte du décalage des temps de réponse des différents affluents a également été réalisée. La démarche a été validée par EDF. Les modifications à apporter aux débits maxima ne sont, au final, importantes qu'en amont de l'Eau d'Olle.

Les valeurs maximales des débits théoriques de temps à considérer (avant amortissement dans la plaine de Bourg d'Oisans) sont alors (HYDRETTUES, 2008 dont annexe 5 de P. Lefort) :

- Aval confluent Vénéon : 560 m³/s
- Amont confluence Eau d'Olle : 650 m³/s
- Aval confluence Eau d'Olle : 825 m³/s
- Ruines de Séchilienne : 880 m³/s
- Eau d'Olle: 236 à 272 m³/s

La révision a donc conduit à diminuer les débits de pointe à l'amont de la confluence de l'Eau d'Olle (Romanche, Vénéon) et, parallèlement, à augmenter les apports de cette dernière.

7.1.2. PRISE EN COMPTE DU LAMINAGE DE L'ONDE DE CRUE A L'AVANT DE LA PLAINE DE BOURG D'OISANS

La plaine de Bourg d'Oisans constitue un immense réservoir de 18 km² à pente très faible (moins de 0.2%) dans lequel les crues peuvent s'épandre. En raison de la construction des digues, cette plaine n'est pas inondée par les crues ordinaires, et c'est seulement le débordement des fortes crues qui la remplit. Les débordements dans les champs d'inondation sont ainsi susceptibles d'atténuer le débit maximum en aval.

Faute de données hydrométriques à l'aval de la plaine permettant de mesurer cette atténuation, l'approche statistique présentée précédemment est difficilement extrapolable pour estimer un débit de pointe (et un hydrogramme) à l'aval du bassin versant. Une approche "hydraulique" a ainsi été menée lors de l'étude hydrologique complémentaire de la Romanche (HYDRETTUES, 2008), pour

déterminer des hydrogrammes de crue de référence de la Romanche à Séchilienne, en prenant en compte l'écrêtement réalisé par la plaine de Bourg d'Oisans au moyen d'un modèle hydraulique. Un scénario hydrologique est "injecté" en amont de la plaine dans un modèle hydraulique en 2 dimensions qui prend en compte d'une part les écoulements dans le lit mineur et d'autre part la dynamique et l'évolution des écoulements dans le lit majeur (vitesses de propagation, différentes zones/temps de stockage...). La modélisation numérique permet d'estimer les conséquences des inondations en plaine d'Oisans sur les débits transmis à l'aval (Séchilienne). Elle fournit ainsi un hydrogramme sortant de la plaine dont est déduit le débit maximal centennal.

Différents scénarios de crue centennale naturelle et influencée (c'est-à-dire sans considérer l'écrêtement par les barrages EDF) ont été testés pour obtenir les hydrogrammes de crue entrant sur la plaine de l'Oisans :

- La principale hypothèse de calcul des scénarios hydrologiques est la distribution des débits entre les différents cours d'eau : elle a été calculée de telle sorte que la somme des débits entrants dans la plaine reste conforme à celle calculée par la méthode hydrologique et que les décalages entre les contributions des différents émissaires correspondent mieux à leur situation géographique.
- Les possibilités d'écrêtement offertes par les barrages du Chambon, de Grandmaison et du Vernet ont été étudiées :
 - o Le Chambon n'offre pas de possibilité d'écrêtement, car l'ouvrage a vocation à être neutralisé.
 - o Le barrage de Grandmaison stockera la totalité du débit de la crue de son bassin versant. Le recours au pompage des eaux du Vernet dans la retenue de Grandmaison a été exclu, en raison du risque d'une panne d'alimentation électrique.
 - o Le volume disponible étant faible, le barrage du Verney n'assurera qu'un léger écrêtement du bassin intermédiaire de l'Eau d'Olle.

Ces hypothèses ont été validées par les collègues d'experts mandatés par l'Etat (rapport Panet III, G. Degoutte, janvier 2009 et rapport CGEDD, MM Durville, Garnier, Picquand - cité dans le rapport PPRi/DDT, 2012).

La modélisation hydraulique de la crue centennale (sans ruptures des digues) a ainsi mis en évidence :

- L'importance de l'atténuation de la pointe de crue induit par les débordements dans la plaine (la Romanche au niveau des Ruines de Séchilienne passe de 880 m³/s à 550 m³/s).
- Le rôle des barrages EDF (le débit en sortie de plaine de Bourg d'Oisans passe de 545 m³/s à 521 m³/s en crue centennale, de 438 m³/s à 402 m³/s en crue trentennale).

Les débits de référence utilisés dans le PPRi Romanche aval (DDT, 2012) et le TRI Voiron-Grenoble (ARTELIA, 2013) sont :

Tableau 28. Débits centennaux de la Romanche
(données issues du PPRI Romanche aval - DDT, 2012)

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s)		
	en aval du confluent avec le Vénéon	en aval du confluent avec l'Eau d'Olle (pont de la Vena)	à l'amont des Ruines de Séchilienne
10 ans			330*
30 ans			400*
50 ans			464*
100 ans	560	534	550

* Données issues du TRI Voiron-Grenoble - ARTELIA, 2013

La figure suivante issue PPRI Romanche aval (DDT, 2012) illustre l'étalement dans le temps du volume de la crue, qui permet la réduction du débit de pointe (l'hydrogramme sortant est l'hydrogramme de la Romanche à la sortie de la plaine au pont de la Vena). L'hydrogramme entrant est la somme à chaque instant des débits de la Romanche et de leurs affluents à leur entrée dans la plaine chaque émissaire à son entrée dans la plaine ; cet hydrogramme diffère peu de celui qui avait été déterminé par la méthode hydrologique à Champeau. La différence entre les maxima (800 m³/s au lieu de 830 m³/s) résulte de l'application des consignes de gestion des barrages de l'Eau d'Olle.

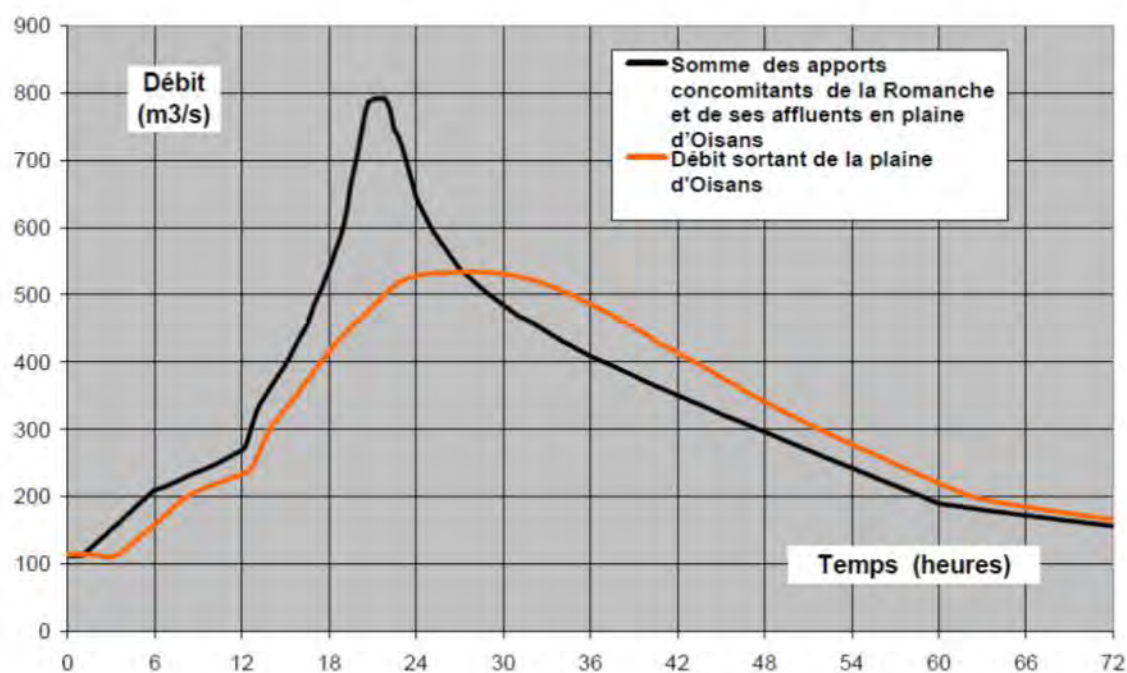


Figure 65. Atténuation de l'hydrogramme de crue dans la plaine du Bourg d'Oisans (d'après DDT, 2012)

7.1.3. PRISE EN COMPTE DU RISQUE D'ÉBOULEMENT A COURT TERME DES RUINES DE SÉCHILIENNE

L'hydrologie du secteur est encore complexifiée par le risque d'éboulement à court terme des ruines de Séchilienne. Le risque qu'un barrage se forme sur la Romanche a été pris en compte dans le PPRI Romanche aval (DDT, 2012). Le sur-débit a été évalué à 50 m³/s. Le débit centennal maximum sur l'aire du PPRI est ainsi estimé à 550 + 50 m³/s soit 600 m³/s à l'aval des Ruines de Séchilienne.

La figure suivante présente une comparaison des hydrogrammes et des débits de pointes pour la crue de référence centennale de la Romanche en aval des Ruines de Séchilienne. Le débit de pointe a largement été revu à la baisse entre 2006 et 2010.

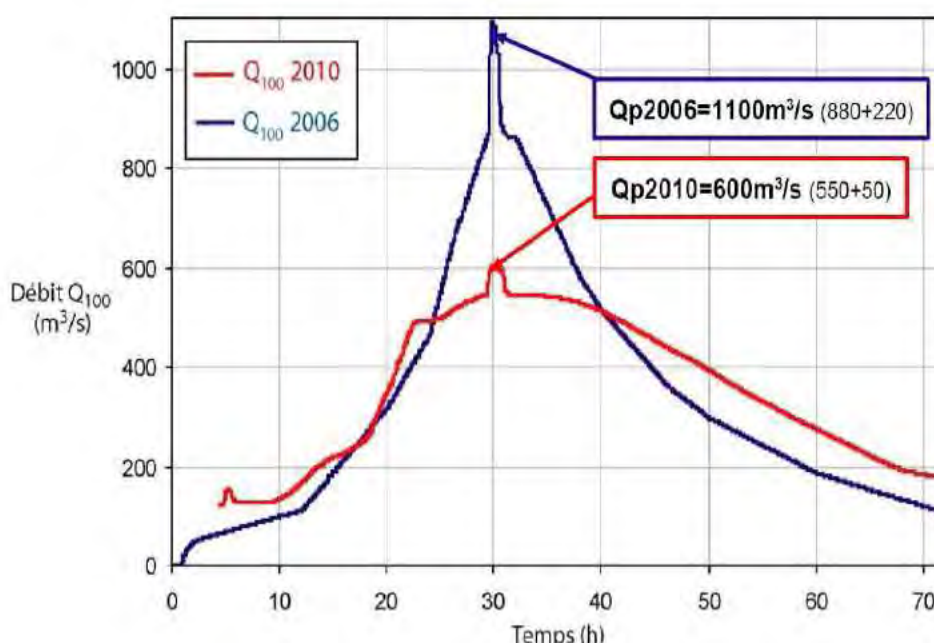


Figure 66. Comparaison des hydrogrammes des aléas de référence de 2006 et 2010 pour la Romanche (aval à Séchilienne). L'Hydrogramme de référence du PPRI Romanche aval à Séchilienne (aval des Ruines) avec débit de pointe $Qp=600 m^3/s$ est en rouge (d'après DDT, 2012)

7.1.4. PRISE EN COMPTE DU PROJET SECHILIENNE – MOYENNE ET BASSE ROMANCHE DU SYMBHI

Le projet Séchilienne – Moyenne et Basse Romanche du SYMBHI prévoit de supprimer tout débordement hors du lit mineur réaménagé dans la plaine de la basse Romanche et ce jusqu'à une crue de période de retour 100 ans. Il concerne le secteur des Gorges de Livet-et-Gavet, la Plaine de Séchilienne et celle de Vizille. Il est issu de l'élaboration du schéma d'aménagement de la Romanche et de sa phase de concertation menée en 2007 – 2008 puis dans un second temps, du choix du scénario pour la parade hydraulique du risque lié aux ruines de Séchilienne (la concertation sur ce choix a eu lieu en 2010). L'étude d'impact (EGIS-EAU, 2011) permet d'en comprendre les principales caractéristiques.

L'étude SOGREAH (2011 b et c) sur la confluence Drac / Romanche présente les impacts du projet sur les débits de la Romanche. Elle démontre que la suppression des débordements sur le secteur engendre une augmentation des débits à l'aval du projet, qui reste cependant très limitée :

- Le maximum de sur-débit est de 19 m^3/s pour la crue centennale (soit environ 5% environ en termes de débit de pointe)
- L'écart maximum à un temps donné est de 35 m^3/s (lors de la montée de la crue). L'écart n'est plus que de 27 m^3/s au droit du quartier des Ridelets à Pont de Claix du fait de l'amortissement de l'onde de crue.

Cette faible augmentation ne génère aucun débordement et ne présente aucune répercussion sur les débits de crue du Drac à l'aval. Elle ne génère donc aucun risque d'aggravation du risque d'inondation à l'aval de la confluence.

La figure suivante présente une comparaison des hydrogrammes de la Romanche à la confluence avec le Drac avant et après aménagements à Vizille (SOGREAH, 2011bc). Le calage dans le temps de ces hydrogrammes est effectué de façon à fixer le décalage temporel entre la pointe de crue dans l'état actuel et celle du Drac amont à 6h40 mn.

