



HAL
open science

Analyse hydrologique des crues de juin 2010 dans le Var

Olivier Payrastre, Jean Philippe Naulin, Chi Cong Nguyen, Eric Gaume

► **To cite this version:**

Olivier Payrastre, Jean Philippe Naulin, Chi Cong Nguyen, Eric Gaume. Analyse hydrologique des crues de juin 2010 dans le Var. [Rapport de recherche] IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. 2012, 33p. hal-01272025

HAL Id: hal-01272025

<https://hal.science/hal-01272025>

Submitted on 10 Feb 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Convention DGPR/Ifsttar 2011 n°21.00.46.03.23

Analyse hydrologique des crues de juin 2010 dans le Var

Departement Géotechnique Environnement et Risques

Payrastre Olivier
IDTPE
Chercheur
Téléphone : 33 (0)2 40 84 57 04
Télécopie : 33 (0)2 40 84 59 98
olivier.payrastre@ifsttar.fr

Date : 29 mars 2012

Auteurs : Olivier Payrastre – GER 6
Jean Philippe Naulin – GER 6
Chi Cong N'Guyen – GER 6
Eric Gaume – GER 0

Nomenclature d'activité : 13R
Référence sur Numéro de contrat : 13R10312 - RPR0F10312
Confidentialité : Non Confidentiel

Institut français des sciences et technologies des transports de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar)
Route de Bouaye
CS4
44344 Bouguenais Cedex

SOMMAIRE

1	Introduction.....	3
2	Débits de la crue : enquête post événement Hymex.....	4
2.1	Contenu de l'enquête	4
2.2	Résultats obtenus.....	6
2.3	Harmonisation des estimations	7
3	Période de retour de la crue: recherche et exploitation d'informations sur les crues historiques.....	9
3.1	Fonds investigués et information recherchée	9
3.2	Information obtenue.....	10
3.2.1	Nartuby :.....	10
3.2.2	Réal :	11
3.2.3	Florieye :.....	11
3.2.4	Aille :.....	12
3.2.5	Argens :	12
3.3	Valorisation pour l'analyse de la période de retour de la crue de juin 2010 de la Nartuby.	13
4	Analyse du comportement hydrologique des bassins (simulations pluie débit)	15
4.1	Construction du modèle pluie-débit.....	15
4.2	Résultats de l'application à l'événement des 15-16 juin 2010.....	17
5	Conclusions.....	19
6	Bibliographie.....	20
7	Annexes.....	21
7.1	Annexe 1 : Résultats de l'enquête post-crue HYMEX	22
7.2	Annexe 2 : état général des sources identifiées aux archives départementales du Var	24
7.3	Annexe 3 : graphiques des simulations pluie-débit	27
7.4	Annexe 4 : article présenté au congrès SHF « Evénements extrêmes fluviaux maritmes » (février 2012)	33

1 Introduction

Les crues de juin 2010 dans le Var font partie des événements hydrologiques les plus dommageables observés en France au cours des dernières décennies. De façon à pouvoir tirer tous les enseignements nécessaires de cet événement, un effort particulier de recueil de données de terrain a été réalisé suite à la crue, mobilisant à la fois les services de l'état et des collectivités territoriales.

Le présent rapport détaille la contribution apportée par l'Ifsttar à l'effort commun visant à mieux documenter et comprendre le déroulement de cette crue. Cette contribution a pour l'essentiel porté sur les trois points suivants:

- en premier lieu, la reconstitution des débits de pointe et de la chronologie de la crue sur l'ensemble des cours d'eau touchés.
- dans un deuxième temps la recherche d'informations relatives à des crues historiques similaires, et l'exploitation de ces informations pour l'estimation des périodes de retour de la crue.
- enfin, une comparaison de la réaction et des rendements d'écoulement des différents bassins touchés, à travers une série de simulations pluie-débit.

Ce travail s'est focalisé sur les cours d'eau de la partie aval du bassin de l'Argens touchés par les plus forts cumuls pluvieux : en dehors du cours principal de l'Argens, les principaux affluents concernés sont la Florieye (87 km²), le Réal (33 km²), la Nartuby (229 km²), et l'Aille (279 km²).

Le corps de ce rapport reprend une à une les trois problématiques listées ci-dessus, et détaille les éléments de réponse qui ont pu être apportés sur chacune d'entre elles. Ces résultats ont fait l'objet d'une publication présentée au colloque SHF « événements extrêmes fluviaux et maritimes » les 1 et 2 février 2012 (publication annexée au rapport).

