

**Conseil Général du Var – Direction de l'Environnement
Service Rivières et Milieux Aquatiques
Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Nartuby**

**Crue du 15-16 juin 2010
Expertise post-crue**

Tome 1

Analyse hydrologique de la crue de juin 2010

P. Lefort

V. Koulinski

Sommaire

1. Introduction	3
2. Les pluies génératrices de l'événement.....	7
3. Chronologie de la crue -- déroulement de la crue	11
4. Débits maxima instantanés de la crue	18
5. Estimation de la période de retour des crues	24

1. Introduction

1.1. Présentation générale

L'expertise post-crue qui fait l'objet de la présente étude nous a été demandée par le département du Var et le Syndicat Intercommunal d'Aménagement de la Nartuby. Son but est de déterminer un programme de travaux hiérarchisés en fonction de l'urgence.

Le 15 juin 2010, des pluies orageuses d'une exceptionnelle intensité s'attardent sur les bassins versants des affluents de l'Argens autour de Draguignan et des Arcs : Aille, Florièye, Réal, Nartuby et plus localement Endre ; du Luc au Muy, des Maures aux reliefs calcaires de Comps à Vérignon, ce périmètre subit des pluies approchant ou dépassant 300 mm, et même 400 mm à Lorgues, Taradeau ou aux Arcs dans la seule journée du 15 juin; ces valeurs sont très supérieures au maximum de 200 mm enregistré jusqu'alors.

Maisons emportées ou dégradées, ponts détruits ou contournés, lits bouleversés, ripisylves arrachées, digues emportées, campings dévastés, inondations dépassant les niveaux des plans de prévention du risque inondation (PPRI) : l'excès des dommages témoigne à la fois de l'ampleur et de la rareté du phénomène qui a endeuillé ces vallées.

Mais cet excès conduit à s'interroger : les aménagements humains ont-ils aggravé les dommages ? Les voies de communication, l'habitat, les ouvrages hydrauliques, y compris ceux prévus pour se prémunir du risque inondation, ont-ils contribué à l'aggravation des dommages aux tiers et même aux pertes de vie humaines ?

La proposition des travaux de remise en état doit avoir pour préalable la compréhension des causes naturelles et celle des dysfonctionnements induits par l'homme. Des travaux engagés après la crue prématurément par des personnes privées, même ceux qualifiés plus ou moins sincèrement de « reconstruction à l'identique » peuvent reproduire des causes de désordres que seule une analyse globale révélera.

Il ne saurait donc être question d'ignorer les enseignements de ce désastre ; si son énormité ne permet pas d'envisager des solutions à tous les désordres constatés, elle facilitera l'analyse des dysfonctionnements liés aux actions humaines et permettra d'y remédier en proposant des travaux proportionnés à la gravité et à la fréquence du risque encouru.

Les différentes solutions de travaux seront préconisées en appréciant leur intérêt au regard des critères suivants :

Contraintes hydrauliques de non aggravation du risque.

Diminution de la vulnérabilité des usages et enjeux riverains.

Impact des travaux sur le fonctionnement des cours d'eau.

Compatibilité avec le SDAGE.

Compatibilité avec les documents de planification existants.

1.2. Déroulement de l'expertise

La reconnaissance du terrain s'est déroulée en deux étapes :

Réunion de démarrage de l'étude à Toulon le 2 septembre.

Reconnaissance du terrain et rencontre avec les élus au cours des deux premières semaines de septembre.

Achèvement des travaux de terrain durant la semaine du 13 octobre ; rencontre et échanges sur le débit maximum de la crue avec l'IFSTTAR, le Centre d'Etudes Techniques de l'Equipeement (CETE) et le Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) dans le cadre du « retour d'expérience » organisé par le Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI).

Travaux topographiques effectués par les cabinets Claret sur la Nartuby et Opsia sur l'Argens et la Florieye entre le 15 octobre et le 15 janvier 2011.

Présentation des premiers résultats de l'expertise au cours de deux réunions les 10 et 24 novembre.

Reconnaissances complémentaires la dernière semaine de décembre.

1.3. Plan du rapport

Le tome 1 présente une analyse hydrologique de la crue de juin 2010. Il analyse successivement :

Les pluies génératrices de l'événement aux pluviomètres et pluviographes.

L'estimation de la période de retour des précipitations.

La chronologie et les faits majeurs de la propagation de la crue.

L'estimation des débits maxima instantanés de diverses origines.

L'évaluation de l'ordre de grandeur de la période de retour des crues.

Le tome 2 décrit sur la Nartuby les dommages, analyse leurs causes et discute les solutions envisageables sur les sites étudiés.

Sur chaque rivière, nous effectuons d'abord une analyse des problèmes rencontrés, puis nous discutons l'ordre d'urgence de chacune des solutions et les variantes envisageables.

Pour les actions de première urgence, nous proposons enfin par commune une définition des travaux et chiffrons le coût probable de l'intervention à entreprendre.

Le tome 3 procède de la même manière sur les parties du cours de l'Argens et sur les affluents touchés par la crue

1.4. Documents consultés

1) 1929 - Profil en long Argens – Documentation IGN

2) 1934 – Profil en long Nartuby - – Doc IGN

3) 1949 - Profil en long Aille - – Doc IGN

4) 1951 – Couverture photo IGN basse vallée Argens -

5) Juillet 1968 – Etude de l'empiètement et des ouvrages de l'autoroute A8 sur l'Argens et ses affluents – SETRA – SOGREAH

6) Janvier 1970 – Etude hydrologique et hydraulique des débordements de l'Argens dans les étangs de Villepey – Port de Saint Aygulf – SOGREAH

- 7) Juin 1974 – Déviation du CD 25 – Etude Hydraulique du franchissement de la Nartuby – DDE 83 - SOGREAH
- 8) Octobre 1977 – Délimitation des zones inondables de la basse vallée de l'Argens – SOGREAH
- 9) Septembre 1983 – Aménagement de la zone industrielle de Saint Hermentaire - DDE 1983
- 10) Décembre 1991 – Protection contre les crues de la basse vallée de l'Argens : analyse coûts/avantages de mesures de protection – Département du Var - SCP
- 11) Décembre 1996 – Etude des zones inondables de la Nartuby à Draguignan – ville de Draguignan – SOGREAH
- 12) Janvier 1997 – Erosion des berges de l'Argens en aval du Gué Romain – CMESE, secteur de Fréjus – P. Lefort
- 13) Novembre 1997 – Etude des zones inondables de la Nartuby à Trans – ville de Trans – SOGREAH
- 14) Août 1998 – Aménagement de la Nartuby : ponts d'Aups et de Lorgues – ville de Draguignan - SOGREAH
- 15) Décembre 1999 – Etude hydraulique sur la basse vallée de l'Argens – DDE 83 - BCEOM
- 16) Janvier 2001 - Etude des inondations sur le bassin versant de la Nartuby et des possibilités de maîtrise du phénomène – SIVU de la Nartuby – BCEOM
- 17) Juin 2005 – PPRI Trans – note de présentation – DDE 83
Juin 2005 – PPRI Draguignan – note de présentation – DDE 83
- 18) Décembre 2007 – Inondations du Caramy, du Riautord et de la Florièye : base documentaire de repères de crue historiques – DDE Var – Nouveaux Territoires
- 19) Avril 2010 – PPRI TARADEAU –Présentation (projet) - DDTM 83
- 20) Juin –juillet 2010- Revue de presse Var-Matin
- 21) Juillet 2010 – Expertise des berges de l'Argens suite aux inondations des 15 et 16 juin 2010 – SIACIA – Egis eau
- 22) Juillet 2010 – Commune de Taradeau – PPRI Florieye - mission post crue – DDTM - SAFEGE
- 23) Août 2010 – Fonctionnement hydrologique et inventaire des zones d'expansion de crue du bassin de l'Argens (provisoire) – Département du Var - Aquaconseil
- 24) Août 2010 – Pont de la Motte sur la Nartuby : visite d'appuis immergés – Département du Var -TECH OFFSHORE
- 25) Septembre 2010 – Etude pour la reconstruction des ouvrages hydrauliques suite à la crue de Juin 2010 – Ville des Arcs - ERG
- 26) Septembre 2010 – Recueil des laisses de la crue du 15 juin 2010 sur les communes du Muy, Roquebrune, Puget, Fréjus – DDTM 83 – Egis eau
- 27) Septembre 2010 – Recueil des laisses de la crue du 15 juin 2010 sur les communes de Draguignan, Trans , la Motte, le Muy – DDTM 83 – Egis eau
- 28) Octobre 2010 - Retour d'expérience des inondations survenues dans le département du Var les 15 et 16 juin 2010 – Mission Interministérielle - M. Rouzeau, X. Martin, J.C. Pauc
- 29) Octobre 2010 – Données Météo France – Pluies journalières maxima annuelles ; pluies horaires juin 2010 ; images radar
- 30) Novembre 2010 – Synthèse débits crue juin 2010 (provisoire) - LCPC
- 31) Novembre 2010 - Dimensions des ouvrages hydrauliques A8 – ESCOTA

- 32) Novembre 2010 – Fonds de plans et profils en travers Nartuby au Muy et Argens aval, aimablement communiqués par OPSIA
- 33) Novembre 2010 – Quantiles pluies SHYREG région Draguignan – contribution CEMAGREF AIX en Provence
- 34) Novembre 2010 – les inondations du 15 juin 2010 dans le Centre Var : réflexion sur un épisode exceptionnel – Claude MARTIN, études de Géographie Physique, n° XXXVII, 2010, p. 41-76
- 35) Novembre 2010 – Données banque HYDRO : débits et jaugeages
- 36) Novembre- janvier 2011 - Levés topographiques SIAN – Cabinet CLARET
- 37) Décembre–janvier 2011 – Levés topographiques Département du Var - OPSIA
- 38) Février 2011 – Site « Pluies extrêmes Météo France en France métropolitaine »- Division Climatologie de Météo-France

2. Les pluies génératrices de l'événement

2.1. Répartition spatiale

Météo France nous a communiqué les images permettant d'apprécier la répartition des précipitations dans l'espace à partir du radar de Collobrières sur un fond de plan représentant les limites communales et le cours de l'Argens.

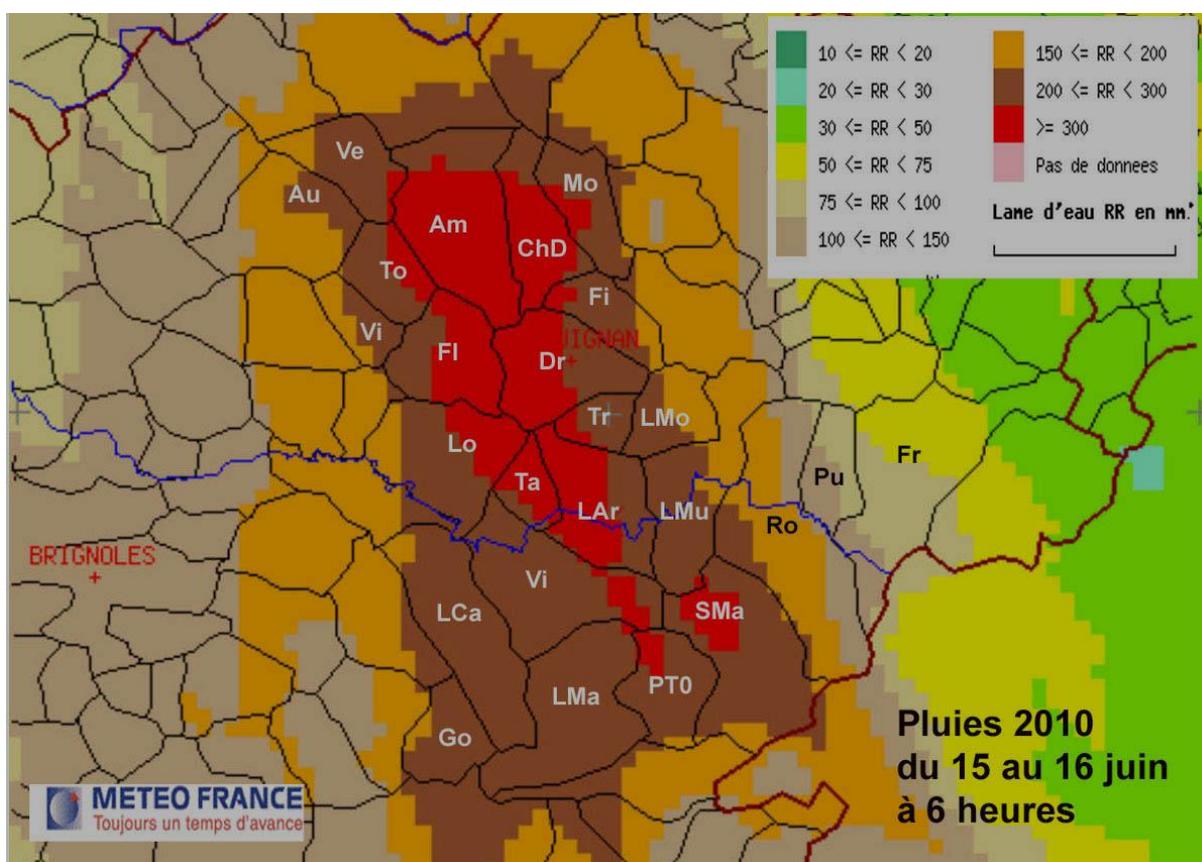


Fig. 1 Pluviométrie radar sur 24 heures

Cette image est bien corroborée par les données recueillies par Météo France et des observateurs amateurs entre le 15 juin et le 16 juin à 8 heures légales, que nous rassemblons dans le tableau page suivante.