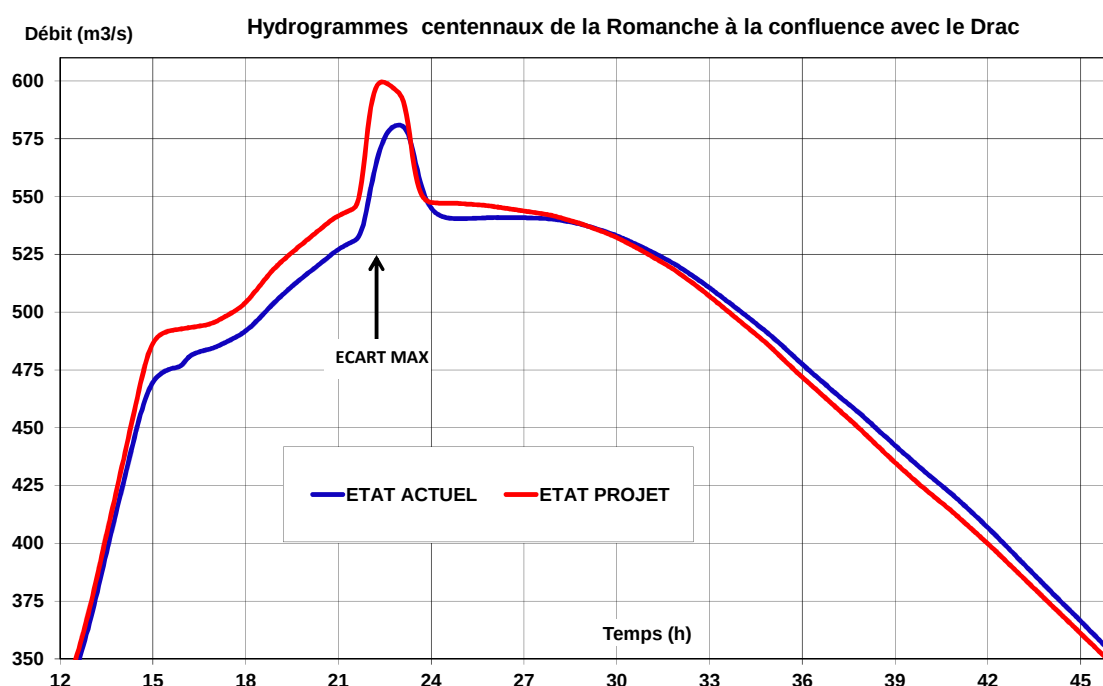


Figure 67. Comparaison des hydrogrammes de la Romanche à la confluence avec le Drac avant et après aménagements à Vizille (décalage de 6h40 entre la pointe de crue du Drac et celle de la Romanche) (d'après SOGREAH, 2011b).

7.2. ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DU DRAC AMONT

Les études statistiques des crues du Drac en amont de la confluence avec la Romanche sont peu nombreuses du fait notamment du manque de données hydrométriques facilement accessibles.

Deux méthodes ont été appliquées pour caractériser les crues extrêmes du Drac à l'amont de la confluence avec la Romanche :

1. Analyse fréquentielle a priori "classique" (SOGREAH, 1999- ANNEXE 1)
2. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (calcul EDF à Monteynard -1980 ; repris par BURGEAP, 2006)
3. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (calcul EDF à Monteynard - 2016 ; EDF 2016- ANNEXE 1)
4. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SCHADEX (EDF, 2016)

A signaler que depuis septembre 2015, l'eau s'écoule à nouveau dans le Drac entre Champ sur Drac et la Romanche, alors que cette zone de plus de 3km était à sec depuis la construction des barrages dans les années 60.

7.2.1. ANALYSE FREQUENTIELLE A PRIORI "CLASSIQUE" (SOGREAH, 1999 - ANNEXE 1)

La synthèse des résultats des différentes études est indiquée dans le tableau ci-dessous. Ces résultats sont, selon SOGREAH, 1999- ANNEXE 1), une synthèse des 7 études SOGREAH antérieures réalisées entre 1987 et 1998 sur le secteur. Il est à noter que les résultats du Drac au Rondeau sont identiques à ceux issus de l'étude SOGREAH (1976) citée par ARTELIA (2013). Aucune information n'est donnée sur la méthode employée pour les estimations des débits au seuil de la Rivoire (situé juste en aval de la retenue du Monteynard). Il s'agit sans doute de la méthode du GRADEX puisque ces résultats sont identiques à ceux estimés à partir des calculs hydrologiques faits par EDF à Monteynard (GRADEX à Monteynard – 1980 cité dans BURGEAP, 2006).

*Tableau 29. Débits fréquents du Drac
(d'après SOGREAH, 1999)*

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m³/s)	
	Seuil du pont de la Rivoire (aval ND de Commiers)	Drac au Rondeau (aval confluence)
500 ans	2300	2400
200 ans	1850	env. 2050
100 ans	1500	1800
50 ans	1200	env. 1550
20 ans	800	env. 1250
10 ans	650	1000
2 ans	env. 250	350

7.2.2. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE GRADEX (EDF, 1980 CITE PAR BURGEAP, 2006)

Lors de la mission de définition d'un schéma de remise en eau du Drac aval, une étude hydrologique a été menée sur le Drac au niveau des barrages de Monteynard et de Notre Dame de Commiers (BURGEAP, 2006) pour la Commission Locale de l'Eau Drac Romanche. (CLE Drac-Romanche). Les débits de crue au niveau du barrage de Notre Dame de Commiers ont été estimés à partir des calculs hydrologiques faits par EDF à Monteynard (GRADEX à Monteynard – 1980) et en considérant l'hypothèse défavorable de retenue pleine et de laminage nul entre ces deux points. Ce sont bien ces valeurs qui ont été utilisées par SOGREAH en 1999.

Les valeurs sont présentées dans le tableau suivant :

*Tableau 30. Débits fréquents du Drac à Notre Dame de Commiers
(d'après EDF, 1980 cité par BURGEAP, 2006)*

Temps de retour (ans)	Débit moyen journalier (m³/s)	Débit de pointe (m³/s)	Coefficient de pointe
1000 ans	1700	2700	1.59
500 ans	1452	2300	1.58
200 ans	1150	1850	1.61
100 ans	950	1500	1.58
50 ans	750	1200	1.60
20 ans	500	800	1.60
10 ans	400	650	1.63

7.2.3. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE GRADEX (EDF, 2016 ANNEXE 1)

Lors de l'étude SHADEX à Monteynard (EDF, 2016), les éléments d'un calcul GRADEX au niveau du barrage de Monteynard, basé sur les données de l'étude SCHADEX présentée dans cette annexe 1 du rapport. Il s'agit donc d'une réelle actualisation des estimations d'EDF de 1980.

La méthode GRADEX est appliquée dans cette étude selon les principaux éléments ci-dessous :

- Le pas de temps de l'étude est de 24 heures, le coefficient de forme moyen non centré est de 1.58.

- La pluie spatiale sans majoration est calculée sur la période 1959 - 2013 avec la moyenne arithmétique des 8 pluviomètres de la pluie spatiale retenue dans l'étude SCHADEX (combinée avec un abattement nival sur la base de la température.
- L'ajustement de Gumbel sur les débits maximaux annuels est réalisé sur les débits maximaux annuels (reconstitués) de la période **1969 - 2012**.
- Le GRADEX utilisé est celui de la saison à risque (période de septembre à novembre pour le Drac à Monteynard). Il est calculé par l'ajustement d'une somme d'exponentielles sur l'ensemble des pluies de la saison à risque et s'élève à 16.1 mm/24h sur la période **1959 - 2013**.
- L'extrapolation GRADEX pour le calcul des débits extrêmes est réalisée à partir du débit de la **période de retour 50 ans (point pivot)** issu de l'ajustement sur les maxima annuels (573 m³/s) avec le gradex de la saison à risque (16.1 mm/24h). Elle est présentée page suivante.

Les valeurs sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 31. Débits fréquents du Drac à Monteynard
(d'après EDF, 2016 - ANNEXE 1)

Temps de retour (ans)	Débit moyen journalier non centré (m ³ /s)	Débit de pointe (m ³ /s)
1000 ans	1712	2705
200 ans	1101*	1740*
100 ans	838	1324
50 ans	573	906

* débit estimé par HYDRETUDES d'après l'ajustement graphique (u(T)-Q(T))

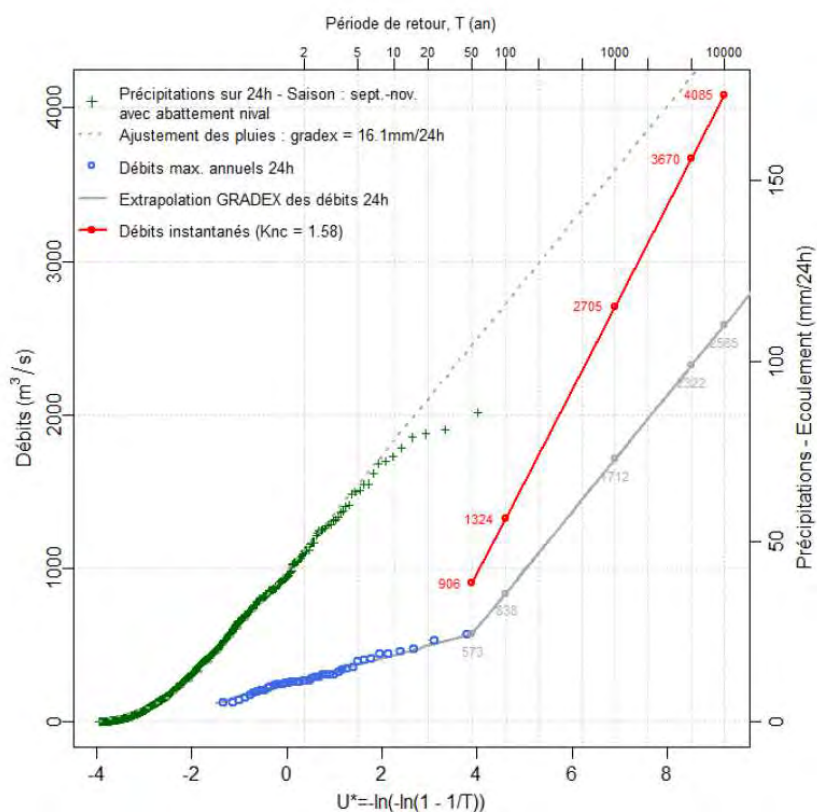


Figure 68. Extrapolation Gradex des débits au barrage de Monteynard (d'après EDF, 2016 - ANNEXE 1)

7.2.4. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE SCHADEX (EDF, 2016)

Dans le cadre de l'Étude de Danger de 2010, EDF/DTG a préconisé la réactualisation de l'étude GRADEX de 1980 (EDF, 1980) au droit du barrage de Monteynard. Le site du barrage de Monteynard sur le Drac a donc fait l'objet d'une réactualisation de l'étude de crue extrême avec la méthode SCHADEX. DTG a construit l'ensemble des séries de pluie, température et de débit nécessaires et a confié à ARTELIA la réalisation de l'étude, des calculs statistiques et du rapport. ARTELIA a utilisé la méthode SCHADEX développée par DTG (Gavaraglia, 2011). L'ensemble de l'étude et des résultats ont été vérifiés et validés par DTG conformément à son référentiel technique. Rappelons que les résultats présentés dans les études de crues extrêmes correspondent à des valeurs considérant la **contribution hydrologique naturelle du bassin versant**.

La méthode s'appuie sur les **chroniques historiques observées de débit (naturel ou désinfluencé), de pluie et de température** :

- Débits - au droit du barrage de Monteynard (2031 km²), des données journalières de débits désinfluencés ont été reconstitués à partir des débits observés à la station de Fontaine et d'autres séries de mesures présentée dans le tableau ci-après. Les débits horaires utilisés pour le calcul du coefficient de forme sont ceux observés à la station de Fontaine entre 1983 et 2010 (48 hydrogrammes de crues du Drac à Fontaine ont été traités et analysés).
- Précipitations - Les données de 8 stations pluviométriques ont été utilisées pour élaborer des séries homogènes de mesure de pluies utilisées par la suite dans le calcul de la pluie spatiale (combinaison des 8 postes pluviométriques observés sur la période 1959 - 2013).
- Températures - La température moyenne utilisée est issue de la réanalyse SPAZM (Gottardi, 2009) établie sur la période 1948 – 2012. La donnée de température est extraite à un pixel proche du centroïde du bassin versant à l'altitude de 1423 m NGF. Celle-ci est proche de l'altitude médiane du bassin versant qui est de 1417 m NGF.

Compte tenu du temps de base moyen des crues du Drac²² amont et du pas de temps des données disponibles, le pas de temps de l'étude retenu est de 24 heures.

Tableau 32. Inventaire des données de débit disponibles sur le bassin versant du Drac à Monteynard

Nom (nature du débit)	Code ¹	Superficie (km ²)	Disponibilité des débits	
			Journaliers	Horaires
Les Ricous – Débit dérivé	Q0052_DV1	203	1966 – 2012	
Variation de réserve du SAUTET	SAUTEH_VR1	-	1969 – 2012	
Débit de correction de l'ANR au SAUTET	SAUTEH_DF1	-	1993 – 2012	
Variation de réserve de ST PIERRE-COGNET	MTEYNH_VR1	-	1957 – 2012	
Variation de réserve du MONTEYNARD	MTEYNH_VR2	-	1969 – 2012	
Débit de correction de l'ANR au MONTEYNARD	MTEYNH_DF1	-	1993 – 2012	
Fuite épigénique MONTEYNARD	MTEYNH_DX1	-	2001 – 2012	
Débit déversé au barrage du MONTEYNARD	MTEYNH_DD1	-	1985 – 2012	
Débit turbiné au barrage du MONTEYNARD	MTEYNH_DT1	-	1962 – 2012	
Apport naturel reconstitué au MONTEYNARD	MTEYNH_DN1	2031	1991 – 2012	
Variation de réserve de NOTRE-DAME-DE-COMMIERS	MTEYNH_VR3	-	1965 – 2012	
Apport naturel reconstitué au SAUTET	SAUTEH_DN1	990	1985 – 2012	
Débit influencé au barrage de MONTEYNARD	MTEYNH_DI1	2031	1987 – 2012	

²² Le temps de base d'une crue correspond à la durée entre le décollement du débit et le moment où le débit redescend, par convention, sous un niveau égal à 1/3 du débit de pointe.

Pour pouvoir effectuer le passage des volumes (les débits sont simulés au pas de temps de l'étude de 24h) aux pointes des crues, un coefficient de forme variable a été utilisé. Il est issu d'un modèle régional de dépendance entre le coefficient de forme et la séquence des volumes des crues (modèle Kv/Kc) dont les paramètres ont été déduits de 10 stations voisines du point de vue des régimes d'écoulement et des mécanismes de crue, en France et en Suisse, pondérés par l'inverse de la distance de ces stations à Monteynard (méthode SHyDONHy, Penot, 2014).

Les gradex mensuels²³ ont été calculés par ajustement d'une loi somme de deux exponentielles de pluies, calculées avec la pluie spatiale optimisée au pas de temps de l'étude, sur la période 1959-2010. **Les 3 mois de septembre octobre et novembre montre des gradex similaires et forts : il s'agit de la saison à plus fort risque pluviométrique**, c'est-à-dire les trois mois consécutifs qui maximisent la somme des gradex mensuels.