Une partie des résultats présentés ont été produits par un étudiant en thèse : Mr Jean Philippe Naulin (modélisation pluie-débit de la crue).

2 Débits de la crue : enquête post événement Hymex

Les crues de juin 2010 ont détruit une grande partie du réseau hydrométrique présent sur le secteur aval du bassin de l'Argens: les deux stations présentes sur la Nartuby, à Rebouillon et Trans-en-Provence, ont par exemple été emportées. Seuls les enregistrements limnimétriques des stations de Vidauban sur l'Aille et de Roquebrune sur Argens se sont finalement avérés exploitables. Face à ce constat et de façon à mieux documenter la crue, l'Ifsttar a coordonné dans le cadre du programme de recherche Hymex (TTO2d) une enquête post-événement visant à reconstituer à la fois le déroulement de la crue ainsi que les débits de pointe atteints sur les différents cours d'eau touchés. Cette enquête a été conduite courant octobre 2010 et a mobilisé une quinzaine de chercheurs issus de différents laboratoires : Ifsttar, LTHE, Hydrosiences Montpellier, CNR-IRPI (Italie), UMR Espace, UMR Pactes.

Cette initiative est venue compléter les investigations d'autres partenaires (DREAL/DDT, CG83, Cemagref, SCHAPI/SPC), avec qui plusieurs réunions de coordination ont été menées de façon à harmoniser et mettre en cohérence les différentes estimations de débit finalement disponibles. Les résultats de ce travail de coordination (pilote par le SCHAPI) seront évoqués en parallèle à la présentation des résultats de l'enquête Hymex.

2.1 Contenu de l'enquête

La méthodologie d'enquête post-événement appliquée dans le Var est issue de plusieurs expériences antérieures. Deux enquêtes similaires, menées à la suite des crues de 1999 dans l'Aude et 2002 dans le Gard, ont notamment confirmé la possibilité de documenter de façon exhaustive des événements hydrologiques majeurs. La méthodologie définie a ensuite été affinée dans le cadre de deux projets de recherche Européens (Floodsite et Hydrate). Elle a déjà fait l'objet de plusieurs publications [Gaume et Bouvier, 2004; Gaume et al., 2004, 2009; Delrieu, 2005; Gaume, 2006; Borga, 2008; Gaume et Borga, 2008]. Nous en rapellons les grandes lignes ci-dessous.

L'enquête post-événement réalisée comporte deux volets :

- D'une part, une campagne de levés topographiques des sections d'écoulement, dont l'objectif est d'être en mesure d'estimer les débits de pointe atteints.
- D'autre part un recueil de témoignages, permettant de disposer d'éléments chronologiques sur le déroulement de la crue : horaire des plus hautes eaux, dynamique de montée de crue et de décrue.

Le choix des sections d'écoulement levées est effectué de façon à couvrir de façon aussi exhaustive que possible le réseau hydrographique touché par la crue, en incluant les cours d'eau principaux mais également les différents affluents. Pour faciliter l'estimation du débit de pointe de la crue, des sections répondant à certains critères hydrauliques simples sont recherchées en priorité: présence d'un écoulement rectiligne et concentré sur une largeur faible, absence d'influence aval identifiée, section et pentes du lit homogènes, etc. Ces critères permettent généralement d'effectuer une hypothèse de régime uniforme et d'éviter le recours à des modèles hydrauliques, plus lourds à mettre en œuvre. Les informations recueillies lors de chaque levé sont les suivantes : un ou plusieurs profils en travers (pour disposer de sections d'écoulement complètes), un profil en long du fond du lit (sur une distance suffisante pour en estimer correctement la pente), et plusieurs niveaux donnés par les laisses de crue (pris au droit des profils en travers mais aussi en suivant le profil en long). Lorsque plusieurs sections se prêtent à un levé sur un même cours d'eau, elles sont généralement toutes retenues, la redondance des levés permettant par la suite de valider les estimations de débits par recoupement.

Les témoignages sont généralement recherchés à proximité immédiate des sections retenues pour les levés topographiques. Outre des indications sur la chronologie de la crue, les interviews permettent parfois de recueillir des indications sur les vitesses d'écoulement: les films et/ou les photographies permettent notamment d'estimer l'élévation de la ligne d'eau au niveau des obstacles, et d'en déduire une vitesse de surface.