On remarque tout d'abord l'écart entre les précipitations relevées d'une part à Comps Canjuers au sud de la commune et en limite du bassin de la Nartuby (305 mm) et d'autre part à Comps Enterran plus au nord.

La pluie de 460 mm relevée à Lorgues a été observée sur la partie Est de la commune sur le bassin de la Florieye. Un peu plus au nord, un observateur amateur a relevé un cumul de

448 mm entre le 13 et le 20 juin : la fourchette affichée sur le tableau est calculée en déduisant les pluies journalières observées aux postes proches pour la même séquence, hormis le 15 juin.

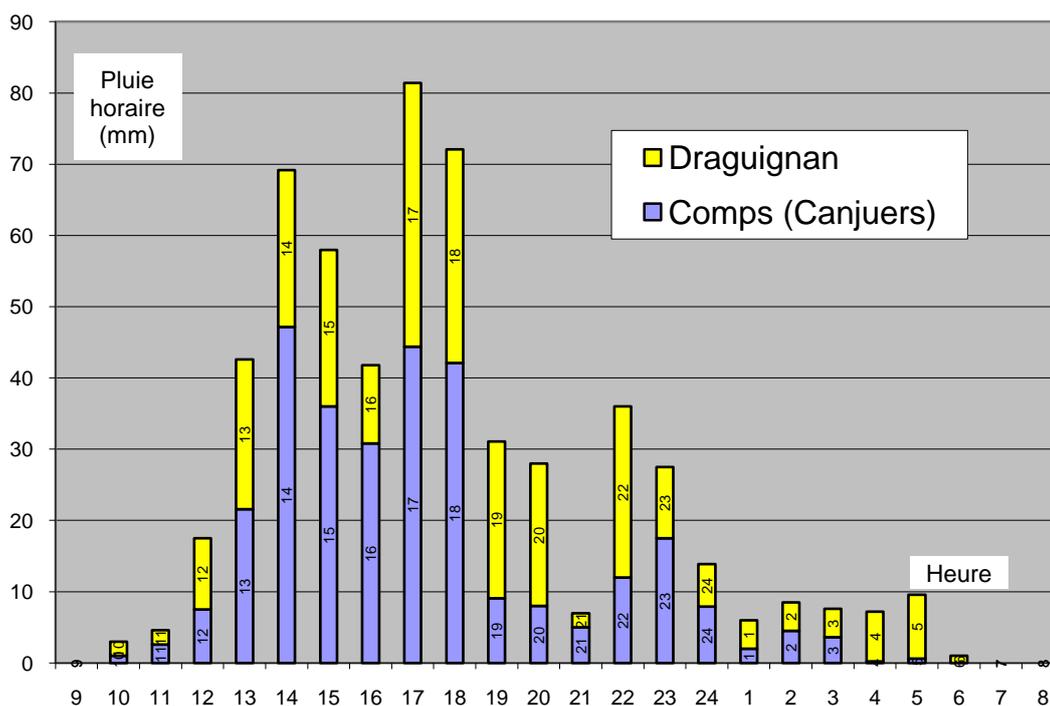
Les valeurs observées aux Arcs, Taradeau, Lorgues, Flayosc tendent à situer le paroxysme des pluies dans l'alignement de ces postes, ce qui correspond au bassin de la Florieye et en deuxième lieu au bassin du Réal. Mais l'image radar incite à la prudence : l'absence de mesures sur Ampus et Châteaudouble ne permet pas d'exclure des valeurs proches des maxima ci dessus sur une partie de ces communes.

Tableau - Pluies journalières du 15 au 16 juin à 8 heures légales

Côté Ouest		Côté Est	
Aups (alt .497)	168	Comps Enterron (alt.892)	237
Régusse (alt.603)	128	Comps Canjuers (alt.83)	305
Vérignon (alt.839)	248	Figanières (alt.310)	242
Entrecasteaux (alt.83)	199	Draguignan (alt.172)	270
Montfort (alt.144)	146	Flayosc (alt.)	390-430
Cabasse (alt.171)	207	Lorgues (alt.83)	460
Le Luc (alt.80)	286	Taradeau (alt.83)	386
Gonfaron (alt.151)	210	Les Arcs (alt.83)	397
Collobrières (alt.128)	137	Vidauban (alt.83)	290

2.2. Hyétogrammes du 15 juin 2010

Les hyétogrammes ci dessous donnent la répartition horaire des précipitations le 15 juin 2010 aux pluviographes les plus arrosés.



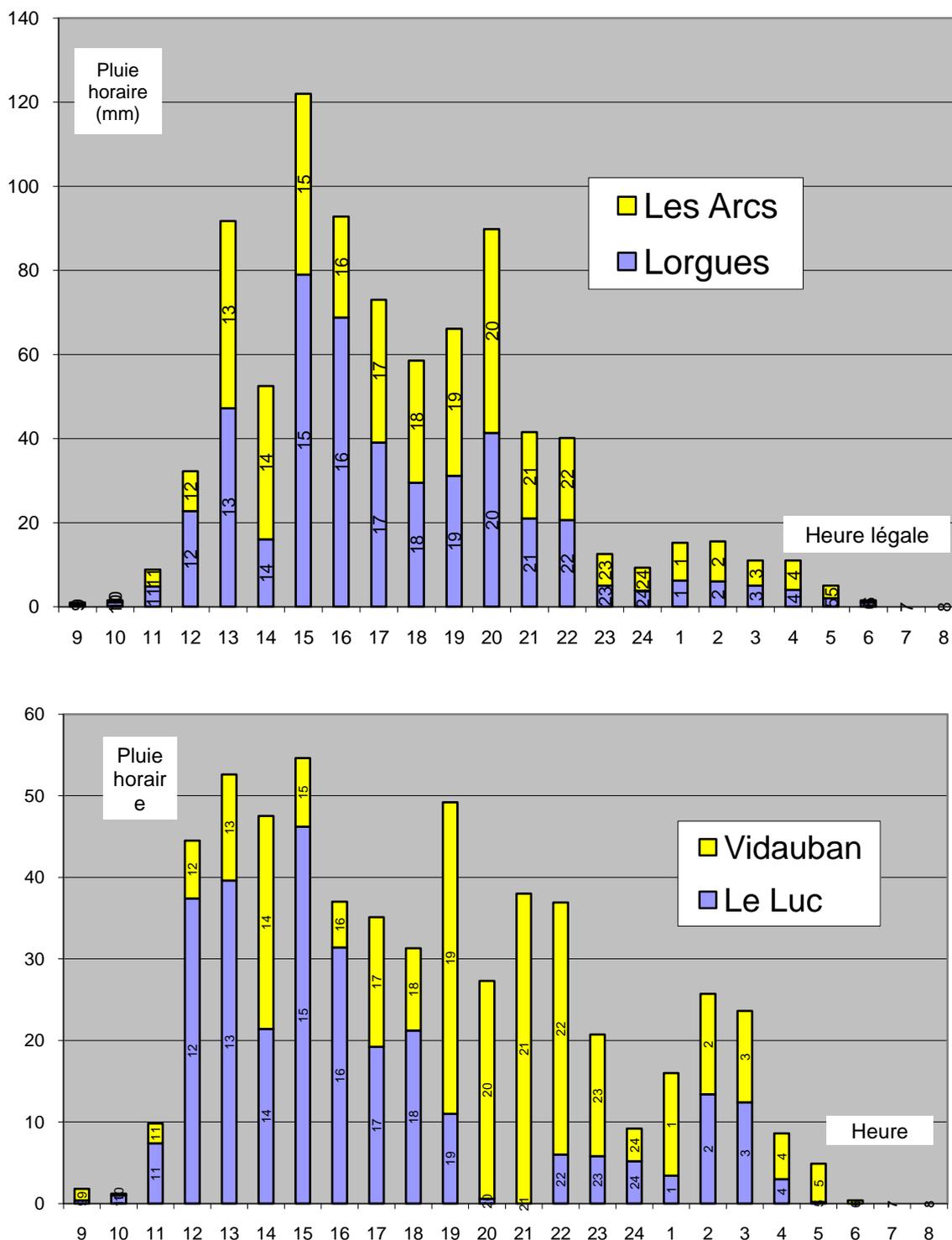


Fig. 2 – Hyétogrammes des postes pluviographiques les plus arrosés

L'association des pluviographes sur chaque graphique permet d'éclairer l'analyse :

Le graphique Comps – Draguignan rend plutôt compte des précipitations sur la Nartuby, sauf si les pluies maximales de l'ordre de 400 mm constatées des Arcs à Flayosc se sont étendues vers la commune d'Ampus, ce qui est possible, mais non mesuré. On remarque que la forte pluie cesse à 18 heures à Comps, tandis qu'elle se prolonge jusqu'à 22 heures à Draguignan, comme d'ailleurs aux Arcs, ce qui a maintenu le débit maximum et retardé la décrue jusqu'à minuit sur les communes de Draguignan et Trans.

Le graphique les Arcs – Lorgues représente plutôt les précipitations sur la Florièye. Sur cette rivière comme sur le Réal, les pluies restent extrêmes jusqu'à 20 heures et ne redeviennent « normales » qu'à partir de 22 heures.

Le graphique Le Luc-Vidauban rend compte des pluies sur l'Aille. On constate que la pluie a cessé vers 18 heures au Luc, en amont du bassin, tandis qu'elle a été maximum de 19 à 23 heures au pluviographe de Vidauban situé très en aval sur le bassin : il y a donc eu concomitance des apports liquides amont et aval, ce qui a dû accroître fortement le débit instantané maximum de l'Aille.

Une approche complémentaire de la chronologie des précipitations peut être faite à partir de l'image radar en découpant les précipitations par tranches de 3 heures.

De 14 H à 17H, les très fortes pluies (supérieures à 100 mm en 3 heures) s'étendent sur la quasi-totalité des communes d'Ampus, Châteaudouble, Flayosc et Taradeau, sur la moitié ouest des communes de Draguignan et des Arcs et la moitié est de Lorgues.

De 17H à 20H, l'image montre la persistance des très fortes pluies sur une bande étroite entre Taradeau et les Arcs, mais aussi en bordure ouest de la commune d'Ampus au nord. Cette bande se prolonge au sud à l'est de Vidauban sur le Nid du Faucon (pluviographe de Vidauban) et jusqu'au Plan de la Tour. Entre 20 H et 23 H, seules les extrémités sud des communes du Muy et Ste Maxime sont concernées par les pluies supérieures à 100 mm en 3 heures.