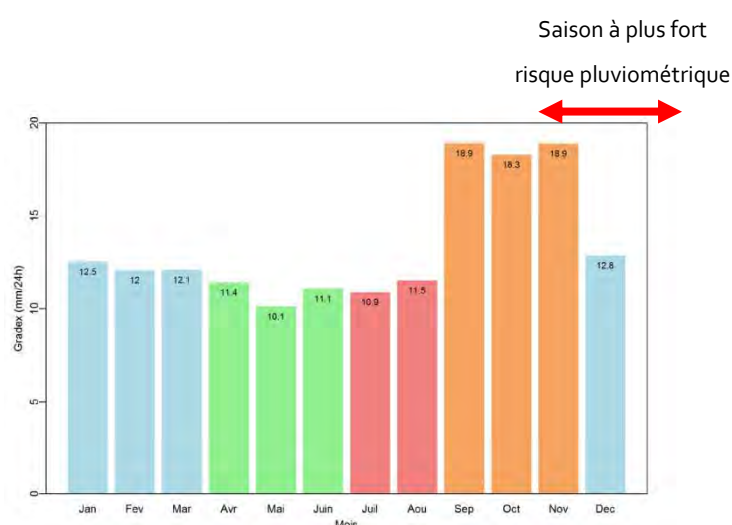


Figure 69. Gradex mensuels des pluies au barrage de Monteynard sur la période (1959-2013) - (EDF, 2016)

La probabilisation saisonnière des pluies centrales permet ensuite d'estimer le pseudo-gradex²⁴ des pluies centrales par saison. Les types de temps « à risque » pour chaque saison sont les suivants :

- saison 1 : dépression centrale (TT7) ;
- saison 2 : sud (TT4) ;
- saison 3 : retour d'est (TT6) ;
- **saison 4 (saison à risque) : dépression centrale (TT7).**

Le bassin versant du Drac à Monteynard est particulièrement sensible au Flux de Sud et à la Dépression Centrale, ce que l'on retrouve pour les épisodes remarquables.

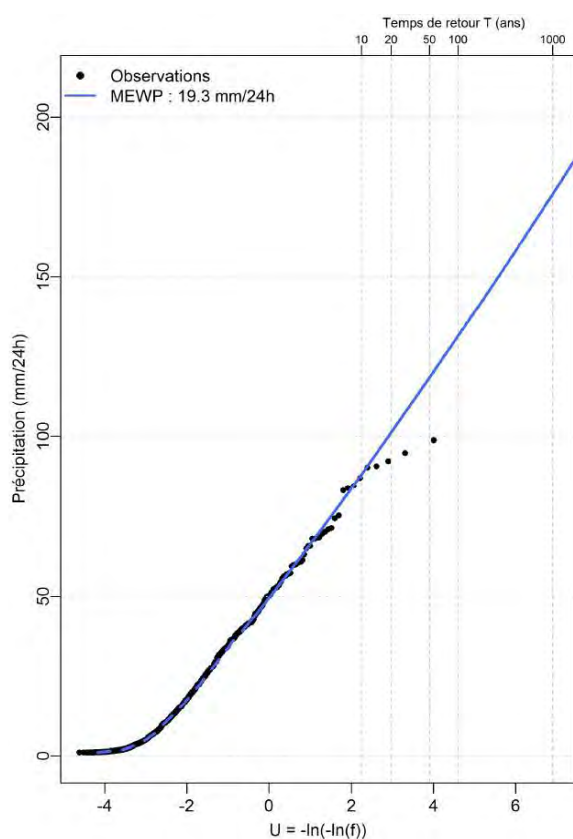
²³ GRADient de l'EXponentielle. Paramètre de la deuxième exponentielle, égale à la pente asymptotique sur un graphique de Gumbel, i.e. paramètre principal de l'aléa pluviométrique pour des distributions à décroissance exponentielle (Garavaglia, 2001). Plus le Gradex est élevé et plus l'estimation de la lame précipitée pour un même temps de retour est élevée.

²⁴ Le pseudo-gradex est la pente dans l'espace de Gumbel, de la droite entre la pluie centennale et millénale au sens de l'ajustement composite.

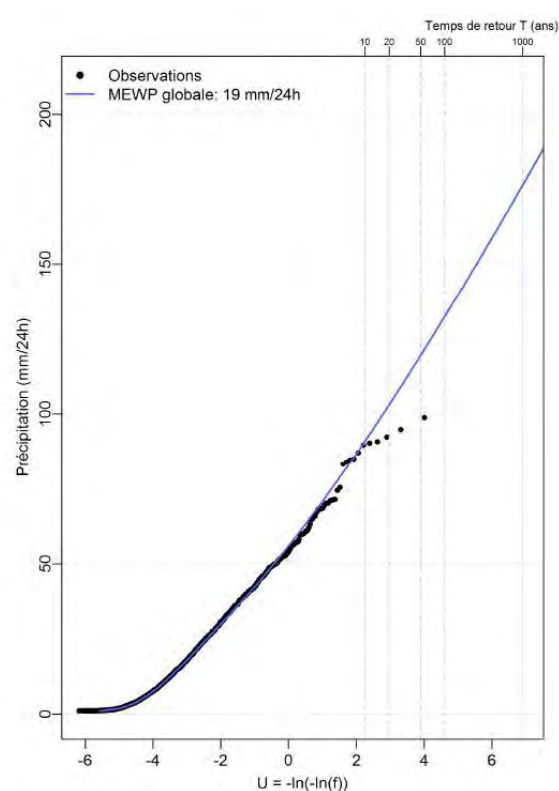
Les deux figures suivantes présentent la distribution MEWP sur la saison à risque et la distribution globale MEWP (ajustement issu de la recombinaison des 4 ajustements saisonniers) des pluies centrales de la pluie spatiale.

La simulation hydrologique SCHADEX, basée sur le croisement de l'aléa précipitation et de l'aléa « état hydrique » du bassin décrit par le modèle hydrologique a été réalisée sur la période de 1960 - 2012. La distribution des débits simulés moyens 24 heures non centrés simulés est présentée sur la Figure ci-dessous. Elle est confrontée aux débits moyens 24 heures désinfluencés observés au barrage de Monteynard entre 1969 et 2012, consécutifs à une pluie centrale d'épisode, ce qui représente 907 événements. Les débits moyens 24 heures centrés (noté $Q_{24h\ c}$) sont obtenus en multipliant les débits moyens 24 heures non centrés (noté $Q_{24h\ nc}$), par le coefficient de centrage $C_c = 1.09$ identifié au barrage de Monteynard.

Les débits extrêmes de pointe sont calculés directement au sein du processus de simulation SCHADEX. Un coefficient de forme centré dépendant de la séquence des volumes écoulés est utilisé en suivant le modèle régional de dépendance K_v/K_c . La distribution des débits de pointe simulés au barrage de Monteynard, avec prise en compte du coefficient de forme variant, est présentée sur la Figure ci-dessous.



*Distribution sur la saison à risque de septembre à
Novembre*



Distribution globale

Figure 70. Distribution MEWP des pluies centrales de la pluie spatiale au barrage de Monteynard (1959-2013)

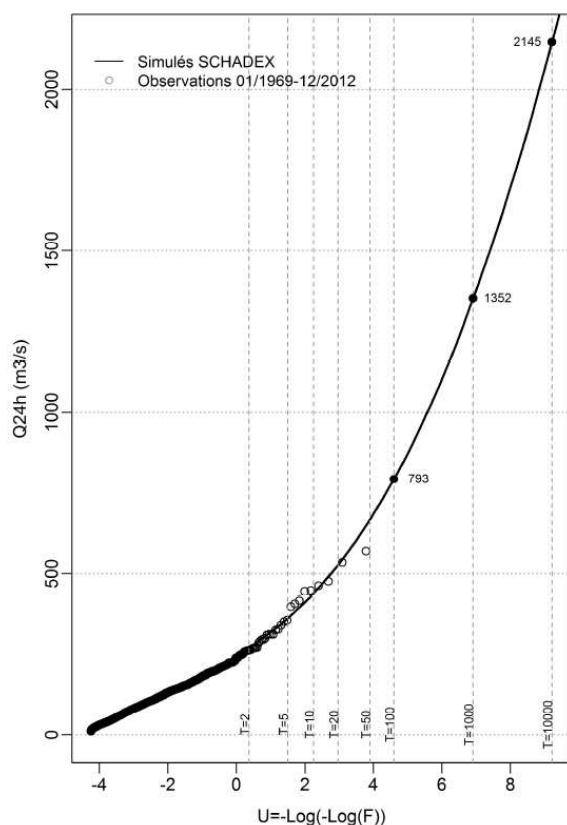


Figure 71. Distribution des débits moyens 24 heures non centrés au barrage de MONTEYNARD consécutifs à une pluie centrale d'épisode.

Le Tableau suivant présente les résultats de l'étude pour l'ensemble des temps de retour pour le Drac à Monteynard. La crue centennale du Drac à l'amont de la confluence est estimée, à partir des débits naturels reconstitués, à 1200 m³/s par la méthode SCHADEX. La crue 200 ans est de 1463 m³/s.

Tableau 33. Débits fréquents du Drac à Monteynard
(d'après EDF, 2016)

Temps de retour T (ans)	Débit moyen 24 heures non centré Q24h nc (m³/s)	Débit moyen 24 heures centré Q24h c (m³/s)	Débit de pointe QX (m³/s)	Ratio Qx/Q24h nc	Ratio Qx/Q24h c
10	439	479	629	1.43	1.31
20	528	576	774	1.47	1.34
50	668	728	1004	1.5	1.38
100	793	864	1213	1.53	1.4
200	957	1023	1463	1.56	1.43
1 000	1352	1474	2182	1.61	1.48

nc : non centré

c : centré

Le bassin versant au droit du barrage de Notre Dame de Commiers couvre une surface de 2054 km², ce qui représente une augmentation de 1% de la surface du bassin versant au droit du barrage de Monteynard (2031 km²). Le bassin versant intermédiaire entre ces deux aménagements est

considéré comme négligeable. Les estimations des valeurs de débits extrêmes du barrage de Monteynard seront utilisables au droit du barrage de Notre Dame de Commiers.

*Encadré 7-2. L'approche SCHADEX
(d'après Garavaglia 2011 et modifié)*

La méthode SCHADEX (Simulation Climato-Hydrologique d'Appréciation des Débits EXtrêmes) s'inscrit dans la continuité de la méthode du GRADEX, dont elle reprend certaines des hypothèses importantes en intégrant des développements récents et reconnus en hydrologie des extrêmes.

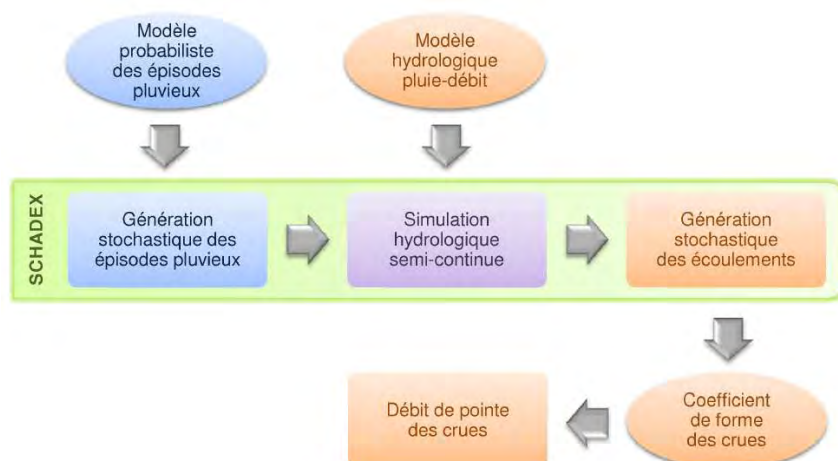


Figure 72. Diagramme de la méthode Schadex (Garavaglia, 2011)

Cette méthode se décompose en trois étapes principales :

- **Détermination de l'aléa pluie et calcul des ajustements pluie** - La détermination de l'aléa « précipitation extrême » est réalisée au moyen d'un modèle probabiliste basé sur un échantillonnage par saison et par types de circulation atmosphérique (appelés types de temps). L'échantillonnage saisonnier permet ne pas sous-estimer le risque pluviométrique lié à la forte saisonnalité du régime des précipitations (Garavaglia, 2011). En pratique il s'agit d'ajuster une loi somme de deux exponentielles sur la pluie journalière de chaque mois et de regrouper les mois avec les gradex similaires. La "saison à plus fort risque pluviométrique" est la saison pour laquelle les trois/quatre mois consécutifs maximisent la somme des gradex mensuels. Les 8 types de temps proposés par EDF permettent ensuite de diviser les échantillons de pluie en plusieurs sous-échantillons supposés plus homogènes, au moins d'un point de vue de la genèse météorologique. Sauf indication contraire, la pluie est toujours la pluie spatiale sur le bassin. La pluie spatiale est utilisée pour la définition de l'aléa pluie extrême, le calage du modèle hydrologique pluie-débit et la simulation hydrologique SCHADEX. Pour chaque saison et chaque type de temps au sein de chaque saison, il est ainsi possible de caler un modèle probabiliste sur les séries pluviométriques.

En pratique, un ajustement en loi exponentielle simple est réalisé sur les pluies centrales d'épisode supérieures à un quantile adaptés pour chaque saison (afin de proposer les extrapolations les plus crédibles possibles au regard de la distribution des observations). Les distributions marginales de chaque type de temps sont ensuite combinées en une distribution dite « composite » (distribution MEWP - MEWP : Multi-Exponential Weather Pattern) des pluies centrales pour chaque saison. Un **ajustement global MEWP** des pluies centrales de la pluie spatiale optimisée est alors obtenu à partir des distributions saisonnières auquel un poids pour chaque saison est utilisé.