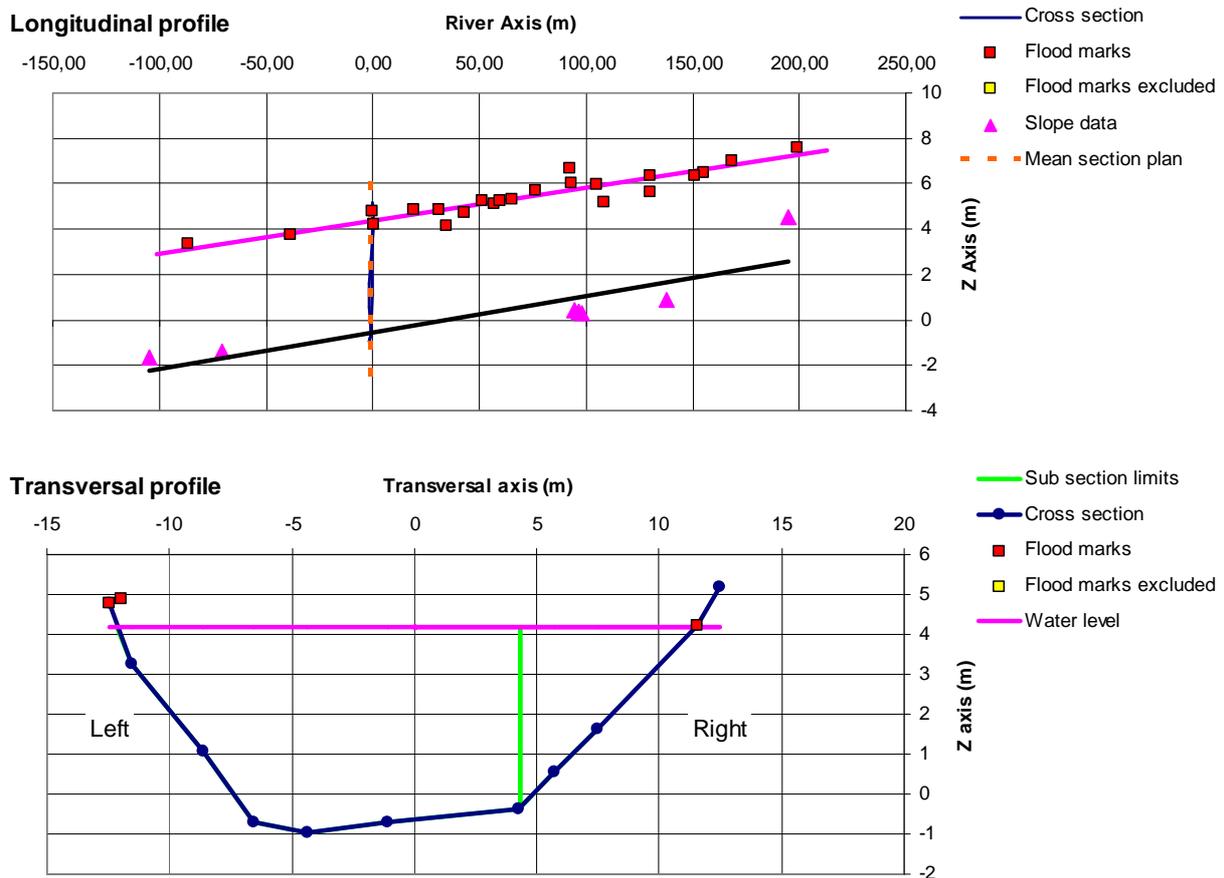


Figure 1. Exemple de profil en long et profil en travers levés sur la Florieye à Lorgues (RD562), avec indication des laisses de crue. La proximité entre la pente de la ligne d'eau et celle du fond du lit permet de valider l'hypothèse d'un régime uniforme.