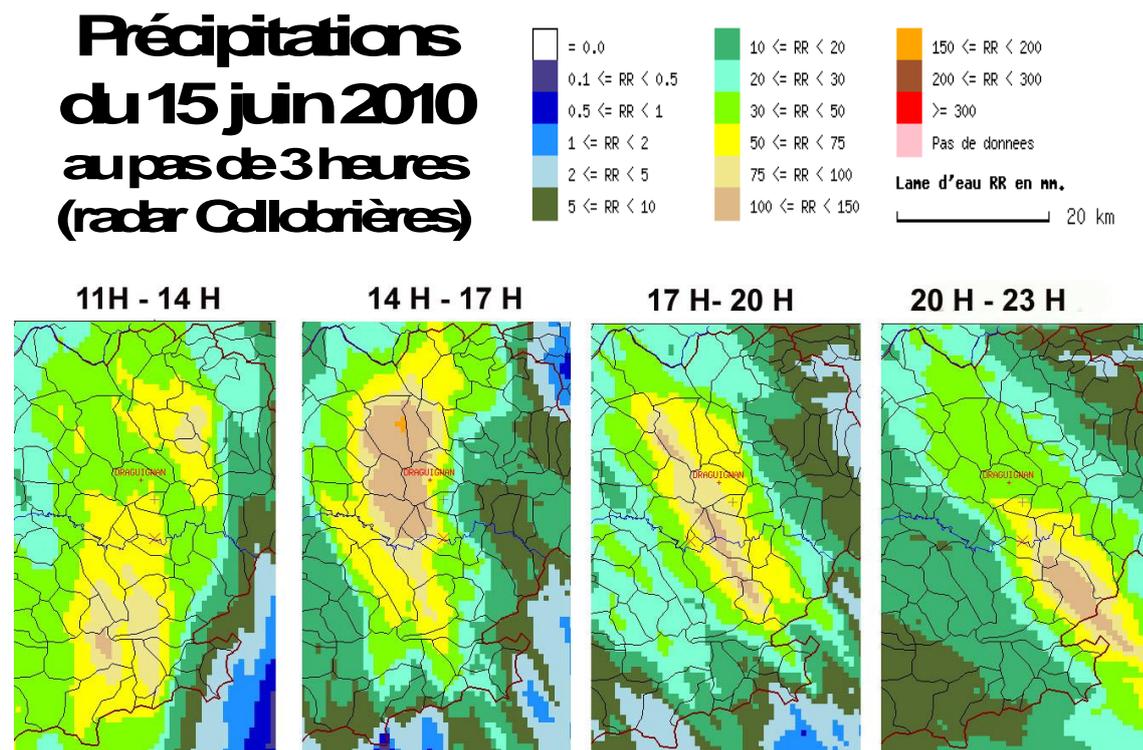


Figure 3 – Pluies le 15 juin au pas de 3 heures (heure légale)

Les spécialistes de l'imagerie radar pourront critiquer et en tout cas affiner cette analyse : il serait intéressant en particulier de confirmer ou infirmer l'hypothèse de très fortes intensités sur l'Ouest de la commune d'Ampus, intensités dont aucune observation de pluie n'a pu rendre compte. On verra plus loin que cette hypothèse rejoint l'observation des écoulements, ceux ci ayant été jugés par nous les plus violents sur la Nartuby d'Ampus et décroissants d'Ouest en Est.

3. Chronologie de la crue : analyse des informations recueillies sur le déroulement de la crue

3.1. Argens en aval de Carcès

Bassin versant : 1180 km²

Débit écoulé (m³/s) les 15 et 16 juin 2010 sur l'Argens en aval de Carcès :

5H25	9H56	12H52	15H15	17H15	20H43	01H27	03H55	12H38	20H42
4	12	27	50	102	115	106	115	85	56

La contribution du bassin versant amont à la crue du 15 juin est négligeable : environ 100 m³/s, valeur largement inférieure à la précision des estimations sur l'Argens aval.

La Circonscription Electrique, chargée de l'exploitation des stations de jaugeage à l'époque, a exploité de 1933 à 1966 (doc.5) une station de jaugeage au barrage d'Entraigues situé en amont de Vidauban (bassin versant : 1542 km²) ; une enquête plus approfondie sur ce site géré par EDF permettrait peut être de déterminer la part prise par le bassin intermédiaire et notamment la Bresque aval dans la genèse de la crue.

3.2. Florièye à Taradeau

Montée des eaux le 15 juin en fin de matinée.

Il semble que le contournement du pont de Taradeau se soit produit vers 16 heures. La brèche de 55 m en rive droite a ensuite abaissé les niveaux amont.

L'heure du débit maximum est difficile à estimer, en raison de la rupture du remblai et de la brèche de 55 m en rive droite qui a abaissé énormément les niveaux en amont et déplacé le lit en aval. La Florièye semble être le cours d'eau qui a réagi le plus vite et le plus fort ; cette appréciation est corroborée par la présence sur son bassin versant de deux des trois stations pluviométriques les plus arrosées : Taradeau et surtout Lorgues.

Pluies horaires le 15 juin 2010 à Taradeau et Lorgues (heures légales)

Heure	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Taradeau	15.4	39.8	28.2	65.6	41	33	26.2	35.6	33	11.4	13.8	5
Lorgues	22.7	47	16	79	69	39	26	31	41	21	21	5

Cumuls à partir du 15-06 à 4 H

Heure	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Taradeau	24.2	64	92.2	157.8	198.8	231.8	258	293.6	326.6	338	351.8	356.8
Lorgues	28	75	91	170	239	278	304	335	376	397	418	423

Les valeurs exceptionnelles de Lorgues sont validées par Météo France.

C. Martin rapporte que la crue de novembre 1907 a, sur la Florieye, emporté aqueducs et passerelles.

La crue de février 1974 a débordé et a été étudiée lors des études préalables à l'élaboration du PPRI.

Il est très probable que le débit maximum s'est produit après que le pont ait été contourné : le calcul de sa capacité est néanmoins utile pour obtenir une estimation par défaut du débit et juger de l'aménagement futur.

3.3. Argens aux Arcs

Bassin versant : 1654 km²

Vers 16 H, l'eau envahit la partie basse du camping. Cette montée ne peut provenir que des apports des bassins proches : Florièye et petits bassins dominant Vidauban. Aux Badiès C. Martin estime que l'Argens n'était pas loin de sa cote maximum à 20H30; selon les souvenirs familiaux de ce riverain, l'Argens n'a, depuis la fin du 19^{ème} siècle, jamais approché le niveau de juin 2010.

3.4. Real aux Arcs

Les « trombes d'eau » débutent le 15-06 à 12 H.

Pluies horaires et cumul (mm) le 15 juin 2010 aux Arcs (heures légales)

Heure	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Partiel	9.5	44.5	36.5	43	24	34	29	35	48.5	20.5	19.5	7.5
Cumul *	17.5	62	98.5	141.5	165.5	199.5	228.5	263.5	312	332.5	352	359.5

* A partir du 15-06 à 3 H

14 H Route du cimetière : la rivière est au niveau des bordures.

16 H 10 Le Real commence à arriver dans la rue du Saule.

16 H 20 L'eau sort à flot des rues du Saule et du Docteur Mourre. Des voitures emportées bloquent le virage.

16 H 30 Passerelle du Baou entre cimetière et jardin : 1/3 du chemin inondé ; le Real est monté de 3 mètres.

16 H 37 Parapet du pont et voûte rompus : vague sur places Paul Simon et Général de Gaulle. Eroulement d'une partie de la galerie du Real. Effondrement du mur derrière l'Office du Tourisme.

Aux Badiès entre l'autoroute et le confluent, C. Martin note une sensible élévation entre 18H30 et 20H30.

23 H La pluie cesse.

Sources : mémoire de M. Franck Dugas (1/07/ 2010) ; données Météo France.

3.5. Aille

Nous n'avons pas de témoignage sur la chronologie de la crue de l'Aille. Une personne a été surprise et emportée au Luc par le ruisseau de Soliès à 17H43.

Une crue comparable se serait produite au Luc en 1915.

Pluie horaire aux pluviographes du bassin de l'Aille (heure légale)

Heures	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Gonfaron	34	41	10	23.5	3.5	5.5	26.5	1	0	0	3	6.5
Le Luc	37.4	39.6	21.4	46.2	31.4	19.2	21.2	11	0.6	0	6	5.8
Vidauban	7.1	13	26.1	8.4	5.6	15.9	10.1	38.2	26.7	38	30.9	14.9

Cumuls

Heures	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Gonfaron	75	116	126	149.5	153	158.5	185	186	186	186	189	195.5
Le Luc	51.8	91.4	112.8	159	190.4	209.6	230.8	241.8	242.4	242.4	248.4	254.2
Vidauban	13.7	26.7	52.8	61.2	66.8	82.7	92.8	131	157.7	195.7	226.6	241.5

* A partir du 15-06 à 3 H

Les pluies progressent d'ouest en est et donc de l'amont vers l'aval du bassin, de Gonfaron à la confluence distants d'une dizaine de kilomètres en ligne droite et d'une vingtaine en suivant le cours de l'Aille. Il y a donc eu une forte concomitance des apports amont et aval sur l'Aille, mais aussi des apports de l'Aille aval et du Couloubrier.

La hauteur maximum à la station de l'Aille a été observée à 18H35.

Le ruissellement sur l'aval de ces émissaires a été maximum vers 23 heures, et a donné au Muy un débit maximum après minuit.

3.6. Nartuby à Rebouillon (km IGN : 22.4)

Rupture du mur rive gauche en amont du pont à 14H30.

Premier débordement entre 15 et 16 heures.

Le pont obstrué déborde à 15H58 : le flot érode la chaussée d'accès en rive gauche et creuse un nouveau lit. Il semble que cette rupture ait déterminé en amont rive gauche un palier, voire une baisse, dans la montée des eaux.

Maximum à 17H30.

Début de la décrue à 18H30.

Fin de l'inondation à 21 H.

Le pluviographe de Comps/Artuby est situé à 6 kilomètres environ au sud sud-ouest du centre du village de Comps et donc à la limite amont du bassin de la Nartuby. Les pluies horaires et cumul ont été les suivants :

Heure	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Partiel	7.5	21.6	47.2	36	30.8	44.4	42.1	9.1	8	5	12	17.5
Cumul *	14.5	36.1	83.3	119.3	150.1	194.5	236.6	245.7	253.7	258.7	270.7	288.2

La station amateur de Figanières, située à l'est de Rebouillon de l'autre côté du versant a enregistré une pluie de 242 mm. La pluie journalière à Draguignan reconstituée a été de 270 mm.

3.7. Nartuby à la Clape (km : 20.6)

Inondation brutale à 16 heures.

Maximum vers 18 heures.

Fin de l'inondation à 22 heures.

Le seuil de prise d'eau maintient une chute et provoque l'accumulation des matériaux grossiers ; le relèvement des fonds limite la capacité et a créé une très forte inondation.

3.8. Nartuby au pont d'Aups (km : 18.0)

Décrue amorcée à 20H30 (d'après traces sur pont selon vidéo internet).

Une brèche existant avant la crue dans le remblai rive droite a été élargie au cours de la crue.

3.9. Nartuby à Draguignan Salamandrier (km : 15)

Premiers ruissellements sur versant nord (Malmont) vers 15h30.

Montée brutale des eaux au Salamandrier entre 17H et 17H30.

Maximum de ruissellement au col de l'Ange atteint à 17H30.

3H 15 - Route de Lorgues : la décrue est sensible.

3.10. Nartuby à Trans (km : 11)

La section en amont du seuil d'irrigation au confluent avec la Foux est celle où sont observés les premiers débordements.