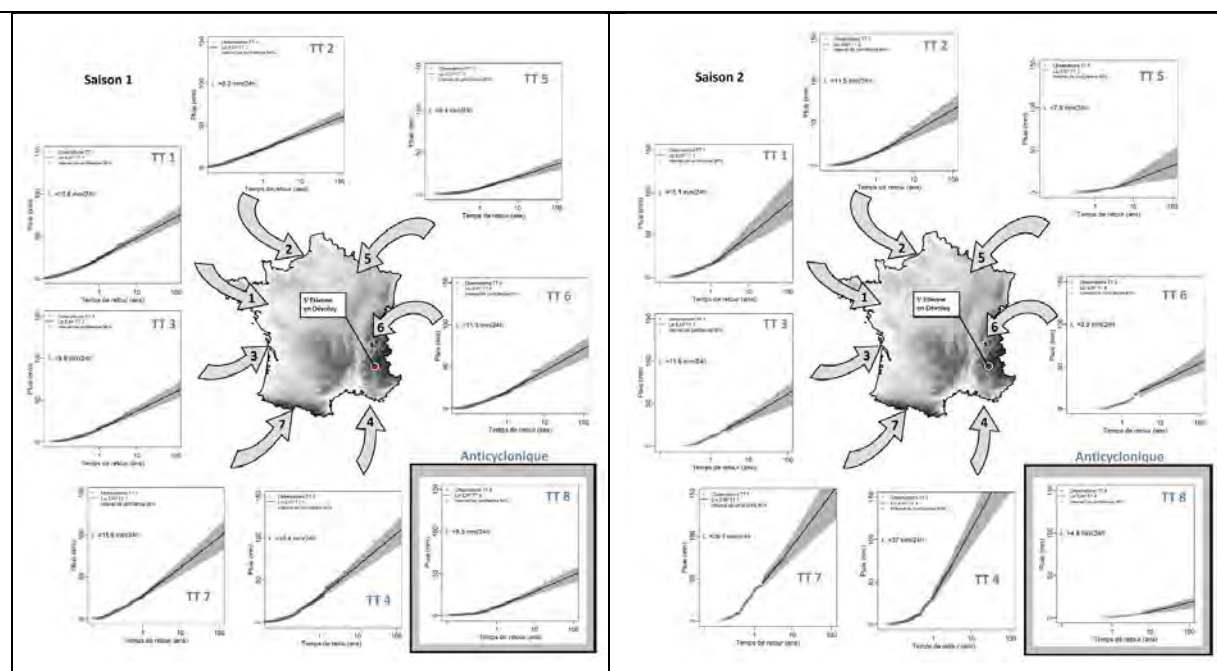


Figure 73. Huit lois exponentielles simples calées sur les huit sous-échantillons par types de temps de la saison 1 (Déc- Août) et saison 2 (Sep- Nov). Pluviomètre de Saint-Étienne-en-Dévoluy, période 1953-2005. L'aire grisée représente l'intervalle de confiance bootstrap à 90%, calculé à l'aide de la méthode Bootstrap. Les flèches schématisent la direction du flux atmosphérique de basse couche de chaque type de temps.

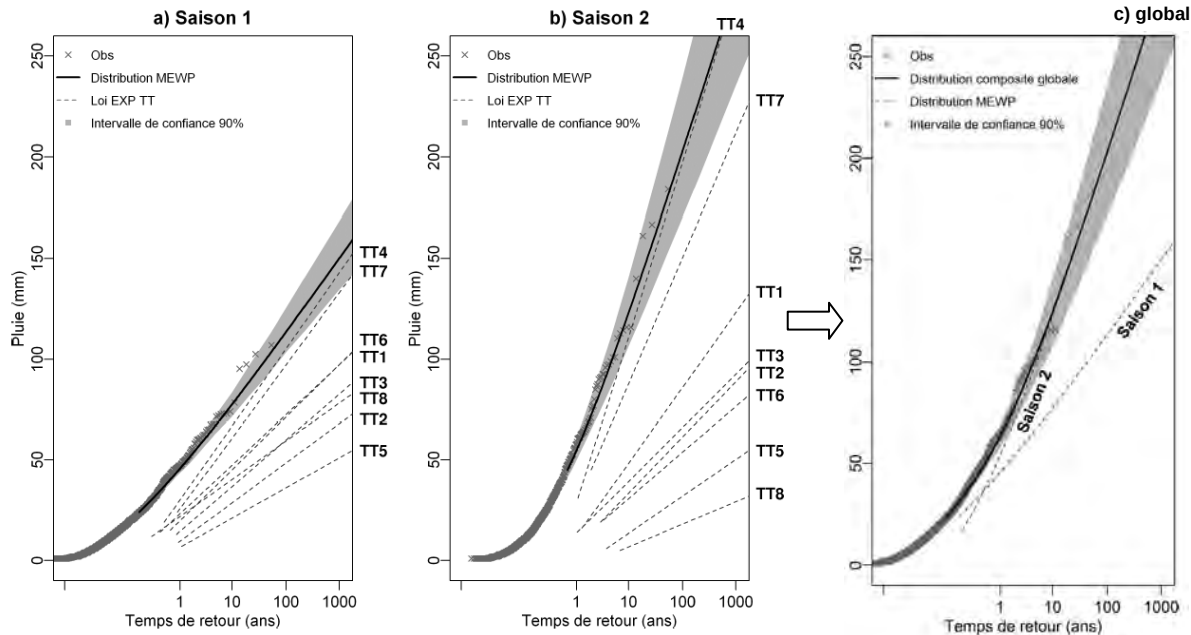
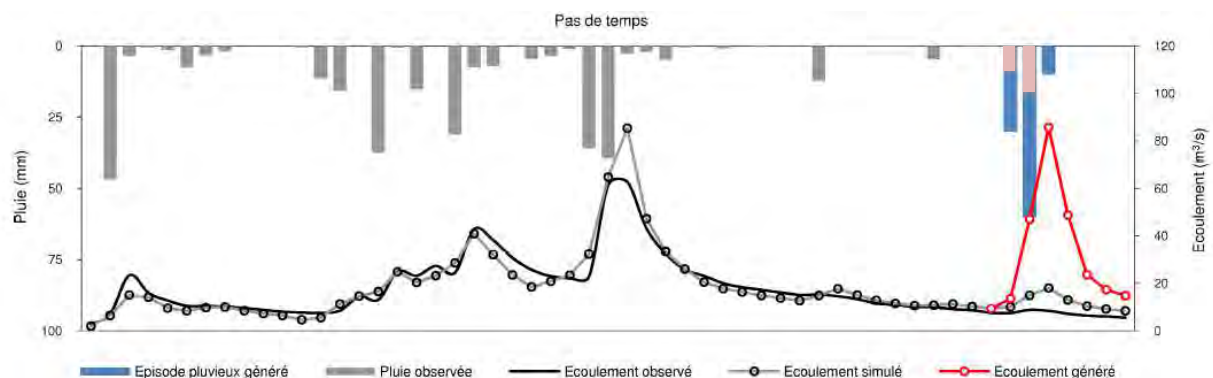
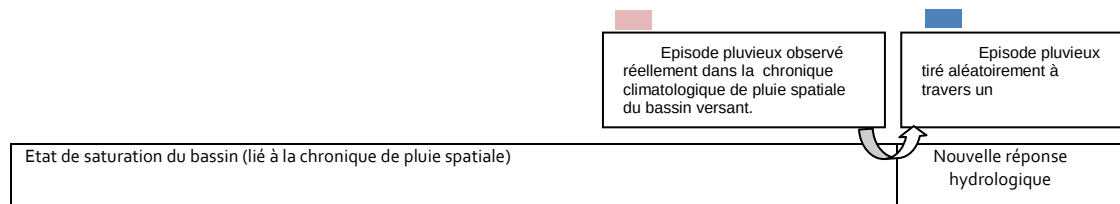


Figure 74. a) Distribution MEWP de la saison 1 (Déc-Août) b) Distribution MEWP de la saison 2 (Déc-Août). c) Distribution composite globale. L'aire grisée représente l'intervalle de confiance 90%. Pluviomètre de Saint-Étienne-en-Dévoluy, période 1953-2005. L'aire grisée représente l'intervalle de confiance à 90%.

- **Caractérisation de l'aléa « état hydrique » du bassin**, c'est-à-dire la réponse du bassin versant à des précipitations d'intensité faible à extrême, à l'aide d'un modèle hydrologique pluie-débit (MORDOR).

Les données d'entrée du modèle hydrologique sont les données pluie et température. La chronique de simulation est supposée représenter toute la population de l'aléa « saturation des sols ». Le calage du modèle hydrologique ne nécessite pas une période très longue, mais celle-ci doit contenir des épisodes de crues significatifs et les données doivent présenter une bonne homogénéité pour permettre un calage pertinent du modèle. La composante nivale (accumulation et fonte - nivale ou glaciaire) est prise en compte.

- Simulation hydrologique SCHADEX basée sur le croisement de l'aléa précipitation extrême (génération stochastique d'épisodes pluvieux) et de l'aléa état de saturation du bassin versant (décrit par modèle hydrologique préalablement calé), puis probabilisation des écoulements simulés et détermination des débits aux temps de retour remarquables.



Le procédé de simulation est basé sur l'utilisation d'une chronique climatologique pour obtenir une grande variété d'états hydriques du bassin versant via le modèle hydrologique (état des stocks, neige, etc.). Pour chaque état de saturation modélisé au début d'un épisode, une simulation pluie-débit d'un grand nombre de pluies différentes (épisodes pluvieux tirés aléatoirement à travers un modèle probabiliste préalablement défini) peut être réalisée et répété un grand nombre de fois.

Le procédé de simulation est défini comme une simulation semi-continue du fait que l'évolution des états hydriques du bassin est suivie de façon continue mais que les écoulements sont générés de façon discontinue (événementielle).

Il fournit la distribution des volumes de crues à pas de temps caractéristique, et pas celle de leurs pointes. Le passage volume-pointe est réalisé a posteriori à travers l'application d'un coefficient de forme de crue

La méthode s'appuie sur les **chroniques historiques observées de débit** (naturel ou désinfluencé), de pluie et de température. Au cours d'une étude SCHADEX, différentes périodes historiques de référence sont arrêtées en fonction de la disponibilité des données et de l'utilisation qui en est faite.

L'étude des crues extrêmes est menée au « pas de temps de l'étude » qui est spécifique du bassin versant traité. Il correspond à la durée caractéristique des principaux épisodes de crue observés sur le bassin. Dans les faits, cette durée est un compromis entre la durée du temps de base des crues et le pas de temps des données disponibles. Afin de décrire avec pertinence la réponse hydrologique du bassin versant, le pas de temps de l'étude est choisi pour être inférieur ou égal au temps de base des crues. Le passage des volumes aux pointes des crues est réalisé à travers l'application d'un coefficient multiplicatif dit « **coefficient de forme des crues** ». Ce coefficient correspond au rapport entre le débit maximum instantané et le débit moyen calculé sur le pas

de temps de l'étude (volume). Deux coefficients de forme différents sont distingués : le coefficient de forme centré K_c et non centré K_{nc} . Le calcul du coefficient de forme des crues est ainsi habituellement mené selon les étapes suivantes :

1. constitution d'un échantillon d'hydrogrammes et calcul du coefficient de forme pour chaque crue ;
2. caractérisation de la dépendance qui lie le coefficient de forme à la dynamique des débits journaliers ;
3. calcul du coefficient de forme moyen ou variable.

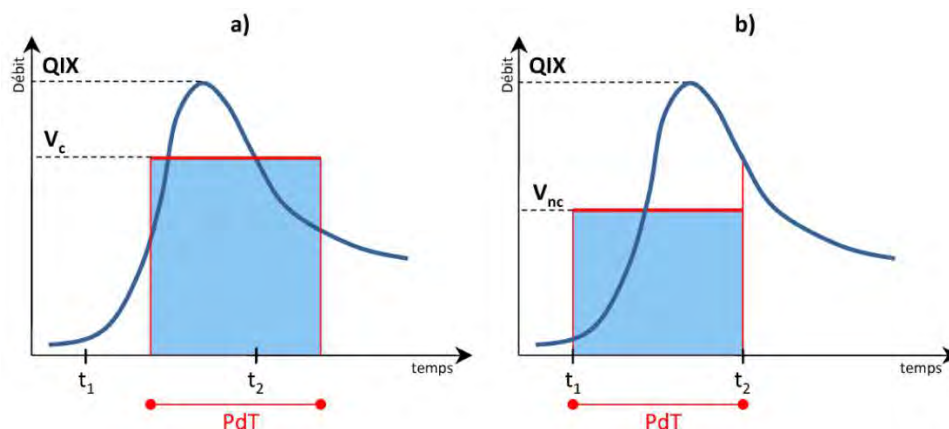


Figure 75. Définition graphique du coefficient de forme centré K_c (a) et non centré K_{nc} (b)

7.3. ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DU DRAC AVAL

Depuis 1976, différentes méthodes d'analyses fréquentielles ont été appliquées pour caractériser les crues extrêmes du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche :

1. Analyse fréquentielle "classique" avec données historiques (SOGREAH, 1976)
2. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SPEED (ARTELIA, 2013)
3. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode GRADEX (EDF, 2013 - ANNEXE 1)
4. Analyse fréquentielle « hydro-météorologique » : la méthode SCHADDEX (EDF, 2013)

Un des points commun des ces études est la prise en compte des débits "naturels". L'influence des aménagements sur les crues, généralement importante pour les crues courantes, se réduisant fortement voir devenant négligeable pour les événements majeurs, les estimations des débits de crues se font dans une situation de bassin « sans aménagements ».

7.3.1. ANALYSE FREQUENTIELLE "CLASSIQUE" AVEC DONNEES HISTORIQUES (SOGREAH, 1976)

L'analyse fréquentielle des crues du Drac réalisée lors des études hydrologiques de 1976 (SOGREAH, 1976) s'est appuyée sur une analyse statistique basée sur un échantillon de 145 ans composé de 22 crues supérieures à 900 m³/s ainsi que les crues de moindre importance observées sur un échantillon de 33 ans postérieurement à 1928. L'ajustement statistique ainsi réalisé est représenté selon la loi de Gumbel. Les crues caractéristiques du Drac dans la traversé de Grenoble sont extraites de cet ajustement.

Tableau 34. Les crues caractéristiques du Drac dans la traversé de Grenoble
(d'après SOGREAH, 1976 cité par ARTELIA, 2013)

Période de retour de la crue	Débit (m^3/s)
1000 ans	2660
500 ans	2400
200 ans	2060
100 ans	1800
50 ans	1550
30 ans	1380
20 ans	1240
10 ans	1000

Dans l'étude du TRI Grenoble-Voiron (ARTELIA, 2013), les débits en amont du pont de Claix sont diminués de 26 à 45 m^3/s pour tenir compte des apports des affluents avals (Lavanchon et Bouttonnière). Ceux-ci sont considérés comme n'ayant pas de crue concomitante avec celles du Drac, en raison d'une superficie de bassin versant très différente.