L'exploitation des levés permet dans un premier temps de confirmer la hauteur d'eau atteinte en vérifiant la cohérence des laisses, et de valider ou d'invalider l'hypothèse d'un régime uniforme (pente de la ligne d'eau/pente du lit). La Figure 1, qui présente un exemple de section d'écoulement et de profil en long, fait apparaître la redondance et la cohérence globale des laisses de crue. Les laisses de crue présentes dans des zones d'écoulement peu rapide sont privilégiées car moins sujettes à une surélévation liée au choc de l'écoulement contre les obstacles. L'estimation du débit est ensuite réalisée soit par application de la formule de Manning Strickler (cas d'un régime uniforme confirmé), soit, dès que cela est possible, en exploitant les informations disponibles sur les vitesses d'écoulement. Les estimations réalisées restent toujours incertaines et sont donc systématiquement présentées sous forme d'un intervalle indiquant les valeurs minimales et maximales possibles du débit : cet intervalle est établi par une analyse de sensibilité aux différents facteurs d'incertitude (valeur de rugosité du lit, éventuellement pente de ligne d'eau et/ou niveau d'eau atteint dans la section, ou encore gamme de vitesses d'écoulement possibles au regard des informations disponibles).

En fin d'enquête, une vérification de la cohérence d'ensemble des informations est réalisée, et conduit si nécessaire à d'éventuels compléments : recherche de témoignages supplémentaires, nouveaux levés, etc.. Certains compléments de ce type ont été nécessaires dans le cas du Var : l'estimation initiale de débit réalisée à l'aval du village de Figanières (ruisseau de la Tuillière) souffrait par exemple d'une incertitude importante associée au niveau des plus hautes eaux (laisses de crue peu marquées et incohérentes avec les informations issues d'un témoignage). Une nouvelle visite du site et l'interrogation de nouveaux témoins en juin 2011 a permis de préciser ce niveau, plus élevé que celui considéré initialement. L'estimation du débit s'en trouve significativement modifiée : la gamme probable du débit de pointe s'étend désormais de 30 à 45 m³/s (contre 16 à 28 m³/s pour l'estimation initiale). Cette nouvelle estimation peut désormais être considérée comme fiable car la section est bien adaptée d'un point de vue hydraulique, le niveau désormais connu précisément, et la gamme de vitesses d'écoulement possible (de 1,5 à 2,3 m/s) est confirmée par des films pris par les témoins (cf. Figure 2).



Figure 2. Photo de la section considérée sur la Tuilière à l'aval direct du village de Figanières, prise le 15/6 vers 19h00 (soit après la pointe). Le niveau maximum a atteint 20cm sous la crête du mur situé en rive gauche de la section (pas de débordement constaté au dessus du mur).

2.2 Résultats obtenus

L'enquête post événement Hymex a finalement permis de disposer d'un ensemble de 36 estimations de débit dont le détail est présenté en annexe 1 (pages 22 et suivantes). Les informations relatives aux horaires des pics de crue y sont également détaillées. Le détail des levés et calculs ayant abouti à ces estimations de débit a par ailleurs été regroupé dans une base de données qui a été diffusée aux partenaires Hymex et au SCHAPI. Cette base de données peut être transmise sur demande adressée à l'Ifsttar.

La Figure 3 met en relation les estimations de débits de pointe issues de l'enquête, et les cumuls pluviométriques enregistrés lors de l'événement (source : lame d'eau Panthère Météo France). On notera ici que les enregistrements pluviométriques disponibles sont dans l'ensemble cohérents avec cette lame d'eau radar sauf dans la partie est du territoire concerné: sur la Florieye en particulier, un enregistrement pluviométrique du CIRAME à Lorgues donne un cumul de 456 mm alors que la lame d'eau radar indique un ordre de grandeur de 360 mm dans ce même secteur. Cette tendance à la sous-estimation se retrouve, dans une moindre mesure, à l'amont du bassin de l'Aille. Sur ces deux bassins, il semble finalement possible que la lame d'eau estimée à l'aide des enregistrements radar soit sous-estimée de 10 à 20 %.

Cette figure laisse apparaître une variabilité très nette de la réponse des cours d'eau, qui peut difficilement s'expliquer par le seul forçage pluviométrique. Si les fortes réactions observées sur la Florieye et le Réal peuvent paraître logiques au regard des cumuls de pluie enregistrés sur ces bassins (par ailleurs sous-estimés dans le cas de la Florieye), il est intéressant d'observer que la Nartuby, pourtant soumise à une pluviométrie équivalente, a eu une réaction nettement moins marquée (hormis pour quelques petits affluents). A l'inverse, dans le massif des Maures (rive droite de l'Argens), des cours d'eau comme l'Aille et son affluent le Langastoua, ainsi que le Couloubrier et la Maurette, enregistrent des réactions très significatives alors que la pluviométrie semble sensiblement moins élevée dans ce secteur (et ce malgré la sous-estimation déjà évoquée). Les origines possibles de cette forte hétérogénéité seront évoquées au chapitre 0 de ce rapport (analyse pluie-débit).