Sous l'effet additionné du remblai de Carrefour au milieu de la plaine de la Nartuby, du remblai de la voie rapide (2x2 voies) et de la passerelle dite passerelle DECATHLON, les eaux s'étalent sur les terrasses rive gauche et rive droite en amont du centre historique de Trans.

Le centre ville de Trans est inondé à 17H45.

Une vidéo du Pont Vieux montre un écoulement sous le pont en régime critique c'est à dire non influencé par l'aval, ce qui permet l'évaluation du débit sous cet ouvrage.

Une photo prise probablement des locaux du SIAN montre que le parapet amont rive droite du pont est submergé et que le niveau dans l'avenue de la Gare en ce point est inférieur au niveau de la Nartuby.

Maximum selon un riverain vers 21 H.

Pont Vieux : baisse à partir de minuit.

3.11. Nartuby à la Motte

Le débordement est observé en rive droite à la Motte à partir de la prise de l'usine hydro-électrique ; il s'étend sur cette rive.

L'attaque de la berge rive gauche au droit du lotissement le Pigeonnier conduit à l'évacuation des habitants ; une maison s'effondrera le 16 au matin et plusieurs autres sont inhabitables.

3.12. Nartuby et Argens au Muy (km : 0)

Il serait tombé 300 mm au Muy (pluviomètre non localisé).

20H30- 20H45 Débordement en rive droite à l'amont du pont du CD25 ; la route submergée déverse et contourne en rive droite le moulin des Serres; mais une partie du débit emprunte le CD25 et envahit les lotissements à l'entrée du Muy.

19H30 – Rue principale (ancienne N7) : l'eau envahit la maison du côté Argens, puis côté N7, c'est à dire côté Nartuby.

2H30 – Pic de crue.

3H00 – Baisse du niveau de la hauteur d'une marche.

La comparaison des laisses de crue indique que, du côté sud de l'ancienne N7, c'est à dire côté Argens, la crue de 2010 a une hauteur excédant de 1.7 m à 2.0 m la crue de 1959, plus forte crue connue jusqu'alors.

3.13. Argens au pont de Roquebrune

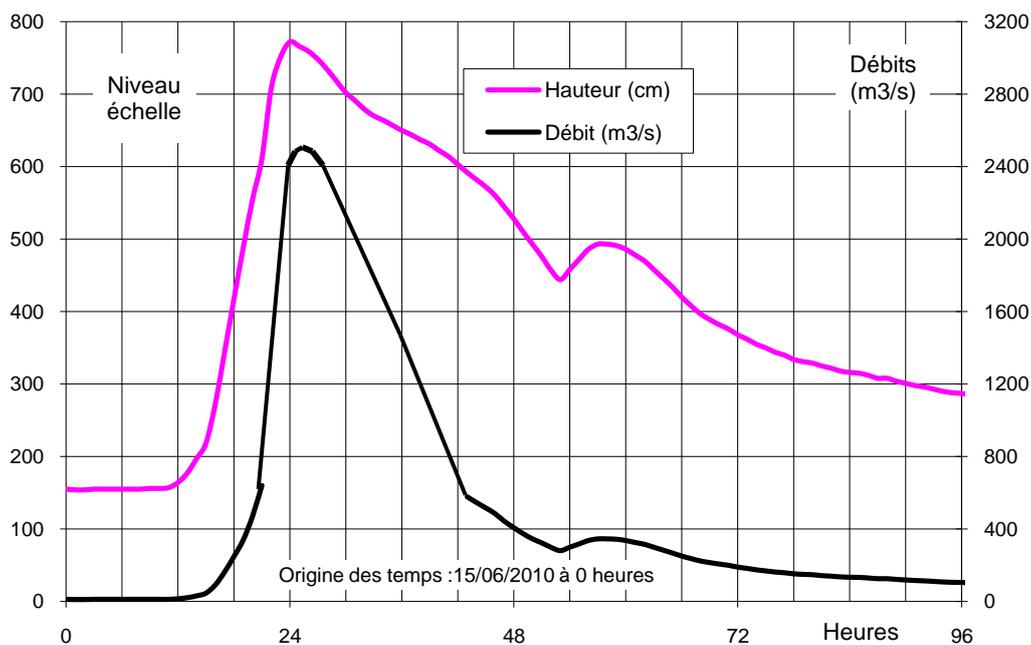
Une trentaine de personnes ont été coincées sur le pont de Roquebrune à 22 heures, le courant étant devenu trop fort sur la route en rive droite pour rejoindre le village ; elles ont pu rejoindre le village au matin en passant par la plaine en bateau à moteur.

Le village aggloméré de Roquebrune est concerné par l'inondation à 0H15 (légale).

Le niveau maximum est observé à la station de jaugeage au droit du pont le 16 à 0 heure UTC, soit 2 heures légales, soit avant le maximum au Muy, avec une cote de 7.72 m, cote à rattacher au NGF avec le nivellement du zéro. L'échelle était en 1976 implantée à 300 m en aval du pont et son zéro était calé à 6.32 NGF.(source Sogreah).

Les services techniques de la ville estiment que le maximum a été observé à 2 heures. Il y a donc une certaine contradiction entre le constat au Muy et à Roquebrune, la distance entre les deux points étant de 8 km. L'anomalie constatée de la propagation peut avoir trois causes :

- L'imprécision de la mesure du temps est fréquente avec les enregistrements papier, mais elle est négligeable avec les enregistreurs actuels.
- Le décalage entre le débit maximum et le niveau maximum au Muy (niveau maximum postérieur au débit maximum) est probable, en raison de la raideur de l'onde de crue en regard de la modération de la pente de l'enveloppe des niveaux maxima. Ce phénomène est classique dans les rivières de plaine.
- La décrue de l'Endre, rivière offrant peu de zones inondables et donc en avance sur les autres.
- Le décalage entre niveau maximum et débit à Roquebrune est inverse du précédent (débit maximum postérieur au niveau maximum, en raison des ruptures de digues en rive droite et surtout en rive gauche, du côté du lac de l'Arena). Les brèches dans la digue du domaine de Palayson (digue Bourne) se seraient abaissées progressivement, ce qui aurait plus que compensé la croissance du débit, ralentie alors près du maximum. Si cette dernière hypothèse est exacte, il a pu en résulter l'addition à un débit croissant du débit provenant de la vidange du lac de l'Arena, ce qui a accéléré la montée en aval rive gauche.



Hauteur à l'échelle de Roquebrune les 15 et 16 juin – débits hypothétiques

En descendant en rive droite vers l'aval, l'inondation est maximum à la ferme le Verteil, en amont du seuil du Gué Romain (laisse N° 102 = 8.17) le 16/06 à 2 heures ; la baisse est observée à partir de 3 heures; elle est de 0.20 m à 5 heures. Il est tentant d'attribuer cette baisse prématurée à la rupture des digues sur la rive opposée, ce qui corroborerait l'incidence de la rupture des digues au lac de l'Arena sur le niveau au limnigraphe, mais pourrait également résulter de l'effacement des digues autour du barrage du Béal.

En aval, en rive droite de l'Argens et du Fournel (quartier du Bas Fournel), l'inondation survient brutalement le 16/06 vers 3h00 - 3 h30 (laisse N°119 = 5.45) .

3.14. Argens au Puget

L'inondation survient (laisse N°101 = 8.96) à l'ancienne Tuilerie du Puget à 1 heure du matin ; auparavant un « débord » lent a été constaté provenant du lit mineur de l'Argens 30 à 45 minutes avant une montée extrêmement brutale en quelques minutes. Cette observation très fine des riverains s'explique comme suit : le premier débord est dû au refoulement du Béal, le débord suivant brutal résulte des ruptures en série des digues au lac de l'Arena (digue Bourne), des brèches proches du barrage du Béal et de la digue du Béal et à la Tuilerie même.

Le maximum rive gauche a été observé à 2 heures, mais à 5 heures du matin la baisse du niveau n'était que de 20 cm et de 80 cm à 17H50 : la rupture des digues semble avoir avancé l'heure du débit maximum par rapport à l'observation du limnigraphe, ce qui corrobore notre analyse précédente.

3.15. Argens à Fréjus

A 2 heures, à la limite des communes de Puget et Fréjus, le bruit d'un flot s'écoulant en plaine est beaucoup plus fort que celui du « débord » habituellement perçu lors d'une inondation de l'Argens.

A la Gaudine, l'eau monte à partir de 3 heures du matin.

A 4 heures, la zone industrielle de la Palud est atteinte par le refoulement des eaux de l'Argens ; le niveau maximum sera atteint à 9 H (laisse N°109 : 5.31) ; l'inondation cesse à 16 heures.

Les terrains entourant les étangs de Villepey sont encore secs à 3H30; mais à 4 heures, le camping à la ferme (laisse N°140 : 4.15) en bordure du chemin des Etangs est submergé par 1.5 m d'eau. Le maximum est atteint à 4H30 avec une hauteur atteignant 2.38 m. La décrue s'amorce à partir de 11 heures. L'eau finit par se retirer le 17/06 à 9 heures.

Un peu plus en aval, au camping le Provençal (laisse N°143 : 3.70), le maximum est observé le 16/06 à 10 heures.

En aval du pont de la RD 1098, au camping de Pont d'Argens, le débordement a débuté le 16/06 à 3H15 et la montée s'est poursuivie jusqu'à midi (laisse N°152 : 2.57). La montée des eaux relativement lente au camping de Pont d'Argens en aval rive droite de la D 1098 contraste avec la rapidité de la montée dans la plaine amont des étangs de Villepey.

La D 1098 a été inondée sur une grande partie de sa longueur entre le pont d'Argens et le pont de la Galiote (laisse N°155 : 3.07).

Près du débouché du pont de la Galiote, le niveau maximum a été atteint vers 10H30 – 11H au camping de Saint Aygulf-plage (laisse N° 156 : 2.91) ; la perte de charge au pont de la Galiote a donc été de l'ordre de 2.60 m.

3.16. Figanières

Vers 17 heures en 4 ou 5 minutes, les eaux sont montées de plus de 1 mètre.

4. Débits maxima instantanés de la crue

4.1. Introduction

Le débit maximum d'une crue en un lieu donné est le paramètre essentiel des études de prévision et d'aménagement, car il détermine le niveau maximum et le plus souvent les vitesses maxima d'écoulement. Les stations de jaugeage permettent de déterminer le débit des basses eaux et moyennes eaux, mais elles sont incertaines lors des crues, car celles ci sont brèves et n'autorisent que rarement les jaugeages validant la relation hauteur-débit appelée courbe de tarage; c'est encore plus vrai pour les rivières et torrents méditerranéens.

Pendant la crue de juin 2010, trois stations sur les cinq existantes ont été détruites ou noyées : Rebouillon et Trans sur la Nartuby, les Arcs sur l'Argens. La station de Roquebrune a fonctionné, mais le débordement et la rupture des digues de part et d'autre de la station rend illusoire l'extrapolation de la courbe de tarage, celle ci n'étant connue que jusqu'à 500 m³/s. Sur l'Aille, les jaugeages existants concernent des débits faibles qui ne peuvent apporter de contribution à l'extrapolation.

Le calcul utilisant les lois physiques de l'hydraulique à surface libre est alors le seul recours; deux méthodes employées séparément ou conjointement sont possibles :

Le calcul de remous sur plusieurs sections ou sur une seule si l'écoulement est uniforme, c'est à dire conserve sur une certaine distance une pente et une vitesse moyennes constantes. Ce mode nécessite le levé d'un ou plusieurs profils en travers, la mesure des niveaux et de la pente à partir des laisses de crue encore fraîches. Mais il fait appel au choix d'un coefficient empirique dit de rugosité, ce qui nécessite une certaine expérience.

Le calcul de la perte de charge créée par une « singularité » de l'écoulement, en général un seuil ou un pont. C'est cette méthode que nous avons privilégiée.

En parallèle avec cette étude, les Services de l'Etat (Schapi, IFSTTAR, CETE) et des chercheurs universitaires (LTHE) ont conduit une action de « retour d'expérience » et obtenu par la première méthode l'estimation du débit maximum en de nombreux points.