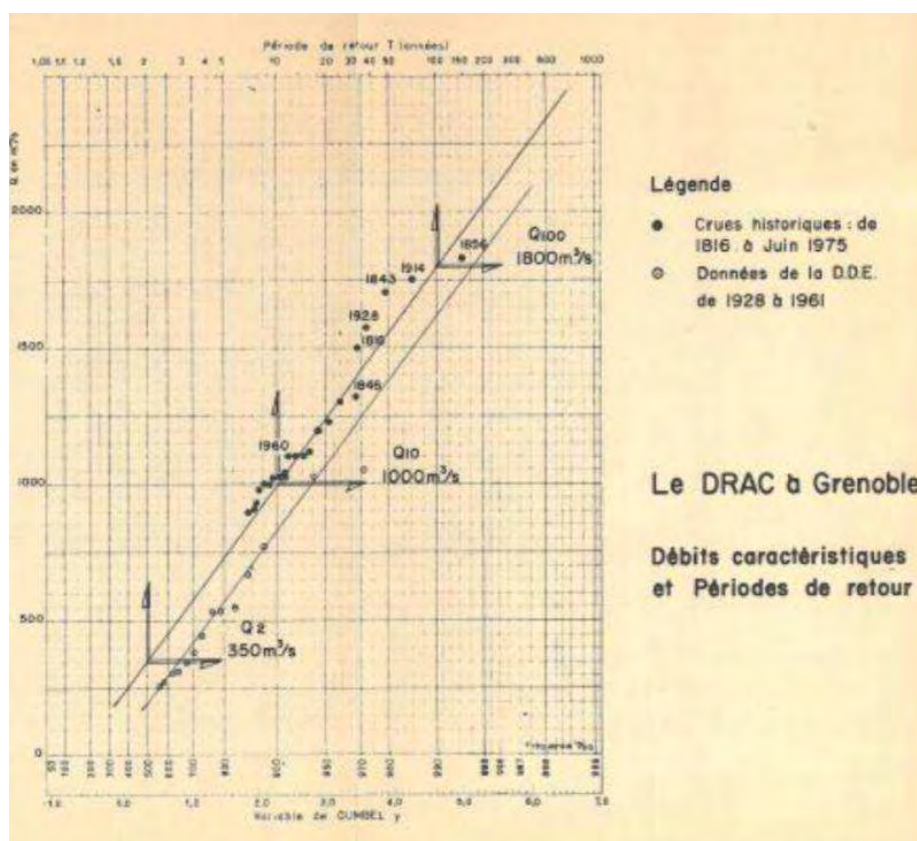


Figure 76. Ajustement ancien des débits du Drac à Grenoble selon une loi de Gumbel (SOGREAH, 1976)

7.3.2. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE SPEED (ARTELIA, 2013)

L'analyse régionale des pluies conduite sur l'ensemble d'un échantillon de 59 stations pluviométriques a mis en évidence deux valeurs du pivot sur le bassin versant du Drac (ARTELIA, 2013) :

- 3.3 lié aux phénomènes d'origine océanique.

- 44 à -4.5 lié aux obstacles majeurs que rencontrent les flux atmosphériques.

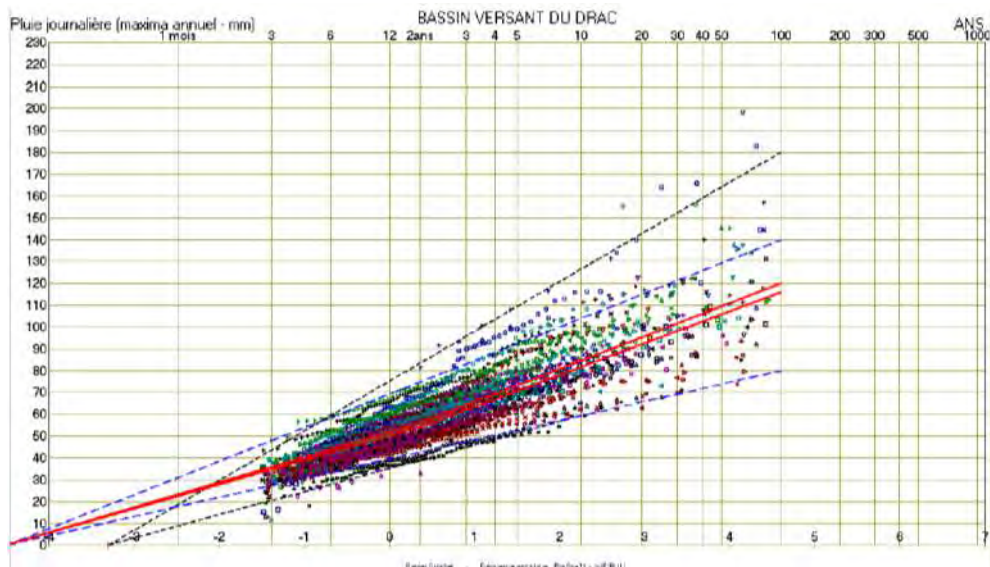


Figure 77. Analyse des pluies selon une loi de Gumbel (ARTELIA, 2013)

Chacune des stations a fait l'objet d'un ajustement par une droite passant par le pivot de valeur -3.3 ou -4.4 duquel ont été déduites les valeurs caractéristiques de la pluviométrie journalière pour chaque station. Les valeurs de la pluie journalière moyenne sur le bassin versant du Drac ont par la suite été estimées par régionalisation (à l'aide de MapInfo et Vertical-Mapper). L'intervalle d'incertitude est estimé entre 10% à 20 % pour les pluies de fortes périodes de retour.

Tableau 35. Pluie journalière moyenne sur le bassin versant du Drac (d'après ARTELIA, 2013)

Période de retour (ans)	2	10	100
Pluie journalière moyenne (mm)	62 mm	85 mm	116 mm

Deux stations limnimétriques offrant des durées d'exploitation intéressantes pour l'analyse hydrologique et sur des bassins non aménagés jugés "naturel" (La Séveraisse à Villar-Loubière et La Roizonne à la Valette) ont été utilisées pour la détermination des paramètres C_0 et P_0 caractéristiques du bassin du Drac. Suivant les séries utilisées, la valeur du paramètre P_0 est comprise entre 70 mm et 80 mm.

Tableau 36. Caractéristique des stations limnimétriques jugés "naturel" (d'après ARTELIA, 2013)

Code banque Hydro	Nom Station	Superficie (km²)	Altitude (m)	NB années	Début	Fin
W2114010	La Séveraisse à Villar-Loubière	133	1023	45	1969	2013
W2335210	La Roizonne à la Valette	72	936	93	1920	2012

La méthode SPEED permet d'obtenir la loi de probabilité des débits réduits (et instantanés) à partir des ajustements des pluies et des paramètres régionaux caractéristiques du bassin du Drac (valeur régionale des paramètres P_0 , T_0 et C_0 ainsi identifiés précédemment).

Les ajustements de pluies et de débits réduits retenus relativement au Drac à Fontaine sont présentés sur la figure ci-après. Les données disponibles de 1928 à 2008 (40 débits maximaux annuels) sont également représentées - en considérant les estimations basses et hautes ainsi que deux positions empiriques selon l'axe des périodes de retour, calculées selon les formules de Weibull et Gringorten. L'étude ne précise pas s'il s'agit des débits mesurés ou reconstitués à la station de Fontaine. De plus, sachant que les données à Fontaine ne sont disponibles que depuis 1984, quid des données utilisées entre 1928 et 1984?

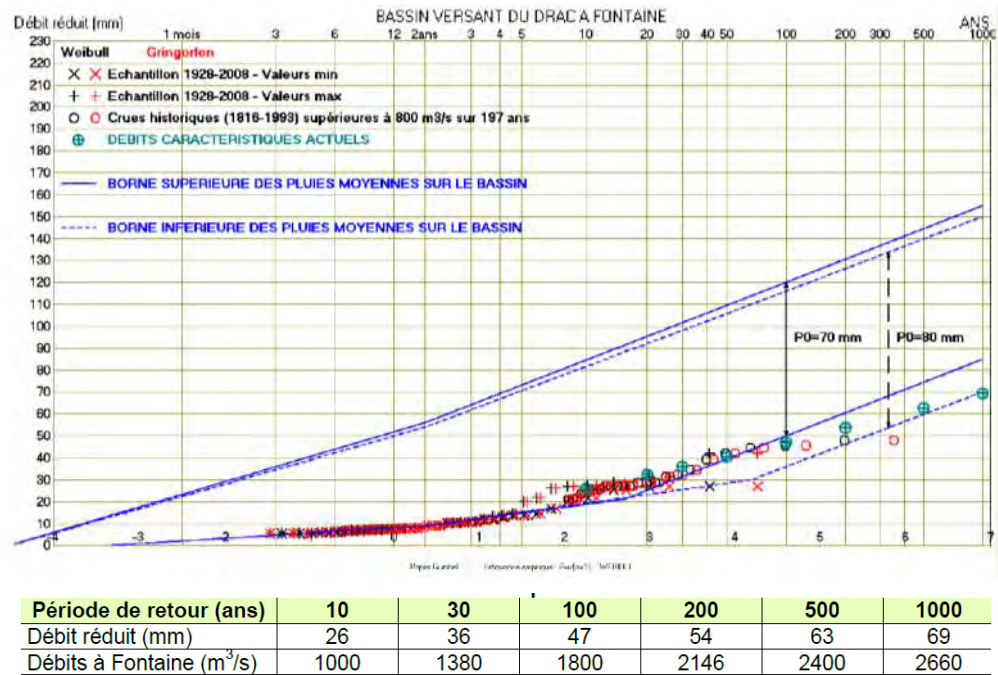


Figure 78. Ajustement des débits réduits du Drac à Fontaine (ARTELIA, 2013) sur la période 1928-2008 (40 débits maximaux annuels). Les crues historiques sont représentées par des ronds.

Les débits caractéristiques obtenus sont synthétisés ci-dessous :

Tableau 37. Débits réduits et débits caractéristiques du Drac aval (ARTELIA, 2013).

Période de retour (ans)	Débits du Drac aval de la confluence avec la Romanche (m³/s)	Débits du Drac à Pont de Claix (aval Gresse) (m³/s)	Débits du Drac à Fontaine (m³/s)
10			1000
30	1293	1343	1380
100	1690	1755	1800
200			2146
500			2400
1000			2660

Les débits caractéristiques considérés jusqu'à présent se situent entre les bornes résultant de l'incertitude sur les pluies et la valeur du Po. Cette analyse a confirmé les valeurs utilisées jusqu'à présent. L'incertitude sur la détermination des débits de fortes périodes de retour est estimée à 20

%. A noter que ces valeurs induisent une période de retour constante sur tout le parcours du Drac à l'aval de la confluence. Il en découle que les apports intermédiaires (Gresse, Lavanchon et Boutonnière) correspondent à des valeurs sans lien avec la période de retour de la crue du Drac.

*Encadré 7-3. L'approche SPEED
(d'après ARTELIA, 2013 et modifié)*

La méthode SPEED (Système Probabiliste d'Etude par Evénements Discrets) utilisée lors de l'étude du TRI Grenoble-Voirion (ARTELIA, 2013) pour la mise à jour des débits caractéristiques du Drac est présentée en détail en annexe A du rapport ARTELIA, 2013.

L'approche SPEED est une adaptation de la théorie du GRADEX. Le principe est de considérer qu'à partir d'un seuil, le bassin versant étant saturé, les pluies maximales et les débits correspondants (débits maximums) suivent une même loi de distribution statistique, dite des « extrêmes » en raison de la nature du phénomène recherché (crues rares). En d'autre terme, la loi probabiliste des lames d'eau ruisselées est parallèle à celle des pluies (c'est-à-dire avec une même pente, le Gradex) dès que le temps de retour est supérieur à un seuil T_0 . La difficulté est de savoir pour quelle période de retour, seuil, la saturation intervient. A l'origine de la mise au point de la méthode, une valeur de 10 ans était trouvée sur les bassins tests.

A la différence de la méthode du GRADEX, la méthode SPEED donne directement la distribution de la pointe de crue, à partir de la distribution des pluies journalières et d'une estimation de la capacité maximale d'infiltration du bassin versant (en mm).

La méthode SPEED propose de déterminer ces paramètres régionaux :

- d'une part à partir de **l'analyse régionale des maxima annuels des pluies journalières** pour déterminer le(s) paramètre(s) Y_0 , c'est à dire le pivot de la distribution des PJ (valeur de la variable de Gumbel pour laquelle la droite de Gumbel coupe l'axe $P_j=0$) et P_{jm} (moyenne des pluies journalières maximums).
- et d'autre part à partir de **l'analyse des corrélations equifréquence entre les pluies journalières maximum annuelles et les débits maximum instantanés**. Il s'agit de déterminer la relation entre les lois de probabilité de ces deux grandeurs sur des sous échantillons (de pluie et de débit) couvrant une période commune. La relation probabiliste est exprimée par les deux formules développées par SOGREAH reliant la pluie journalière au débit de pointe (ce dernier est exprimé en **débits réduits**).

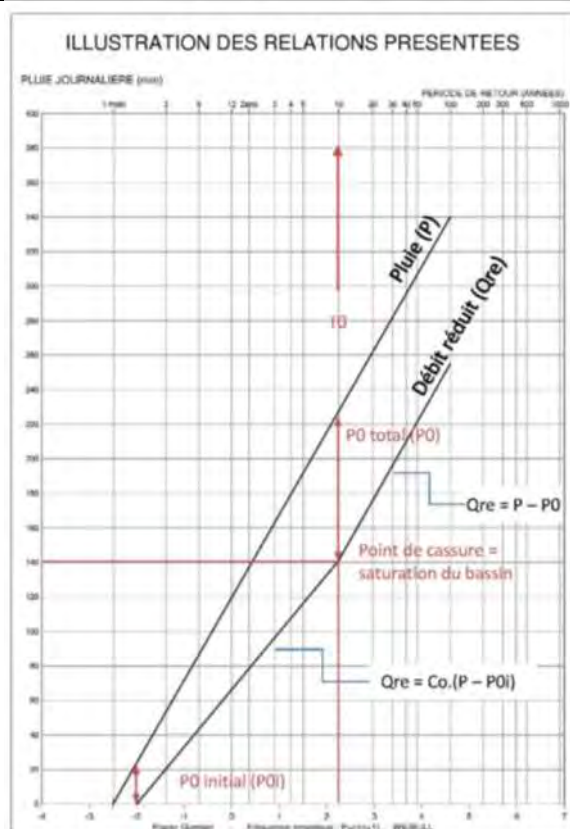


Figure 79. Illustrations des relations de la méthode SPEED sur un diagramme de Gumbel (d'après ARTELIA, 2013)

Les débits maximum instantanés sont transformés en débits réduits par la formule suivante :

$$Q_{re} = \frac{12.Q}{S^{0,75}}$$

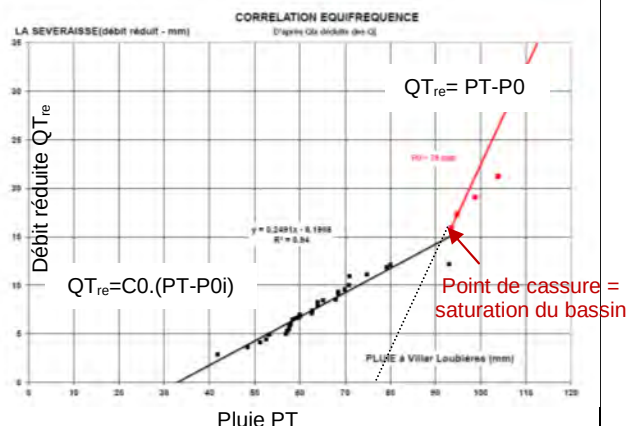


Figure 80. Illustrations des relations de la méthode SPEED sur un graphique de corrélations equifréquence (d'après ARTELIA, 2013)

Les études conduites par ARTELIA jusqu'à présent en France leur ont permis de dégager quatre classes différentes de valeur du pivot. Chacune de ces classes est associée à un processus pluviométrique particulier :

1. **Flux d'Ouest** (la majeure partie de la France est soumise à un flux la traversant d'Ouest en Est). Les pluies journalières max annuelles qui en découlent ont un pivot compris entre -3,3 et -3,5.
2. **Pluie Cévenoles** donnant des pluies pouvant être très intenses (la partie Sud-Est de la France comprise entre les versants Est et Sud du Massif Central et la vallée du Rhône est un peu à l'abri des flux d'Ouest et est soumise aux flux d'air chaud et humide provenant de la Méditerranée). Le pivot associé est de -2,5.
3. **Pluies d'Altitudes**. Sur les régions à haute altitude des Alpes (département de l'Isère, de la Haute Savoie), des Hautes Pyrénées, du Massif Central, on a constaté un pivot se situant aux alentours de -4,5 qui indiquerait des perturbations plus fréquentes.
4. **Les pluies d'orages**. Les orages (phénomènes convectifs – ascension de l'air chaud) sont, en général, moins fréquents que les passages de perturbations océaniques.

Du fait de ces différentes classes de phénomènes, on peut parfois observer des cassures dans les ajustements. Ces cassures interviennent pour des stations situées en limite de deux zones de flux ou, dans le Nord de la France essentiellement, lorsque les orages exceptionnels provoquent des pluies supérieures à celles du flux d'Ouest.

7.3.3. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE GRADEX (EDF, 2014 ANNEXE 1)

Lors de l'étude SHADEX à Fontaine (EDF, 2014), les éléments d'un calcul GRADEX au niveau du Drac à Fontaine, basé sur les données de l'étude SCHADEX présentée dans cette l'annexe 1 du rapport. C'est la seule étude GRADEX répertoriée du Drac à Fontaine.

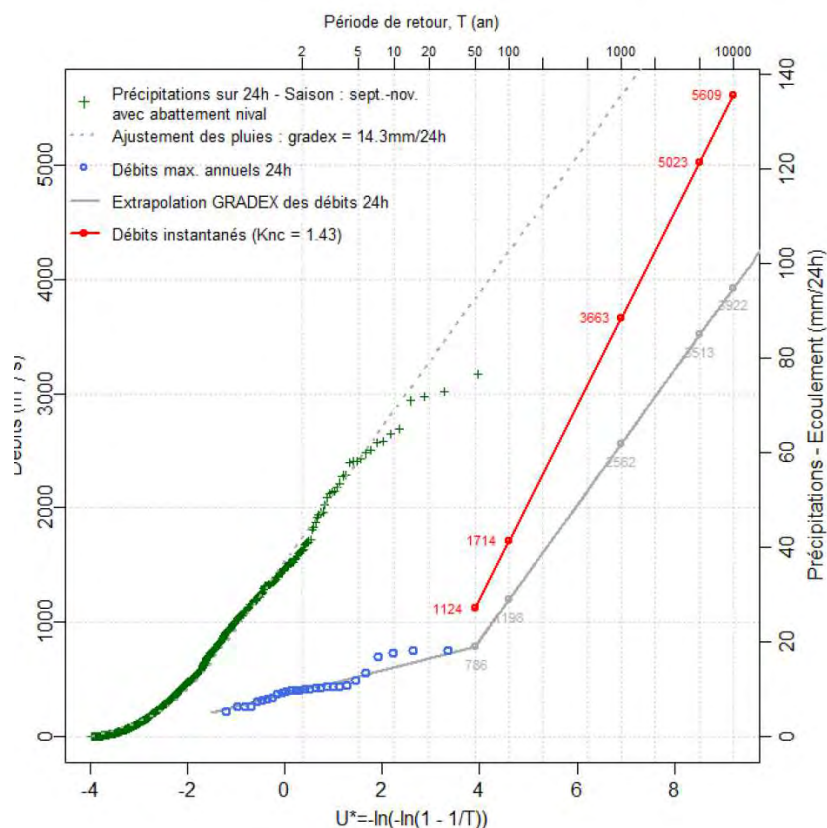


Figure 81. Extrapolation Gradex des débits du Drac à Fontaine (d'après EDF, 2014 - ANNEXE 1)

La méthode GRADEX est appliquée dans cette étude selon les principaux éléments ci-dessous :

- Le pas de temps de l'étude est de 24 heures, le coefficient de forme moyen non centré est de 1.43.
- La pluie spatiale sans majoration est calculée sur la période 1959 - 2010 avec la moyenne arithmétique des 8 pluviomètres de la pluie spatiale retenue dans l'étude SCHADEX (combinée avec un abattement nival sur la base de la température).
- L'ajustement de Gumbel sur les débits maximaux annuels est réalisé sur les débits maximaux annuels (reconstitués) de la période **1983 - 2010**.
- Le GRADEX utilisé est celui de la saison à risque (période de septembre à novembre pour le Drac à Fontaine). Il est calculé par l'ajustement d'une somme d'exponentielles sur l'ensemble des pluies de la saison à risque et s'élève à 14.3 mm/24h sur la période **1959 - 2010**.
- L'extrapolation GRADEX pour le calcul des débits extrêmes est réalisée à partir du débit de la **période de retour 50 ans (point pivot)** issu de l'ajustement sur les maxima annuels (786 m^3/s) avec le gradex de la saison à risque (14.3 mm/24h). Elle est présentée page suivante.

Les valeurs sont présentées dans le tableau suivant :

*Tableau 38. Débits fréquentiels du Drac à Fontaine
(d'après EDF, 2014- ANNEXE 1)*

Temps de retour (ans)	Débit moyen journalier non centré (m³/s)	Débit de pointe (m³/s)
1000 ans	2562	3663
200 ans		2300*
100 ans	1198	1714
10 ans	786	871

* débit estimé par HYDRETUDES d'après l'ajustement graphique (u(T)-Q(T))

7.3.4. ANALYSE FREQUENTIELLE « HYDRO-METEOROLOGIQUE » : LA METHODE SCHADEX (EDF, 2014)

Dans le cadre de l'étude de conjonction d'aléas, de concomitance et d'amortissement des crues de l'Isère, EDF/DTG à déterminer le risque de crue extrême du Drac à Fontaine (3577 km²) par la méthode SCHADEX. Cette étude a été réalisée afin de se doter d'une estimation pertinente en matière de contribution hydrologique. Elle n'a pas vocation au dimensionnement des ouvrages.

Les résultats présentés dans les études de crues extrêmes correspondent à des valeurs considérant la contribution **hydrologique naturelle du bassin versant**. De manière conservative, ces résultats ne tiennent donc pas compte de l'écrêtement des crues réalisé par le laminage des retenues situées en amont de Fontaine (capacités utiles des 8 retenues sur le bassin versant du Drac = 515.3 hm³). Dans le cas de la présente étude, le **laminage hydraulique naturel dans le lit majeur du Drac** en aval de sa confluence avec la Romanche, n'est également pas pris en compte. Il peut être significatif pour les crues extrêmes, et peut notamment impacter les valeurs de crues réellement observables au droit de Fontaine.

La méthode s'appuie sur les **chroniques historiques observées de débit (naturel ou désinfluencé), de pluie et de température** :

- Débits - au droit de Fontaine (3577 km²), des données de débits journaliers désinfluencés ont été reconstitués sur la période 1983-2010. Le Tableau ci-après présente depuis l'amont vers l'aval du bassin versant, les séries de mesure de débit qui sont utilisées dans le cadre de la présente étude. Le débit désinfluencé est ensuite lissé avec la somme de deux témoins de lissage : 1) débit désinfluencé et lissé de la Romanche à Champeau et 2) débit désinfluencé et lissé du Drac à Monteynard.
- Précipitations - Les données de 14 stations pluviométriques ont été utilisées pour élaborer des séries homogènes de mesure de pluies. La pluie spatiale optimisée est calculée sur la période 1953-2010, correspondant à la plus longue période de disponibilité des données pluviométriques de chaque site (combinaison linéaire des 8 postes pluviométriques au final retenus).
- Températures - La température moyenne sur le bassin est établie entre 1953 et 2010 par interpolation à partir des données issues de postes voisins. Cette température est calculée à une altitude de 209 m à proximité de Grenoble, ce qui permet de rester cohérent avec l'étude du risque de crue extrême réalisé sur l'Isère à Grenoble. Ce choix permet d'avoir une meilleure représentativité de la donnée de température du fait d'un grand nombre de postes de mesure aux alentours de Grenoble.

Tableau 39. Inventaire des données de débit disponibles sur le bassin versant du Drac à Fontaine

Nom (nature du débit)	Code EDF	Superficie (km ²)	Disponibilité des débits	
			Journaliers	Horaires
Drac à FONTAINE – Débit influencé	Q0093_DI1_J1	3550	1983 – 2010	1983 – 2010
Les Ricous – Débit dérivé	Q0052_DV1_J1	203	1966 – 2010	-
Variation de réserve du Sautet	SAUTEH_VR1_J1	-	1969 – 2010	-
Variation de réserve de St Pierre de Cognet	MTEYNH_VR1_J1	-	1957 – 2010	-
Variation de réserve du Monteynard	MTEYNH_VR2_J1	-	1969 – 2010	-
Variation de réserve de N.D. de Commiers	MTEYNH_VR3_J1	-	1965 – 2010	-
Variation de réserve de Grand Maison	G.MAIH_VR1_J1	-	1984 – 2010	-
Variation de réserve du Verney	G.MAIH_VR2_J1	-	1984 – 2010	-
Variation de réserve du Chambon	SSGUIH_VR1_J1	-	1948 – 2010	-
Variation de réserve de Clapier	SSGUIH_VR2_J1	-	1985 – 2010	-

Compte tenu du temps de base moyen des crues du Drac et du pas de temps des données disponibles, le pas de temps de l'étude retenu est de 24 heures.

Pour pouvoir effectuer le passage des volumes (les débits sont simulés au pas de temps de l'étude de 24h) aux pointes des crues, un coefficient de forme variable a été utilisé. Il est issu de l'analyse d'un échantillon de 10 hydrogrammes de crue du Drac à Fontaine au pas de temps horaire. Les valeurs suivantes du coefficient de forme en 24 heures, issues de la distribution des coefficients de forme centrés et non centrés, sont retenues :

- $K_c=1.32$ (Coefficient de forme centré),
- $K_{nc}=1.43$ (Coefficient de forme non centré),
- $C_c= 1.08$ (Coefficient de centrage).

Les gradex mensuels ont été calculés par ajustement d'une loi somme de deux exponentielles de pluies, calculées avec la pluie spatiale optimisée au pas de temps de l'étude, sur la période 1959-2010. **Les 3 mois de septembre octobre et novembre représentent la saison à plus fort risque pluviométrique**, c'est-à-dire les trois mois consécutifs qui maximisent la somme des gradex mensuels.

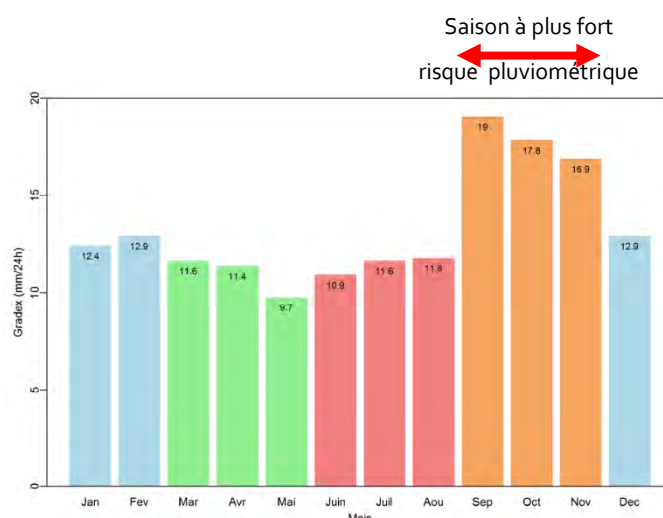


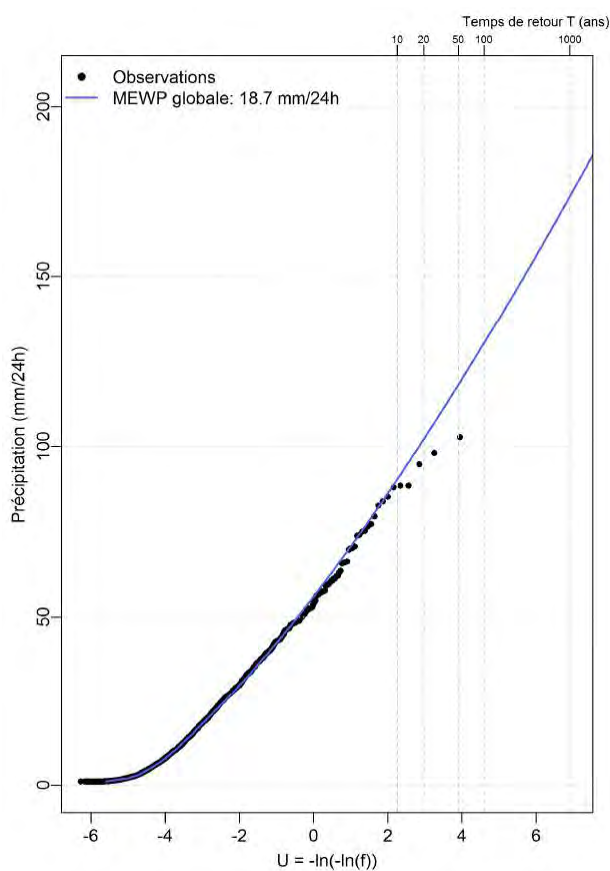
Figure 82. Gradex mensuels des pluies à Fontaine sur la période (1959-2010) - (EDF, 2014)

Les distributions marginales de chaque type de temps sont ensuite combinées en une distribution dite « composite » (distribution MEWP) des pluies centrales pour chaque saison ; des pseudo-gradex

des pluies centrales par saison sont obtenues. Les types de temps « à risque » pour chaque saison sont les suivants :

- Saison 1 : océanique stationnaire (TT₂),
- Saison 2 : Sud (TT₄),
- Saison 3 : onde atlantique (TT₁) et dépression centrale (TT₇),
- **Saison 4 : Sud (TT₄) – Saison à risque.**

La figure suivante présente la distribution MEWP sur la distribution globale MEWP (ajustement issu de la recomposition des 4 ajustements saisonniers) des pluies centrales de la pluie spatiale optimisée (retenue).