Nous exposerons tout d'abord les résultats que nous avons obtenus, puis nous rappellerons la synthèse effectuée entre les différents intervenants, à partir des estimations de chacun. Les fiches de calcul sont reportées en annexe.

4.2. Nos résultats

Nous décrivons ci après les particularités de chaque site étudié et précisons quand cela est possible les coordonnées Lambert III et les cotes NGF des laisses exploitées; les données approximatives sont mises entre parenthèses. Les résultats sont synthétisés dans le tableau à la fin du chapitre.

4.2.1. La Florieye au pont de la RD 562

Méthode de calcul : calcul de remous en 5 sections.

Type d'écoulement : instable autour du régime critique sous et en aval du pont de la RD 562.

Localisation	Coordonnées	Lambert III	Cote maximum	Géomètre
Aval pont (proche)			132.59	Opsia

4.2.2. La Florieye au pont de Taradeau

Ce calcul évalue le débit écoulé sous le pont de Taradeau avant son contournement et non le débit maximum de la crue.

Méthode de calcul : régime critique avec contraction dans les différents orifices du pont, à partir des laisses relevées par SAFEGE.

Amont pont RG	930714	136417	69.28	Safege N° 22
Aval pont RG	930782	136365	67.51	Safege N° 18

Nous estimons la cote de charge en amont du pont à 49.50 ; à cette cote, le remblai de rive droite est largement submergé.

Incertitude : possibilité de variation des fonds sous le pont pendant la crue.

4.2.3. Le Réal aux Arcs

Calcul effectué à partir des mesures du Cemagref au pont SNCF des Arcs non rattachées au NGF.

Hypothèse de calcul : section pleine avec contraction à l'entrée ; niveau amont assimilé à la charge.

4.2.4. L'Argens à Vidauban

Calcul à partir de la forte perte de charge au pont SNCF de Vidauban.

Amont pont (100m)	931405	134637	52.64	Opsia
Aval pont (proche)	931547	134681	50.92	Opsia

D'importants embâcles ont pu réduire la capacité calculée de 10 à 20%.

4.2.5. L'Argens aux Arcs

Calcul en régime dénoyé sur le seuil du Pont d'Argens aux Arcs.

Amont échelle RG			41.66	Dreal - Opsia
Amont RD			42.50	Ginger
Aval camping RG	934706	135692	41.61	Opsia

Dans l'attente d'indications plus précises, on a admis une section du lit au droit de l'échelle composée de deux rectangles de 30 m à 36.0 NGF et 20 m à 39.0 NGF ; une majoration de la section minorerait le débit et vice versa.

La topographie des parties basses du seuil a été ajustée sur les jaugeages à bas débits les plus récents, l'accès du géomètre à ces points bas n'ayant pas été possible.

Le calcul s'ajuste parfaitement sur les jaugeages à moyen et fort débit. Pour l'évaluation du débit de la crue de juin 2010, les cotes observées au limnigraphe par la DREAL et sur la rive gauche opposée par Ginger révèlent un fort dévers de la surface libre, qui s'explique par la courbure en plan à faible rayon et par une vitesse moyenne supérieure à 4.5 m dans la section au droit de l'échelle.

4.2.6. L'Argens au Muy – pont autoroute A8

Calcul de la perte de charge sous les ponts Argens et ex-CD25 à partir des levés EGIS et du profil en travers de l'étude BCEOM 1999.

Amont pont (culée RD)	942390	138181	22.71	Egis Eau N°2
Aval pont (vers CD25)	941994	138253	22.12	Egis Eau N°3

L'estimation initiale et provisoire de ce site a été écartée, la cote amont pouvant donner lieu à des interprétations divergentes : la cote amont correspond-elle au niveau ou à la charge ?

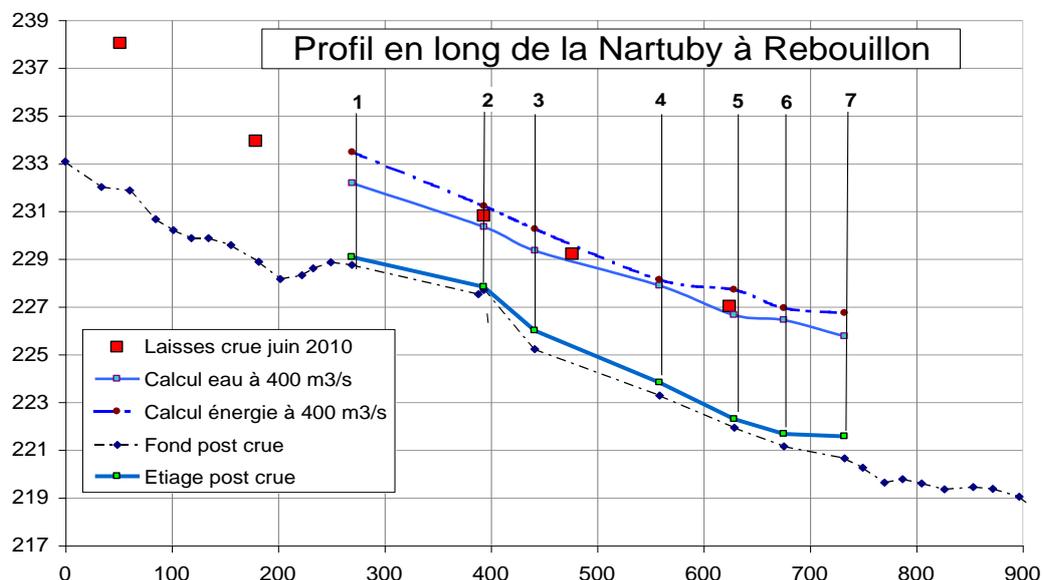
4.2.7. La Nartuby à Rebouillon

Le calcul de remous est basé sur cinq sections levées après la crue par le Cabinet Claret et calé sur trois laisses de crue EGIS EAU.

La 2^{ème} cote peut être afférente à la première montée des eaux à 16 heures, avant ouverture du nouveau lit en rive gauche.

Tableau - Coordonnées Lambert 3 des laisses de crue

Localisation	Coordonnées	Lambert III	Cote maximum	Géomètre
Amont RG	929944	150272	233.69	Egis Eau N°4
Amont pont	930014	150036	230.79	Egis Eau N°2
Aval pont RD	929956	149969	229.13	Egis Eau N°8
Amont étroit	929977	149834	227.0	Claret



Le débit est peu sensible aux variations de hauteur ; écoulement proche du régime critique.

4.2.8. La Nartuby à Pont d'Aups

Calcul de la perte de charge à travers le remblai de la voie ferrée, en additionnant l'écoulement fluvial sous les ponts et les écoulements critiques à travers les brèches du remblai; celles ci se sont élargies durant la crue.

Amont RD	931220	146331	187.67	Egis Eau N°31
----------	--------	--------	--------	---------------

Amont RD	-	-	187.30	Claret
Aval	-	-	185.90	Claret

4.2.9. La Nartuby à Trans

Calcul additionnant les écoulements sous les arches du Pont Vieux (écoulement critique dans sections contractées), sur l'avenue de la Gare en aval du Pont Vieux (calcul remous), en rive droite de part et d'autre de l'ancienne gare (écoulement critique), en rive gauche à l'impasse de Beaulieu près du CCAS (loi de seuil) et à l'extrémité de l'avenue du même nom.

Amont pont RD			148.45	Sur photo
RD pharmacie	935358	142201	147.94	Egis Eau N°126
RD 19, av. de la gare	935464	142173	147.97	Egis Eau N°127
RD, 13, av. de la gare	-	-	147.77	Egis Eau N°128
RD, 3, rue Nationale	-	-	147.10	Egis Eau N°133
RG, CCAS	935447	142.318	147.99	Claret

4.2.10. La Nartuby au Muy (CD25)

Calcul du débit sous le pont du CD25 largement contourné.

Amont route RG	-	-	33.81	Egis Eau N°9
Amont pont RD	941798	140097	34.32	Egis Eau N°10
Amont route RD	-	-	33.45	Egis Eau N°B
Aval pont RG	941977	140053	31.91	Egis Eau N°12

4.2.11. L'Argens à Roquebrune – pont autoroute A8

Calcul de la perte de charge sous le pont de l'Argens et sous les trois ponts-cadres de rive droite (loi de seuil d'après les essais sur modèle effectués lors de leur définition).

Localisation	Coordonnées	Lambert III	Cote maximum	Géomètre
Aval pont Argens (proche)			16.00	Opsia
Aval pont cadre N° 2	945989	138029	15.84	Egis Eau N°48
Amont pont cadre N°2	945970	138069	17.98	Egis Eau N°47
Amont pont cadre N°2	945969	138067	(17.32)	Opsia
Amont pont cadre N°1	946050	138119	17.67	Opsia
Amont pont principal			17.20	Opsia

Une possible sous-estimation des embâcles aux abords du pont sur l'Argens nous conduira à abaisser le bas de la fourchette.

4.2.12. Pont d'Argens (DN98) et pont de la Galiote à Saint Aygulf

Pont d'Argens : calcul dénivelée de l'amont au pont.

Pont de la Galiote : loi de seuil.

Autres débordement : ordre de grandeur.

Amont pont d'Argens (proche)	955010	132485	3.23	Egis Eau N°151
Aval pont d'Argens RG	955287	132978	2.54	Egis Eau N°150
Aval pont d'Argens (camping)	955338	132841	2.57	Egis Eau N°152
Reyran confluent Argens	955824	133070	1.87	Egis Eau N°154
Etang de Villepey (Macao)	955671	131604	3.07	Egis Eau N°155
Amont pont de la Galiote	955463	130984	2.91	Egis Eau N°156

4.2.13. Tableau synthétique

La définition des notations utilisées est la suivante :

Sbv : superficie du bassin versant (km²)

K : coefficient de Strickler

Cc : coefficient de contraction d'un pont ou d'un orifice.

M : coefficient de débit du seuil

Débit calculé : Qcal à partir des paramètres

Débit minimum : Qmin, valeur probable basse de la fourchette

Débit maximum : Qmax : valeur probable haute

Amax : ratio de comparaison des différentes mesures : $A_{max} = Q_{cal} / S_{bv}^{0.75}$

Rivière	Lieu	Sbv	K	Cc	M	Qmin	Qmax	Qcal	Amax
Florieye Lorgues	Pont D562	65	22 12			300	450	400	17.5
Florieye Taradeau	Capacité pont	87		0.7		340	490	410	> 14
Réal Les Arcs	Pont SNCF	31		0.7		125	160	138	10.5
Argens Vidauban	Pont SNCF	1645		0.7		950	1200	1190*	4.6
Argens Les Arcs	Limnigraphe	1654			0.4	950	1150	1057	4.1
Nartuby	Rebouillon	149	22 12			320	460	400	9.4
Nartuby Draguignan	Pont d'Aups					250	300	283	
	Remblai VF			0.3		100	160	160	
	Total	169				350	460	443	9.5

* Valeur surestimée : embâcle rive droite ignorée

Rivière	Lieu	Sbv	K	Cc	M	Qmin	Qmax	Qcal	Amax
Nartuby	Pont Vieux		24	0.80	0.30	350	410	404	
Trans	Av. de la gare					24	30	27	
	Rive droite					16	40	26	
	Rive gauche					20	50	27	
	Total	196				410	520	484	9.2

Nartuby Le Muy	Pont CD25	229		0.85		340	420	366	-
Argens A8 Roquebrune	Pont Argens Ponts cadre Total	2491	22-12	0.36		1900 500 2400	2300 600 2900	2150 580 2730	7.7
Argens Fréjus Saint Aygulf	Pont Argens Pont Galiote Route Total	2661	35	0.9	0.34	1100 670 50 1820	1400 900 200 2500	1254 780 100 2134	5.8

4.3. Synthèse des résultats obtenus

Parallèlement à l'analyse présentée ci dessus, les Services de l'Etat ont organisé une action concertée rassemblant les organismes compétents, notamment le SCHAPI, l'IFSTTAR (LCPC), le CEMAGREF et le CETE d'Aix en Provence..