Distribution globale

Figure 83. Distribution MEWP des pluies centrales de la pluie spatiale à Fontaine (1959-2010)

Sur l'ensemble de l'année, les valeurs des pluies centrales d'épisodes aux temps de retour remarquables, calculées en combinant les quatre saisons, sont rassemblées dans le Tableau suivant :

Tableau 40. Valeurs des pluies centrales au temps de retour remarquables à Fontaine (Ajustement issu de la recomposition des 4 ajustements saisonniers) - EDF (2014)

Temps de retour T (ans)	Pluie spatiale (mm/24h)
10	90
20	102
50	118
100	130
1 000	173

Le modèle pluie-débit a été calé sur la période de calage 1984-2009 et montre de bonnes performances : les distributions observées et modélisées sont cohérentes sur toute la gamme des débits et le modèle reproduit bien le régime "naturel" du Drac à Fontaine. Il est intéressant de noter que la composante nivale et glaciaire est prise en compte dans la modélisation pluie-débit et qu'elle améliore de manière significative les performances du modèle. En effet, 91 km² du bassin versant à Fontaine est recouvert de glacier (essentiellement sur le bassin versant de la Romanche).

Au final, la simulation hydrologique SCHADEX est réalisée sur un historique de pluie-température de 1960 à 2010. Ce dernier est exploité continûment près de 600 fois, ce qui permet de simuler près de 2 millions de crues. La distribution des débits moyens 24h simulés (non centrés) est présentée sur la Figure ci-dessous. Elle est confrontée aux débits moyens 24h naturels observés à Fontaine entre 1983 et 2010, consécutifs à un épisode pluvieux centré, ce qui représente 705 événements.

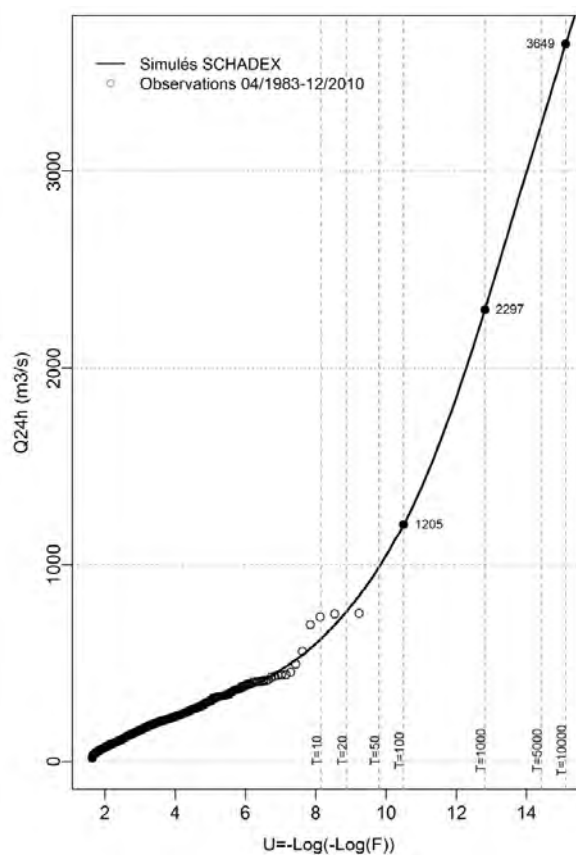


Figure 84. Distribution des débits moyens 24 heures non centrés à Fontaine consécutifs à une pluie centrale d'épisode

Les valeurs aux temps de retour remarquables T des débits moyens 24h (non centrés) du tableau ci-dessous sont issues de la distribution simulée. Les débits moyens 24h centrés sont obtenus en multipliant les débits moyens 24h non centrés, par le coefficient de centrage 1.08. Les débits extrêmes de pointe sont calculés en multipliant les débits moyens 24h non centrés par le coefficient de forme non centré $Q_x/Q_{24h\ nc}$ de 1.43.

Tableau 41. Débits fréquentiels du Drac à Fontaine
(d'après EDF, 2014)

Temps de retour T (ans)	Débit moyen 24 heures non centré $Q_{24h\ nc}$ (m ³ /s)	Débit moyen 24 heures centré $Q_{24h\ c}$ (m ³ /s)	Débit de pointe QX (m ³ /s)
10	625	675	894
20	762	823	1090
50	989	1068	1414
100	1205	1301	1723
1 000	1205	1301	3284

nc : non centré

c : centré

La crue centennale du Drac à Fontaine est ainsi estimée à 1720 m³/s par la méthode SCHADEX.

7.4. ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DES AUTRES AFFLUENTS

Deux études sont disponibles pour les crues extrêmes des autres affluents (Gresse, Lavanchon et Boutonnière) :

- SOGREAH (1999) : « Etude d'inondabilité du Drac et de la Romanche, rapport d'étude », SOGREAH, rapport 55 0438, novembre 1999, MOA : ADIDR
- CIDEE (2007) : « Etude hydraulique pour la réduction de la vulnérabilité et des risques d'inondation sur la Gresse et le Lavanchon - PHASE 1 : Diagnostic ». Rapport (Octobre 2006) + Annexe (Janvier 2007). MOA : SIGREDA.

Le tableau suivant résume les débits fréquentiels des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche de l'étude SOGREAH (1999). Il n'y a pas d'indication sur la méthode utilisée. Les estimations proviennent de deux études hydrauliques datant de 1992 et 1994.

Tableau 42. Débits fréquentiels des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche
(d'après SOGREAH, 1999)

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s)	
	La Gresse	Le Lavanchon et la robine (Lavanchon total S = 52.4 km ²)
100 ans	200	80
10 ans	92	40
5 ans	70	30
2 ans	40	

Sur la Gresse, l'exploitation de données récentes (16 années actuellement disponibles à la station DIREN de Pont Jacquet) et l'utilisation de formules synthétiques calées sur des bassins versants similaires ont permis à CIDEE (2007) de proposer une nouvelle fourchette de valeur pour les quantiles de crue de période de retour 10 et 100 ans.

Les méthodes utilisés sont typiques des bassins non jaugés :

- La méthode Crupédix a permis d'avoir une première estimation du débit de pointe décennal.
- La méthode utilisée pour l'extrapolation des débits aux fréquences rares est celle du Gradex. La durée des pluies utilisées est fixée par rapport au temps de base de l'hydrogramme de ruissellement du bassin versant (le temps de base de l'hydrogramme de ruissellement est d'une demie journée - déterminé à partir du temps caractéristique de la méthode de SOCOSE montagne). Le Gradex sur les pluies 24h est celui de la saison Septembre/Décembre sur la station Château-Bernard qui présente un Gradex mensuel élevé.

Tableau 43. Pluies journalières maximales : Gradex saisonniers (d'après CIDEE, 2007)

Station	Chronique	Gradex saisonnier mm (Septembre/Décembre)
Gresse en Vercors	1961-1997	14.61
Château Bernard	1961-1990	14.94
Monestier de Clermont	1948-1997	12.34
Varces Rochefort	1959-1997	14.5

Tableau 44. Débits fréquentiels des affluents du Drac à l'aval de la confluence avec la Romanche (d'après CIDEE, 2007)

Période de retour de la crue	Débit de pointe (m ³ /s)		
	Gresse à Essargarin	Gresse à Vif	Le Lavanchon Confluence Drac
	114.6 km ²	173 km ²	51 km ²
100 ans	136 - 151	178 - 200	82
10 ans	47 - 75	60 - 92	40

Remarque : A l'aval du Pont de la Brigaudière, le cours du Lavanchon est chenalisé (canal urbain).

7.5. ANALYSE STATISTIQUES DES CRUES EXTREMES DE L'ISERE

L'hydrologie faisant référence auprès des organismes compétents est celle issue des études SOGREAH de 1971 1991 pour les crues de l'Isère (SOGREAH, 1971, 1991), complétée en 2007 par une mise à jour de l'hydrologie des affluents à l'occasion de l'avant projet "Isère Amont" (SOGREAH, 2007).

Ce sont ces valeurs qui ont été par la suite utilisées dans le TRI Voiron-Grenoble (ARTELIA, 2013) et les projets d'aménagements "Isère Amont" du SYMBHI (SOGREAH, 2008 ; EGIS, 2014). Le projet a pour objectif hydraulique principal de protéger les zones urbanisées jusqu'à une crue de type 1859, dont la période de retour a été estimée à 200 ans (crue bicentennale), et les zones agricoles jusqu'à une crue de période de retour 30 ans (trentennale).

Une mise à jour des débits à l'état projet (issus d'une modélisation hydraulique) a été réalisée en 2014 par EGIS et fournit des débits et des hydrogrammes à l'état projet pour un certain nombre de points caractéristiques.

Les débits de pointe ainsi que les périodes de retour considérées sont résumés dans le tableau ci après. Les estimations de débits "état actuel" présentés dans l'étude SOGREAH (2008) et EGIS (2014) sont une synthèse de différentes sources d'informations antérieures. Les estimations "état aménagé" sont issues de la mise à jour de 2014 (EGIS, 2014).

*Tableau 45. Débits fréquents de l'Isère dans la traversée de Grenoble
(d'après EGIS, 2014)*

Période de retour de la crue	Pont de la Rocade Sud		Pont de la RN90		Pont de la porte de France	
	Etat Actuel *	Etat Projet	Etat Actuel *	Etat Projet	Etat Actuel *	Etat Projet
200 ans	1540	1247	1486	1242	1472	1242
100 ans	1383	1235	1352	1228	1303	1226
30 ans	1183	1210	1145	1206	1143	1204
10 ans	946	915	944	913	943	913

* sans brèches

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Rapports

Référence	Source(s)
SOGREAH (1971)	«Etude de rentabilité économique des travaux de protection contre les crues dans l'agglomération Grenobloise», SOGREAH, Rapport n° 10 729, Avril 1971. MOA : DDE 38
SOGREAH (1976)	« Etude des écoulements dans le Drac et des risques de débordement entre le Saut du Moine et l'Isère», SOGREAH, Rapport R 12 226, Mars 1976, MOA : Syndicat Drac-Isère
EDF (1980)	«Méthode SCHADEX de détermination des crues extrêmes - Guide du Chargé d'Études». Auteur : E.PAQUET, 15/05/2012, 48 pages, Réf : D4165/IT/2008-00192-A. MOA : EDF
SOGREAH (1991)	«Zones inondées par l'Isère entre Pontcharra et Grenoble», SOGREAH, Rapport n° 6 0331 R5, Mai 1991. MOA : DDE 38
SOGREAH (1999)	« Etude d'inondabilité du Drac et de la Romanche, rapport d'étude », SOGREAH, rapport 55 0438, novembre 1999, MOA : ADIDR
BURGEAP (2006)	«Mission de définition d'un schéma de remise en eau du Drac aval. Phase 1 : Etat actuel et analyse des effets de la remise en eau sur les milieux et les usages», BURGEAP - AGENCE DE LYON /ECOSPHERE/IDES Consultants, rapport n°RLy.2077 / A.16899 / CLyZo60757, 11/09/2006, MOA : Commission Locale de l'Eau Drac Romanche.
Agrestis, Hydrétudes, SAGE Ingénierie (2007)	« Schéma d'aménagement de la Romanche –Scénarios ». Rapport – Agrestis, Hydrétudes, SAGE Ingénierie – Octobre 2007. MOA : SYMBHI
CIDEE (2007)	« Etude hydraulique pour la réduction de la vulnérabilité et des risques d'inondation sur la Gresse et le Lavanchon - PHASE 1 : Diagnostic ». Rapport (Octobre 2006) + Annexe (Janvier 2007). MOA : SIGREDA.
SOGREAH (2007)	« Elaboration de la phase AVP du Projet Intégré Isère amont - Etude hydrologique des affluents de l'Isère". SOGREAH, Rapport 4.12.0681 R2-RT1, Octobre 2007. MOA : SYMBHI
SOGREAH (2008)	« Elaboration de la phase AVP du projet intégré "Isère Amont" - Fascicule I- Travaux d'aménagement hydraulique". SOGREAH, Rapport 4.12.0681 R8, Février 2008. MOA : SYMBHI
HYDRETUDES (2008)	« Note hydrologique - Avenant pour scénario supplémentaires dans le cadre du Schéma d'aménagement de la Romanche », HYDRETUDES, rapport V4 - Réf. 06-026 dont annexe 5 : analyse de P. LEFORT (03-2009), 22 août 2008; MOA : SYMBHI
HYDRETUDES (2009)	" Etude hydraulique de la plaine de Bourg d'Oisans . Etude de l'aléa inondation". Rapport minute v1.2 Réf. 08-175; MOA DDE38
DDT (2010)	"Synthèse des événements historiques liés aux crues de la Romanche dans son secteur aval", Floralis - UJF Filiale, rapport DDT-SPR, Août 2010
SOGREAH (2010)	« Claix : affiche et prise en compte du risque inondation par le Drac », SOGREAH, rapport 1 74 1429 R1, août 2010, MOA : DDE38/SPR
SOGREAH (2011)	«Etude de Danger pour les travaux de mise en œuvre de la parade hydraulique à court terme des Ruines de Séchilienne et d'Aménagement de la moyenne et Basse Romanche », SOGREAH, rapport 1360902, avril 2011 ; MOA : SYMBHI
SOGREAH (2011)	« Analyse de la concomitance des crues du Drac et de la Romanche - Projet Séchilienne – Moyenne et Basse Romanche », SOGREAH, rapport 1360746 N3, septembre 2011 ; MOA :