Une synthèse des résultats, à laquelle nous avons été associés, a été effectuée les 31 janvier et 10 mars 2011; nous donnons ci dessous les résultats intéressant notre expertise.

Estimation des débits maxima instantanés de la crue de juin 2010

Rivière	Lieu	Superficie (km ²)	Débit minimum	Débit maximum
Nartuby	Rebouillon	149	300	460
Nartuby	Pont d'Aups	169	350	460
Nartuby	Trans Vieux Pont	196	360	520
Florieye	Lorgues D562	65	300	450
Florieye	Taradeau ville	87	380	600
Real	Les Arcs SNCF	31	125	160
Aille	Vidauban Baou	228	600	950
Argens	Les Arcs	1654	800	1200
Argens	Le Muy amont Nartuby	2058	1700	2500
Argens	Roquebrune	2500	2200	2900

5. Estimation de la période de retour des crues

5.1. Les études antérieures

5.1.1. Sur l'Argens

Etude Sogreah 1968

L'étude Sogreah 1968 des ouvrages hydrauliques de l'autoroute A8 présente les premières estimations des débits maxima annuels de l'Argens dont nous ayons connaissance. Cette étude est basée sur la méthode du gradex appliquée aux pluies journalières moyennes du bassin et sur les données et interprétations des stations de jaugeage de la 6^{ème} Circonscription Electrique d'Entraigues à l'amont de Vidauban et du Muy à l'amont du confluent avec la Nartuby. L'étude présente aussi une estimation sommaire du débit maximum annuel sur le Réal et le Blavet, franchis par l'autoroute.

Rivière	Lieu	Période observée	Bassin versant	Débit décennal	Débit centennal	Ratio A10 d'intensité
Argens	Entraigues	1933-1966	1542	460	975	1.87
Argens	Le Muy	1906-1944	2081	700	1580	2.27
Réal	Les Arcs	-	30	32	75	2.50
Blavet	Roquebrune	-	48	88	180	4.82

A Entraigues, le débit a été déterminé par le calcul du débit en régime dénoyé sur le barrage ; une étude du BRGM, citée par C. Martin (doc.34), a été publiée en 1971 et cite des débits journaliers toujours inférieurs à 100 m³/s. L'étude Sogreah avait revu le calcul de ces débits à partir de la géométrie du barrage. Le rapport Sogreah en donne une description qui, avec une visite de terrain, permettrait de contrôler son estimation. Il est possible aussi que l'on retrouve ces données à la Société du Canal de Provence qui les a exploitées peut être en 1991.

Les dates et débits des cinq plus fortes crues de la période 1933-1966 sont :

25 mars 1956	735 m ³ /s
18 décembre 1960	472 m ³ /s
2 décembre 1959	425 m ³ /s
20 décembre 1958	370 m ³ /s
21 novembre 1951	325 m ³ /s

Au Muy, les débits de la station, implantée au pont de l'ancien CD 25, ont été calculés à partir de la courbe de tarage extrapolée au delà de 60 m³/s et d'un calcul de remous effectué aux débits débordants pour le dimensionnement du franchissement autoroutier. Un échantillon de débits maxima annuels a été reconstitué sur la période 1906-1939, soit 34 ans, à partir des lectures ou des débits à l'échelle une ou parfois plusieurs fois par jour : les dates et débits des six plus fortes crues de la période de fonctionnement sont :

1923	1160 m ³ /
------	-----------------------

1919	700 m ³ /s
1933	580 m ³ /s
1914	475 m ³ /s
1925	470 m ³ /s
1920	470 m ³ /s

Le débit des petits affluents a été évalué à partir des pluies :

- Sur le Real, le débit maximum écoulé lors de la crue de septembre 1932, seule crue identifiée à l'époque, a été estimé égal à 65 m³/s pour une hauteur d'eau de 3.80 m à l'entrée de la couverture, soit sensiblement la moitié du débit de la crue de juin 2010. Une autre crue nous a été citée, datée de 1952 et qui a inondé le cinéma. On doit noter la concomitance de la crue de 1932 sur le Real avec la plus forte crue observée sur le Préconil à Sainte Maxime, dont nous avons estimé le débit maximum à 300 m³/s pour un bassin versant de 58 km².
- Sur le Blavet, l'enquête de terrain a permis d'identifier mais non de quantifier les crues de 1914, 1920 et 1923. La crue de 1959 est la plus forte connue sur ce cours d'eau ; son débit a été estimé inférieur à 150 m³/s.

La donnée la plus importante recueillie au cours de cette étude est la reconstitution de la crue de novembre-décembre 1959, survenue dans la basse plaine de l'Argens deux jours avant la rupture du barrage de Malpasset. Le rapport donne cette crue comme étant la plus forte survenue au 20^{ème} siècle et l'estime un peu inférieure à la crue centennale. Le calcul de remous effectué du Muy à Roquebrune a estimé que les niveaux de cette crue étaient correctement simulés avec les débits suivants : 1400 m³/s en amont de la Nartuby, 1680 m³/s entre Nartuby et Endre, 1820 m³/s en aval de l'Endre. A l'aide du profil en long, nous pensons aujourd'hui que le calage aurait été meilleur avec les débits respectifs de 1400, 1650 ,1700 m³/s.

L'importance de cette crue est à rapprocher de la publication récente par Météo France de données sur les pluies extrêmes : sur ce document internet (doc.38), il apparaît que les bassins de l'Aille et du Couloubrier ont été les pourvoyeurs principaux de la crue de 1959.

Ce rôle du bassin de l'Aille est corroboré par la nomenclature des crues sur le bassin du Préconil, qui jouxte le bassin du Couloubrier et est exposé aux pluies dans des conditions comparables à celles du bassin de l'Aille : les plus fortes crues connues sur le Préconil sont celles de 1932, 1959, 2009 et 2010. On retrouve ainsi la crue de 1932, plus forte crue identifiée sur le Real avant 2010, et la crue de 1959. Nous pensons ainsi que le rôle du bassin de l'Aille a été très important lors des crues de 1959 et 2010.

Malheureusement le débit de ses crues reste très imprécis, : cette lacune n'est pas grave, s'agissant de l'Aille proprement dit, en l'absence d'enjeux. Mais l'incertitude de son apport à l'Argens rend problématique la définition d'une politique globale de propagation des crues.

Compte tenu de la difficulté de la reconstitution des débits et de l'accroissement de la superficie du bassin, le débit de dimensionnement des ouvrages de l'autoroute a été majoré à 1200 m³/s au franchissement amont, aux Arcs en aval du pont RN7; une valeur de 1600 m³/s a été conservée au Muy, tandis que la croissance du ratio d'intensité d'amont en aval a fait adopter un débit centennal de 2000 m³/s à Roquebrune.

Etude Sogreah 1970

Elle traite de la plaine littorale en vue de l'aménagement du débouché des étangs de Villepey, au pont de la Galiote à Saint Aygulf ; elle s'est efforcée de reconstituer le mécanisme de la crue de décembre 1959, en le dissociant de la rupture du barrage, qui reste aujourd'hui le seul événement présent dans la mémoire collective.

A partir des niveaux identifiés auprès des riverains, le débit maximum écoulé au littoral lors de la crue de 1959 a été estimé à 1600 m³/s, soit 1000 m³/s dans l'Argens sous le pont de la RN 98 et 600 m³/s dans les étangs de Villepey et jusqu'au pont de la Galiote pour un niveau en amont de la RN 98 de 2.00 NGF. Le niveau en mer a été estimé à 0.80 NGF, par forte houle d'est comme le rapporte l'analyse des événements extrêmes de Météo France déjà citée.

Etude Sogreah 1977

L'étude de délimitation des zones inondables de la basse vallée de l'Argens réalisée par Sogreah en 1977 ne dispose que de peu de données complémentaires. La station de Roquebrune est implantée en amont du barrage de Roquebrune alors dégradé, soit à 320 m en aval du pont de la RD7 : le zéro de l'échelle est à la cote 6.37, alors que la station actuelle située au nouveau pont a son échelle calée à la cote 5.78 ; compte tenu de la distance et de la variation de la pente en fonction du débit, les courbes de tarage de cette ancienne station diffèrent sensiblement de la courbe actuelle.

Néanmoins les débits maxima annuels de la période 1971-1976 ont pu être reconstitués : les calculs hydrauliques réalisés ont permis de quantifier le débit maximum de la crue largement débordante de février 1974, avec une valeur de 1025 m³/s.

Le principal intérêt de l'étude 1977 est l'enquête « laisses de crue » réalisée sur le terrain :

- Elle va tout d'abord compléter la connaissance des cotes atteintes par la crue de 1959 sur l'ensemble de la basse plaine ; cet exercice était difficile, la crue de l'Argens et l'onde de rupture du barrage de Malpasset survenue le lendemain de la crue étant souvent après 18 ans passés confondues dans la mémoire des riverains.
- Elle donne une idée précise des cotes atteintes par les crues de février 1974 et octobre 1976, cette dernière étant juste débordante.
- Enfin, elle a glané des renseignements disparates, mais assez nombreux, sur les niveaux atteints par plusieurs crues antérieures, de 1935 à 1972.

Etude SCP 1991

L'étude de la Société du Canal de Provence a été réalisée en 1983 et actualisée en 1991 : le premier volet reprend l'analyse des données au Muy et propose les valeurs suivantes des débits maxima au Muy et aux Arcs.

Station	Débit journalier décennal	Débit instantané décennal
Les Arcs	335	500
Le Muy	500	760

L'étude de 1991 réalise la première exploitation statistique de la station de Roquebrune sur 19 années, à partir des débits reconstitués de l'étude 1977 et des chroniques postérieures de la nouvelle (et actuelle) station. Elle propose un débit décennal de 830 m³/s et un débit centennal abaissé à 1700 m³/s.

Etude BCEOM 1999

Après actualisation des données de Roquebrune, le BCEOM a estimé qu'il n'y avait pas lieu de modifier les valeurs de l'étude SCP 1991.

5.1.2. Sur la Nartuby

Le rapport « Etude des inondations sur le bassin versant de la Nartuby et des possibilités de maîtriser le phénomène » (janvier 2001) cite les quatre études hydrologiques réalisées antérieurement sur la Nartuby à partir de données des stations de Rebouillon et de Trans :

CETE d'Aix – Etude des zones inondables dans la plaine de la Nartuby : Draguignan ; février 1996 - Trans ; décembre 1996.

Sogreah – Ecoulement de la Nartuby : étude des zones inondables : Draguignan ; décembre 1996 – Trans ; novembre 1997.

Les conclusions des deux bureaux d'étude se rejoignent : elles concluent aux valeurs suivantes des débits maxima instantanés annuels en fonction de la période de retour, nous nous bornerons donc à décrire l'étude Sogreah.

Ses résultats concernent les stations limnimétriques de Rebouillon et de Trans résumées dans le tableau ci dessous, le ratio d'intensité est : $A = \text{débit} / \text{Sbv}^{0.75}$. Il est calculé à partir des surfaces de bassin estimées par les auteurs de l'étude, lesquelles diffèrent des valeurs révisées données au chapitre précédent.

Durée d'observation	20 ans		27 ans	
Superficie bassin	139 km ²		183 km ²	
	REBOUILLON		TRANS EN PROVENCE	
Période de retour	Débit	Ratio intensité	Débit	Ratio intensité
2 ans	30	0.74	40	0.8
10 ans	60	1.48	80	1.6
30 ans	90	2.22	140	2.81
100 ans	180	4.44	245	4.92

Nous observons que la progression des débits vers l'aval a été basée sur la conservation des débits spécifiques et non sur l'identité des ratios parfois appelés pseudo-spécifiques, tels que celui que nous avons calculé.

Le PPRI exploite les résultats de l'étude du BCEOM ; il rappelle en outre le caractère extrême de la crue survenue le 6 juillet 1827. Les relations de cet événement ne permettent pas d'en prendre l'exacte mesure : on sait toutefois que la pluie d'orage qui a causé cette crue a été d'une extrême violence sur le bassin amont, notamment sur Montferrat et ne semble pas avoir touché Trans. D'autre part, la plaque de marbre gravée après la crue, « placée à l'angle du mur de la maison Boyer, au pied du Pont vieux et à la hauteur où les eaux de la rivière se sont élevées lors de cette effroyable inondation » a été déplacée sur le mur de la pharmacie. Enfin, la crue a dégradé le parapet du Vieux Pont et inondé une partie de la ville. Il serait utile de rechercher dans les archives des précisions sur l'emplacement initial de la plaque et par là l'importance du niveau en amont du Pont Vieux.

Mais nous verrons aussi dans le tome 2 que la crue de 2010 est sortie des limites naturelles de l'inondation en débordant derrière la gare et sur le village Neuf, sur des terrasses élevées et à des niveaux supérieurs aux niveaux de la Nartuby ; or ces débordements n'ont pu se produire en

1827, en l'absence de la voie express et du remblaiement de Carrefour et tout le débit était concentré au Pont Vieux.

5.2. Compilation des crues identifiées sur la basse plaine de l'Argens

En comparant les données de diverses sources, nous pouvons tenter de dresser sur le bassin aval de l'Argens la nomenclature des crues identifiées dans l'ordre probable de leur importance.

Essai de classement des crues identifiées dans la basse plaine de l'Argens

Date	Débit pont Roquebrune	Niveau autoroute A8	Niveau pont Roquebrune	Commande RD amont	Puget aval seuil Beal	CD5 La Plaine	Grande Bastide RD
06-2010	2730	16.2	13.50	11.05	9.71		
12-1959	1700	15.5	11.65	10.50	8.95		
02-1974	1025	14.5	11.6 *	10.48	8.74	4.26	5.20
09-1932							5.17
11-1960 (1)				10.30		3.51	5.05
xx-1965							5.09
12-1958							
03-1956							4.88
xx-1935							4.70
01-1994 (3)	747						
01-1978 (3)	732						
01-1996 (3)	647						
02-1972 (2)	520	13.64	11.35	9.45		3.92	
10-1976 2)	520	13.84	11.45	9.39	8.14	3.33	4.55

- (1) Crue majorée par les apports très forts du Reyran avant construction du canal; rang incertain à Roquebrune
- (2) Débits estimés par étude Sogreah 1977 ; niveaux à 300 m en aval du pont
- (3) Débits DREAL : pas de débordement identifié.

Il est possible que certains événements soient absents, notamment dans la période 1944-1971. Citons ainsi pêle mèle :

- la crue de 1907, exceptionnelle sur la Florieye et qui serait sur l'Argens aux Arcs une des plus fortes crues connues.
- Des crues observées au Muy en 1914 (6.80m), 1920 (6.60 m) et débordantes sur le Blavet.
- La crue de décembre 1960, forte à Entraigues en amont et sur le Reyran en aval.
- Les crues de 1919 et 1923, plus forts débits estimés au Muy de 1906 à 1944.

Des lacunes apparaissent ainsi dans la reconstitution des phénomènes survenus au 20^{ème} siècle.

Mais il est certain que les deux plus fortes crues survenues dans la basse vallée depuis le début du 20^{ème} siècle sont la crue de décembre 1959 et, loin devant, la crue de juin 2010.

La période de retour expérimentale de la crue de 1974 est de l'ordre de 20 ans. Les autres crues sont plus difficiles à hiérarchiser.

5.3. Analyse statistique des débits maxima instantanés annuels

5.3.1. Introduction

Pour proposer un programme d'aménagement à engager d'urgence, il faut non seulement apprécier les débits maxima sur les différents cours d'eau, mais aussi mettre en regard les dommages subis et la rareté de l'événement, c'est à dire sa période de retour.

A première vue, il semblerait logique de considérer qu'une seule crue ne saurait modifier les analyses statistiques antérieures. Mais si on adopte ce point de vue, l'application des études les plus récentes conduirait à une période de retour de 1500 ans sur la Nartuby à Trans et 1000 ans sur l'Argens à Roquebrune. Si ces chiffres sont validés, les dispositions à prendre pour diminuer les dysfonctionnements seront très limitées, hormis ceux qui affectent la sécurité des personnes. Il est donc nécessaire d'examiner si ces chiffres sont valides ou s'il est nécessaire de les corriger.

Les données historiques nous apprennent que sur la Nartuby un phénomène comparable s'est produit à Rebouillon et Trans en 1827. Il est difficile de déterminer s'il a été plus ou moins fort en 2010, quoique l'étalement de la dernière crue à Trans fasse penser qu'elle a pu écouler un débit plus élevé qu'en 1827.

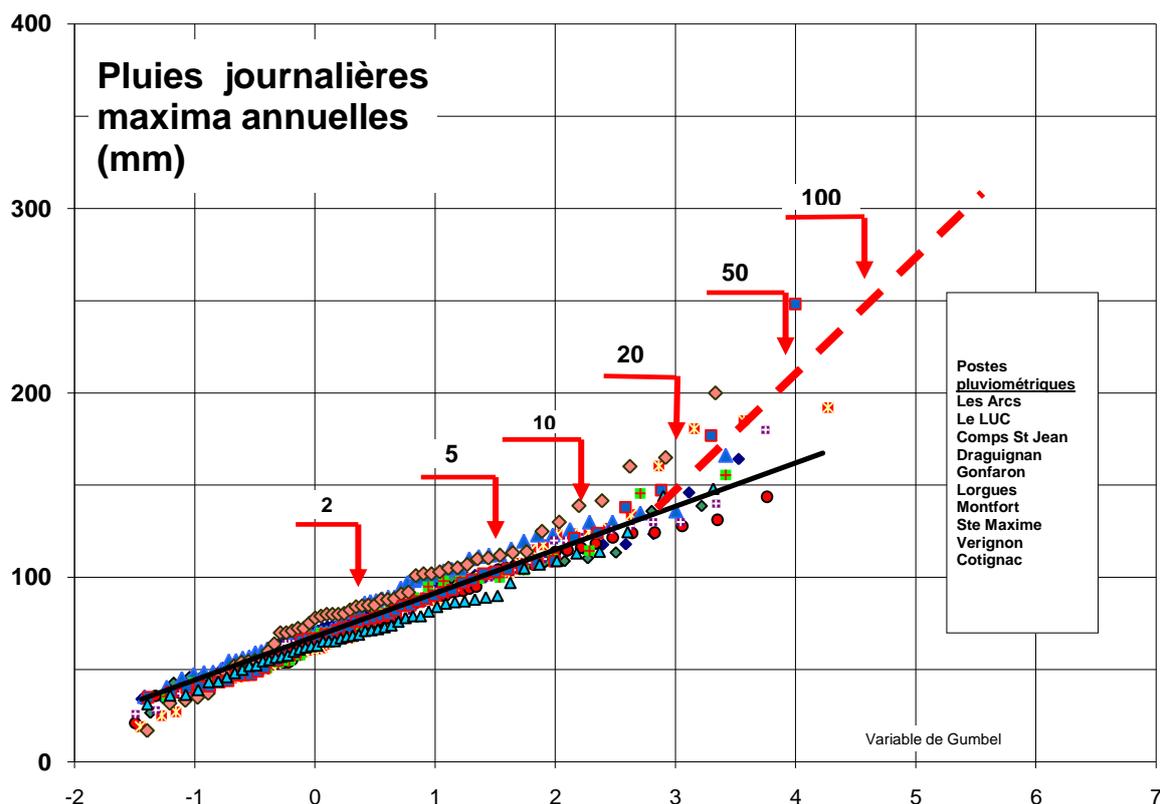
Sur la basse vallée de l'Argens, la crue de 2010 est très certainement la plus forte crue connue et quantifiable. Des recherches historiques pourront mettre en évidence des événements catastrophiques, mais nous ne pensons pas que cette connaissance permettra de les comparer quantitativement à la crue de 2010, en raison des transformations de la morphologie : présence des seuils en rivière, construction de voies de communication, sédimentation de la basse plaine, digue du Reyran.

Les estimations antérieures de la période de retour des débits maxima des différents cours d'eau à partir des données des stations ont toutes fait appel à la méthode du gradex, dans différentes variantes; nous ne ferons pas autrement.

5.3.2. Les pluies journalières

L'exploitation des pluies journalières a été à la base de la méthode du gradex, dans les années 60, grâce au réseau des pluviomètres développé après la guerre. L'analyse statistique des pluies journalières repose sur la méthode de Gumbel. L'échantillon des pluies maxima annuelles est ajusté linéairement en fonction de la variable de Gumbel, de préférence suivant la méthode des moindres carrés. Mais il est apparu que cette loi statistique était mal adaptée au régime des pluies méditerranéennes, à l'exception peut être des zones orographiques les plus exposées. Au delà d'une période de retour variable suivant les sites, apparaissent des événements qui s'écartent de la loi linéaire. Mais cette discontinuité est sur le bassin de l'Argens difficile à cerner sur certains échantillons de 40 années d'observation.

Nous avons représenté sur un graphique de Gumbel les pluies maxima annuelles des postes pluviométriques touchés par la pluie de juin 2010, en intégrant cet événement dans le calcul de la fréquence, mais sans faire figurer la valeur de cette pluie extrême, ce qui aurait multiplié les points très forts.



Malgré cet effacement, on perçoit une tendance à l'accroissement des précipitations au dessus de la loi linéaire au delà de la pluie de 20 ans, mais il est impossible d'en tirer une tendance, comme le tireté tendrait à le faire.

Or la méthode du gradex part de la détermination du gradient des pluies et non de la valeur absolue de la pluie de période de retour donnée. Si ce gradient augmente avec la période de retour, l'application d'un gradient unique conduira à sous estimer les pluies journalières.

Mais le petit nombre de valeurs rares interdit de rechercher un ajustement empirique.

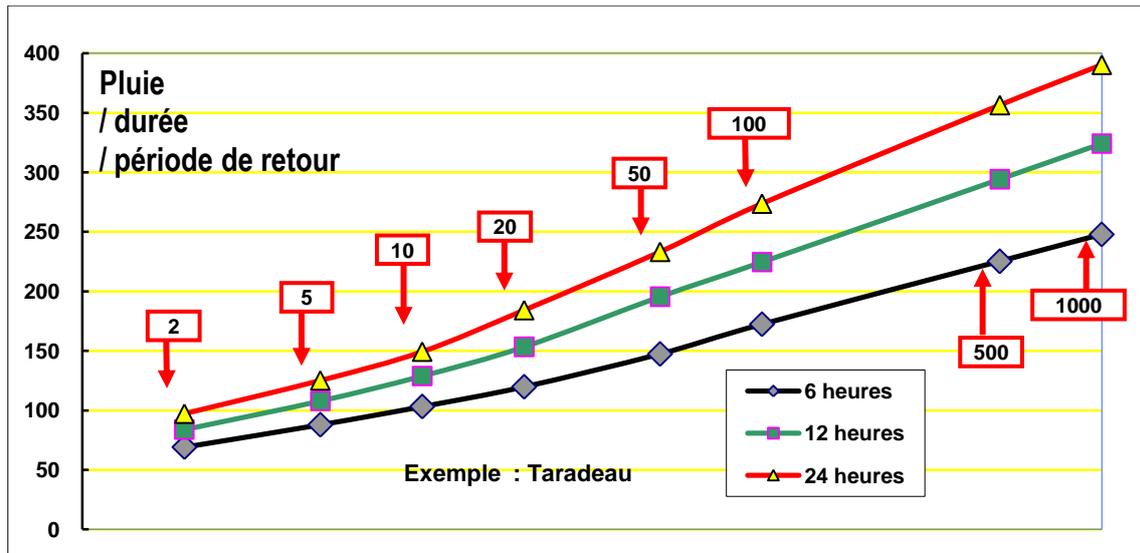
5.3.3. Utilisation des quantiles de pluie régionalisés selon la méthode SHYREG du CEMAGREF

Pour éviter l'incertitude liée au poids des valeurs extrêmes dans la détermination des quantiles de pluie, le Cemagref nous a communiqué les quantiles de pluie de plusieurs durées calculés à partir de la méthode SHYREG en plusieurs points touchés par les pluies du 15 juin 2010.