SYMBHI

SOGREAH (2011)	« Analyse de la concomitance des crues du Drac et de la Romanche - Projet Séchilienne – Moyenne et Basse Romanche », SOGREAH, rapport 1360746 N4, octobre 2011 ; MOA : SYMBHI
EGIS EAU (2011)	« Etude d'Impact - Projet Séchilienne – Moyenne et Basse Romanche », EGIS EAU, Septembre 2011 ; MOA : SYMBHI
Dumas (2011)	« Influence des redoux dans la genèse des grandes crues alpines : cas de la dernière crue d'inondation de l'Isère à Grenoble en 1859 ». Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 24, n° 2, 2011, p. 147-158. Pour citer cet article, utiliser l'information suivante : ULRL : http://id.erudit.org/iderudit/1006108ar
SAFEGE (2012)	« Etude de détermination des volumes maximum prélevables globaux – Sous bassin versant du Haut Drac », SAFEGE, Rapport des phases 1 et 2, septembre 2012, MOA : Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA)
SAFEGE (2012)	« Etude de détermination des volumes maximum prélevables globaux – Sous bassin versant du Haut Drac », SAFEGE, Rapport de phase 3, septembre 2012, SAFEGE, MOA : Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA)
DDT (2012)	« Rapport de Présentation - Plan de Prévision des Risques Inondation de la Romanche aval », EGIS EAU, Juin 2012 ; MOA : Direction Départementale des Territoires 38 – Service Prévention des Risques
ARTELIA (2012)	« Le Drac entre Pont de Claix (Pont Lesdiguières) et Grenoble (seuil ILL), expertise de l'état des îlots et de la végétalisation dans le DPF du Drac », ARTELIA, rapport 8 41 0055, juin 2012, MOA : DDT38/SPR
SOGREAH (2012)	« Etude de dangers de la digue de classe A du Drac », SOGREAH, rapport 1361045, novembre 2012, MOA : ADIDR
CLEDA (2012)	"Dossier d'enquête publique portant sur le projet de SAGE Drac Amont – Juin 2012" RAPPORT D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DU SAGE DRAC AMONT. Document réalisé par la Communauté Locale de l'Eau du Drac Amont (CLEDA) « Contrat de rivière Romanche » Rapport de synthèse du dossier définitif, Mars 2012. ULRL : http://www.drac-romanche.com/documents/documents_joints/crr_synthese_avec_annexes.pdf "Schéma directeur de prévision des crues du bassin Rhône-Méditerranée - Schéma approuvé par l'arrêté n° 11-382 du 20 décembre 2011 du Préfet coordonnateur du bassin Rhône-Méditerranée", Janvier 2012
ARTELIA (2013)	« TRI Grenoble-Voirion – cours d'eau Drac – Événements fréquent et moyen – Analyse de la documentation et du fonctionnement du bassin – modélisation de l'aléa & Cartographie », ARTELIA, rapport 8 41 0374 R1, septembre 2013, MOA : DDT38/SPR
ARTELIA (2014)	« Compléments cartographiques en rive gauche du Drac sur le secteur de Fontaine – Sassenage », ARTELIA, note 8 41 1057 R1, avril 2015, MOA : DDT38/SPR
ARTELIA (2014)	« Etude de dangers des digues rive droite du Drac en aval du barrage du Saut du Moine », ARTELIA, rapport 8 21 0229-C, juillet 2014, MOA : ADIDR
ARTELIA (2014)	« Îlots du Drac du Pont Rouge au seuil de l'ILL – études de faisabilité de leur traitement », ARTELIA, rapport 8 41 0643, Septembre 2014 ; MOA : DDT38/SSR
EDF (2014)	« Détermination du risque de crue extrême du Drac à FONTAINE (3577 km²) par la méthode SCHADEX ». Auteurs : DISS Stéphanie - ROUILLON Nicolas. EDF/DTG/CHA. Rapport EDF/DTG/CHA approuvé le 01/09/2014. 48 Pages. Réf : H-44200966-2013-000328.

EGIS (2014)	«Modélisation hydraulique de l'Isère dans le cadre de la maîtrise d'œuvre des Tranches 2 et 3 du projet Isère Amont - Rapport de synthèse hydraulique», EGIS, Rapport Version 1, Mars 2014.
ARTELIA (2015)	« Îlots du Drac du Pont Rouge au seuil de l'ILL – études de faisabilité de leur traitement », ARTELIA, rapport 8 41 1038, octobre 2015 ; MOA : DDT38/SSR
ARTELIA (2015)	« Cartographie TRI Drac – brèche presqu'île RD – modélisation hydraulique 2D », ARTELIA, rapport 8 41 1057 R3, octobre 2015 ; MOA : DDT38/SSR.
EDF (2016)	«Détermination du risque de crue extrême du Drac au barrage de MONTEYNARD (2031 km ²) et au barrage de NOTRE-DAME-DE-COMMIERS (2054 km ²) par la méthode SCHADEX», Rapport EDF/DTG/CHA approuvé le 12/02/2016. Auteur : ROUILLON Nicolas. 84 Pages. Réf. : H-44200966-2015-000341. MOA : EDF.
	Documents associés : Rapport ARTELIA : Détermination du risque de crue extrême du Drac au barrage de MONTEYNARD (2031 km ²) et au barrage de NOTRE-DAME-DE-COMMIERS (2054 km ²) par la méthode SCHADEX – Réf : 1741534 – Février 2016

Articles, mémoires

Référence(s)	Source(s)
Gentil (1857)	Renseignements et notes sur le bassin de l'Isère. Mai 1857. Ingénieur GENTIL. Archives départementales de l'Isère
Pardé (1925) - réédition 2004	Le Régime du Rhône. Etude hydrologique, Université de Lyon, Institut des Etudes Rhodaniennes, 1925, 2 vol. in-8°, xiv+887 et 440 p., 117 fig. Voir également : Le calcul des débits du Rhône et de ses affluents. Grenoble, Bibliothèque de l'Institut de Géographie alpine, 1925, in-8°, 168 p.
Pardé (1942) - réédition 2004	Pardé (1942) : Quelques nouveautés sur le régime du Rhône - Avec le sous-titre "erratum et addendum à un gros ouvrage". Mémoires et documents de l'Institut des Etudes Rhodaniennes de l'Université de Lyon, I, Lyon, M. Audin, 1942, 1 vol. in-8°, 200 p, y compris 14 tableaux annexes, 1 fig.
Pardé (1925)	Pardé M. Le régime du Rhône. In: Revue de géographie alpine, tome 13, n°3, 1925. pp. 459-547. URL : www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1925_num_13_3_4941
Pardé (1925)	Pardé M. Le régime du Rhône, Lyon, Etudes Rhodanienne, 1925 (réédition Lyon, Géocarrefour sous l'intitulé "Régime du Rhône (Le). Tome 1,2,3.", 2004).
Bouchayer (1925)	Auguste Bouchayer. Le Bassin du Drac. Revue de géographie alpine Année 1925 Volume 13 Numéro 3 pp. 549-621. URL : http://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1925_num_13_3_4942
Pardé (1928)	Pardé Maurice. Périodicité des grandes inondations et crues exceptionnelles. In: Revue de géographie alpine, tome 16, n°2, 1928. pp. 499-519. URL : http://www.persee.fr/docAsPDF/rga_0035-1121_1928_num_16_2_4457.pdf
Pardé (1929)	Pardé Maurice. Les crues de l'Isère et du Drac en septembre et octobre 1928. In: Les Études rhodaniennes, vol. 5, n°2-4, 1929. pp. 317-321. URL : http://www.persee.fr/doc/geoca_1164-6268_1929_num_5_2_6928
Pardé (1929)	Pardé Maurice. Les crues de l'automne 1928 dans le bassin de l'Isère. In: Revue de géographie alpine, tome 17, n°2, 1929. pp. 337-413. URL : http://www.persee.fr/docAsPDF/rga_0035-1121_1929_num_17_2_4493.pdf

- Pardé (1941) Pardé Maurice. La crue de septembre 1940 dans les Alpes du Nord. In: Revue de géographie alpine, tome 29, n°1, 1941. pp.107-132. URL : http://www.persee.fr/docAsPDF/rga_0035-1121_1941_num_29_1_4301.pdf
- Huguette (1969) Vivian Huguette. Les crues de l'Isère à Grenoble et l'aménagement actuel des digues. In: Revue de géographie alpine, tome 57, n°1, 1969. pp. 53-8 http://www.persee.fr/docAsPDF/rga_0035-1121_1969_num_57_1_3391.pdf
- Blanic (1974) L'aménagement de l'Isère et du Drac Son influence sur l'activité agricole et l'urbanisation dans les vallées autour de Grenoble. In : La Houille Blanche, N°3 (Mars 1974), pp. 181-197. <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1974/02/lhb1974016.pdf>
- Peiry et Nougier (1992) Le Drac dans l'agglomération de Grenoble : première évaluation des changements géomorphologiques contemporains. In : Revue de Géographie Alpine Année 1994 82-2 pp. 77-96. https://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1994_num_82_2_3752
- Djerboua (2001) Djerboua, A., 2001 : Prédétermination des pluies et crues extrêmes dans les Alpes franco-italiennes - Prévision quantitative des pluies journalières par la méthode des Analogues. Ecole Doctorale Terre Univers Environnement. Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble: 240 p.
- Cœur (2003) « La maîtrise des inondations dans la plaine de Grenoble (XVIIe-XXe siècle) : enjeux techniques, politiques et urbains ». Thèse soutenue en 2003 à l'Université Pierre Mendès France (Grenoble). 348 p. URL:http://hydrologie.org/THE/coeur/COEUR_Texte_Principal.pdf
- Cœur (2006) Cœur. D. (2006) - Les inondations de mai/juin 1856 en France : dommages et conséquences, SHF.
- Lang et al (2007) LANG, M., LAVABRE J., RENARD B., SAUQUET, E. - 2007. Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations. Update Sciences & Technologies, Lang, M., Lavabre J. (ed.), Editions Quae, Paris, Update Sciences & Technologies, 232 p. , <http://cemadoc.irstea.fr/cemoa/PUB00022991>
- Cœur (2008) " La plaine de Grenoble face aux inondations. Genèse d'une politique publique du XVIIe au XXe siècle", Denis Cœur, Versailles, Ed. Quare, 2008, 310 pages.
- Gottardi et al (2008) http://odel.irevues.inist.fr/climatologie/docannexe/file/647/7_gottardi.pdf
- Hingray et al (2009) Hingray, B., Picouet, C. Musy, A. 2009. Hydrologie 2. Une science de l'ingénieur. 12 Chapitres. 650p. Ed. Presses Polytechniques Universitaires Romandes, Lausanne.
- Gottardi (2009) Estimation statistique et réanalyse des précipitations en montagne. Utilisation d'ébauches par type de temps et assimilation de données d'enneigement. Application aux grands massifs montagneux français. Thèse de doctorat, INPG, 2009.
- CLouet (2011) Clouet, M. -2011-"Critère de vigilance crue sur le tronçon Drac aval", CLOUET Maxime, Rapport de stage de 2ème année 2010-2011 de ENSE³, Juillet 2011, DDT de l'Isère - Service Prévision des Crues Alpes du Nord.
- Garavaglia (2011) F. GARAVAGLIA : Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes. Méthodologie, applications, études de sensibilité. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2011b.
- MASSON et al. (2013) "Propagation de l'onde de submersion consécutive à la rupture des digues en milieu urbain – exemples de l'Isère et du Drac". Dignes Maritimes et Fluviales de Protection contre les Submersions, 2013 Version de la communication : soumise
- Lang et al. (2013) Prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et de crues (EXTRAFLO) - Tâche V : Diagnostic sur les méthodes de prédétermination Rapport V « Domaines d'application des méthodes de prédétermination des pluies et crues extrêmes » - Mars 2013 - 30

- pages. Irstea, Centre de Lyon HHLY. <https://extraflo.cemagref.fr/resultats/2-5-recommandations-pratiques-et-pistes-de-recherche/ExtraFloRapportV.pdf>
- Lang & Cœur (2014) Michel Lang, Denis Cœur, Les inondations remarquables au XXe siècle, Éditions Quae, 2014, 640 p.
- Penot (2014) Penot D. Cartographie des événements hydrologiques extrêmes et estimation SCHADEX en sites non jaugés. Thèse Soutenue le 17-10-2014. Université de Grenoble.
- Payrastre et al (2013) Olivier Payrastre, Eric Gaume, Hervé Andrieu. Information historique et étude statistique des crues extrêmes : quelles caractéristiques souhaitables pour les inventaires de crues historiques ?. La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2013, 2013 (3), pp 5-11.
- SPC (2017) CRUE DE L'ISÈRE ET DU DRAC DES 30 ET 31 MAI 1856. Renseignements et notes sur le bassin de l'Isère. Mai 1857. Ingénieur GENTIL. Archives départementales de l'Isère. Service de Prévision des Crues des Alpes du Nord. 44p.



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

PA Alpespaces – Bât Alpamayo

429, avenue Léonard de Vinci

73800 St HELENE DU LAC

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'entraîs

25, rue du Forest d'entraîs

05 000 GAP

Tél : 04.92.21.97.26

Fax : 04.92.21.87.83

contact-gap@hydretudes.com

Agence Dauphiné-Provence

4 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

58, bis chemin du chapitre

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 Lorian

97 410 SAINT PIERRE

Tél : 02.62.96.82.45

Fax : 02.62.32.69.05

contact-reunion@hydretudes.com

Pôle hydromorphologie

45 rue des Fontaines

64320 LEE

Tél : 05.64.27.02.76

contact@hydretudes.com

Note de présentation
2 - Annexes relatives aux aléas
2-4 bis: Bassins versants d'HYDRETUDES

Dossier d'approbation 2023