Le graphique ci dessous représente à Taradeau les quantiles calculés pour les périodes de retour de 2 ans à 1000 ans et les durées de 6 heures, 12 heures et 24 heures. Les mêmes données ont été obtenues pour les sites de : Comps-Canjuers, Draguignan, Puget, les Arcs, Lorgues, Le Luc, Vidauban et Sainte Maxime.

Nous calculons alors le gradex ou pente de la variation de la pluie en fonction de la variable de Gumbel pour la durée de la montée de crue; nous avons estimé ce temps de montée à :

- 6 heures pour la Nartuby à Trans
- 12 heures pour l'Argens à Roquebrune



Le temps de 12 heures à Roquebrune est celui que l'on peut admettre à partir de l'observation de la crue de juin 2010; en faisant ce choix, nous admettons que les fortes crues sont déterminées par le bassin aval de Carcès, la modération des pluies sur le bassin amont et sa plus forte perméabilité pesant peu dans la genèse des crues en aval. Ce fait est, rappelons le, observé en 2010 et 1959, de loin les plus fortes crues. L'étude des zones d'expansion (ZEC) a fait la même observation pour les crues moyennes (doc.23). Ce choix implique que nous limitons la superficie du bassin à la fraction concernée par une pluie de 12 heures, c'est à dire au bassin aval de Carcès.

Nous déterminons les valeurs du gradex pour les stations de Trans sur la Nartuby, de Roquebrune sur l'Argens et de Vidauban sur l'Aille. Mais il n'est pas possible de l'appliquer simplement à la station des Arcs, en raison de l'hétérogénéité du bassin qui alimente cette station.

Pour la station de Trans, nous considérons la moyenne des quantiles SHYREG de Comps-Canjuers et Draguignan. Pour l'Aille, ce sera la moyenne des quantiles du Luc et de Vidauban. Pour Roquebrune, nous ajoutons aux valeurs précédentes les quantiles des Arcs. Les différences entre stations étant assez faibles, il n'a pas paru nécessaire de pondérer ces valeurs en fonction des surfaces arrosées.

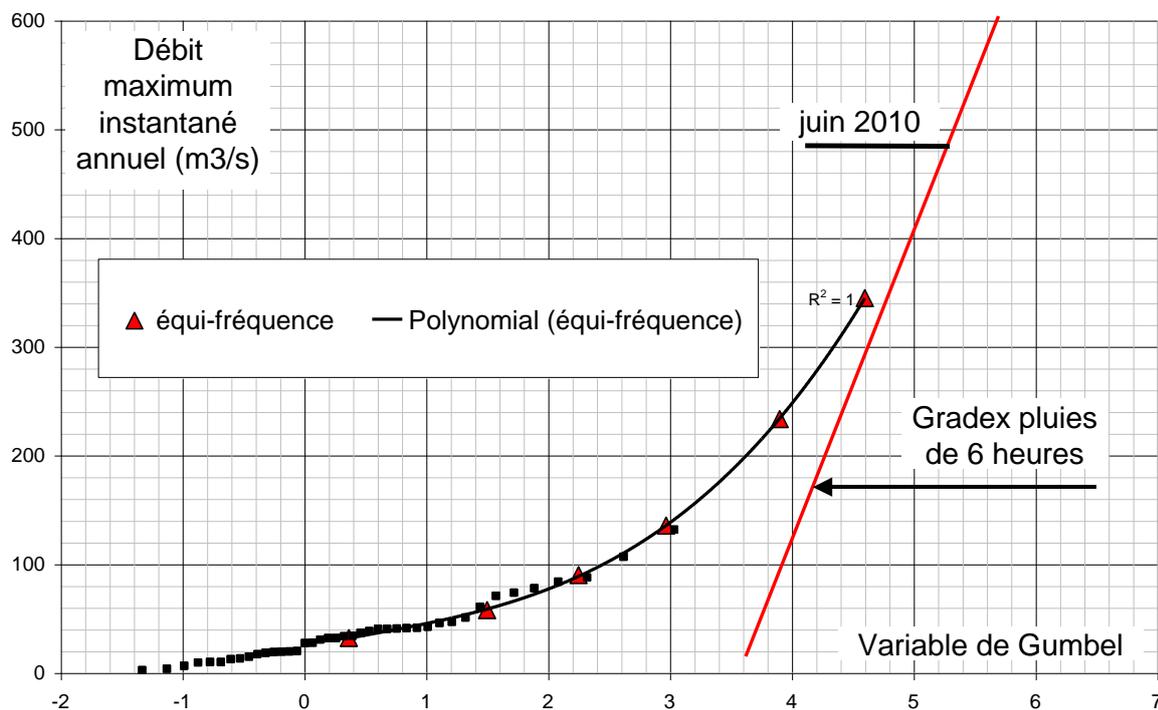
	Nartuby à Trans	Aille à Vidauban	Argens à Roquebrune
Bassin versant (km ²)	196	228	1350
Temps de montée (heures)	6	6	12
Pluie 20 ans (mm)	122.3	112	151
Pluie 100 ans (mm)	173.3	160	220
Gradient dp/dy (mm/h)	5.2	4.9	3.53
Gradex dQ/dy (m ³ /s)	294	311	1320

5.3.4. Application à la Nartuby à Trans

Le graphique de Gumbel représente l'échantillon classé des débits sur la durée d'observation, soit 42 années ; la fréquence est calculée en considérant la crue de 2010, mais sa valeur n'est pas incluse dans l'échantillon, pour ne pas prédéterminer sa période de retour.

Le gradex des débits est représenté et donne la tendance de variation des crues extrêmes. Pour obtenir la période de retour de la crue, il faut caler l'abscisse à l'origine de la droite du gradex.

Nous l'avons fait en recherchant pour les périodes de retour 2 à 20 ans la relation liant les débits instantanés aux pluies de 6 heures équi-fréquentes. Les valeurs obtenues s'ajustent sur une fonction du 2^{ème} degré avec un coefficient de corrélation égal à 1.



La droite du gradex est alors tangente à la courbe précédente, ce qui semble satisfaisant.

La période de retour de la crue de juin 2010 est alors estimée à 200 ans.

En conclusion, nous adopterons pour la suite de l'étude les valeurs suivantes des débits maxima instantanés annuels de la Nartuby à Trans en fonction de la période de retour.

Période de retour (ans)	2	5	10	20	30	50	100
Débit max annuel (m3/s)	32	57	90	140	175	240	350

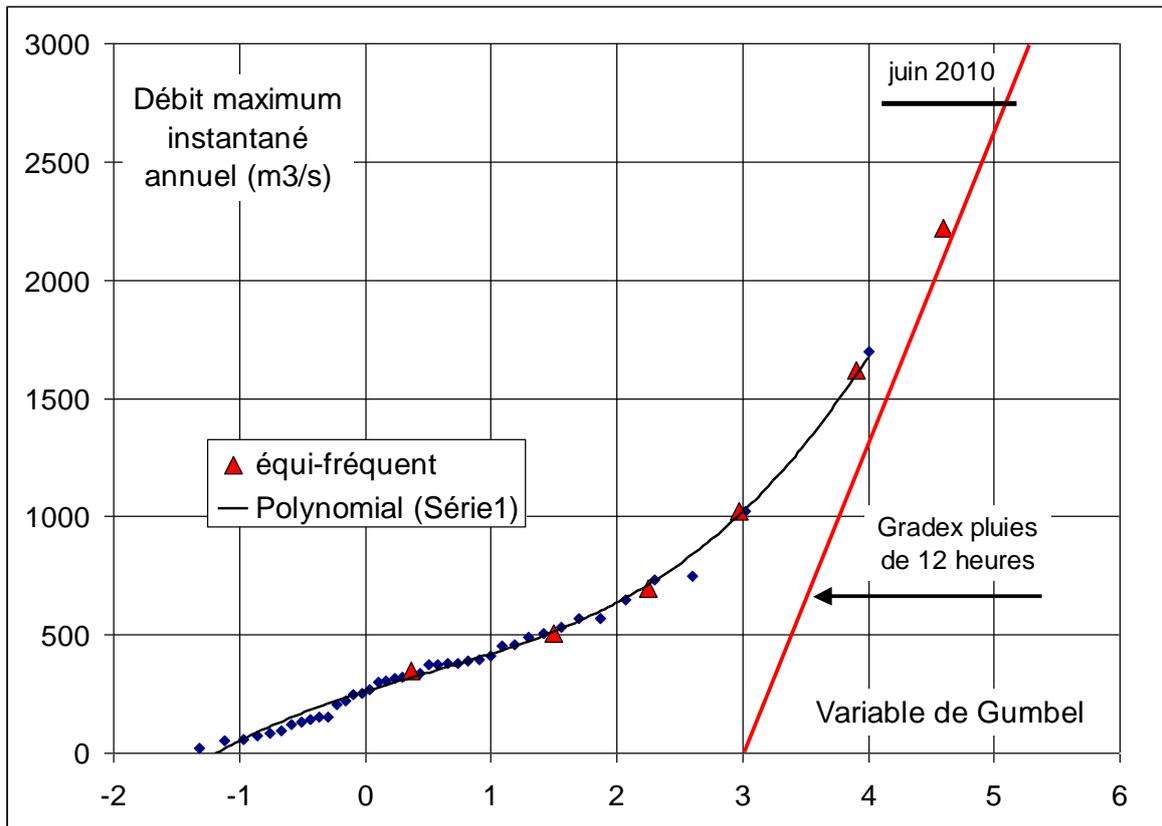
5.3.5. Application à l'Argens à Roquebrune

La même méthode a été appliquée à l'échantillon des 42 années, en intégrant l'année 2010 dans l'échantillon, sans en considérer la valeur. La crue de 1959 a été introduite dans l'échantillon avec une période de retour de 55 ans.

L'ajustement graphique est satisfaisant ; la crue de juin 2010 se cale à une période de retour de 165 ans.

Nous adopterons donc pour la suite de l'étude les valeurs suivantes des débits maxima instantanés annuels de l'Argens à Roquebrune en fonction de la période de retour.

Période de retour (ans)	2	5	10	20	30	50	100
Débit max annuel (m3/s)	320	520	720	1000	1230	1580	2200



5.3.6. Application à l'Aille à Vidauban

La mise en œuvre de cette méthode passe par la validation préalable de l'échantillon des débits. Des erreurs ou imprécisions dans les levés de terrain n'ont pas permis à ce jour de calculer une loi hauteur-débit acceptable et donc de valider les données de débits maxima annuels.

Nous avons vu que la fourchette des débits maxima de la crue de juin 2010 avait été estimée à 600-950 m³/s à la station pour un bassin de 228 Km².

Nous avons noté par ailleurs que le bassin versant intermédiaire de 176 km² entre la station des Arcs et la station de l'Aille d'une part et le confluent avec la Nartuby d'autre part avait reçu de fortes pluies tardivement, ce qui fait penser que ce bassin a ajouté sans décalage appréciable son débit maximum à celui de l'Aille amont. Il est possible alors qu'entre les Arcs et le Muy, la contribution du bassin intermédiaire, incluant l'Aille, le Real et le Couloubrier se chiffre à 1300 m³/s ± 25%

Le poids de l'Aille, grossi du Real et du Couloubrier a donc été considérable en juin 2010 et il faut déterminer si ce fait est propre à cette crue ou s'il correspond à un caractère permanent de l'hydrologie du bassin. L'amélioration de la connaissance des débits de crue à la station de Vidauban Baou est donc essentielle pour la compréhension de la genèse des crues dans la basse vallée.