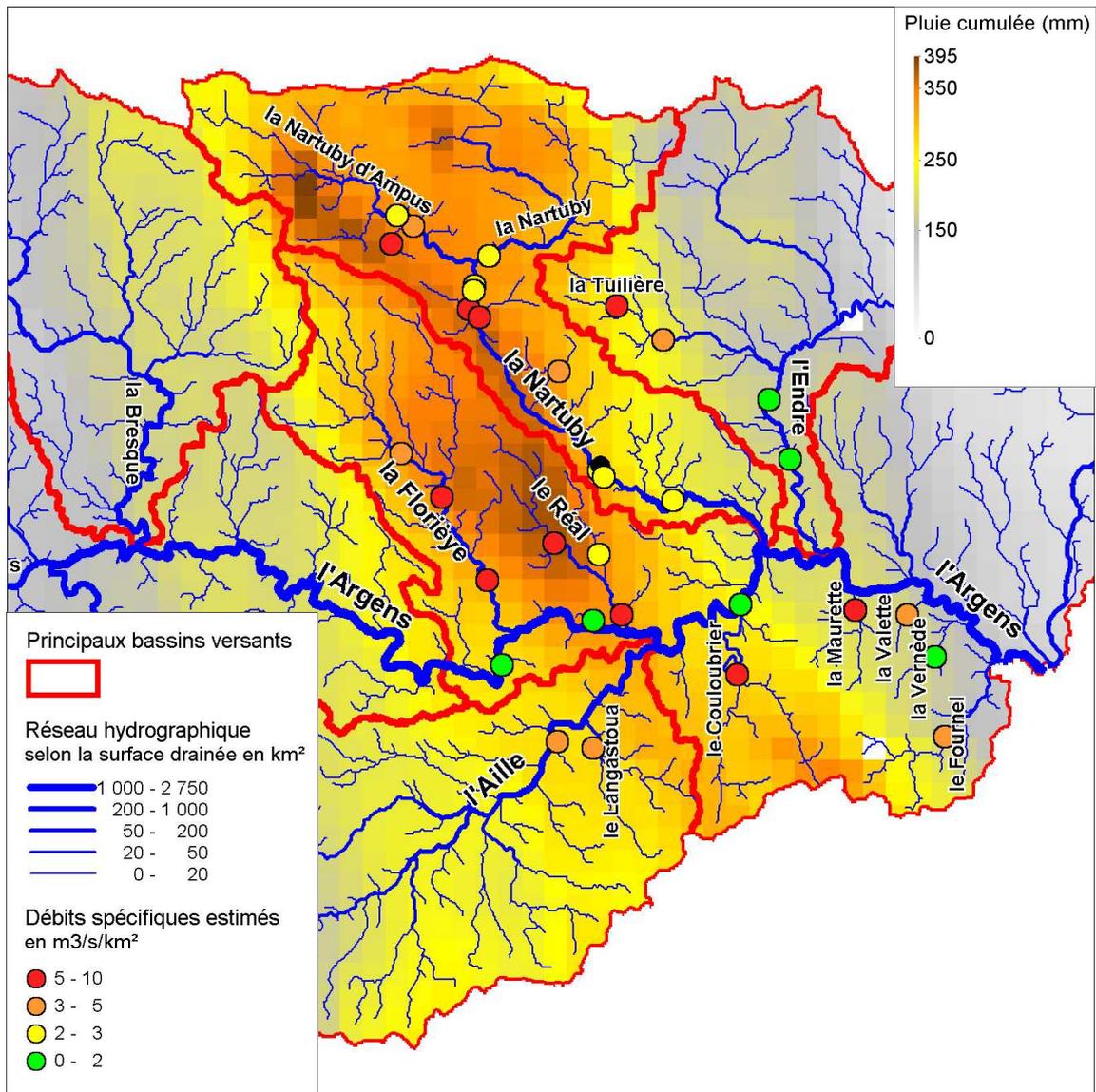


Figure 3. Carte synthétique présentant la pluviométrie cumulée du 15 juin à 0H00 TU au 16 juin à 12h00 TU (source lame d'eau Panthere Météo France), ainsi que les estimations de débit issues de la campagne Hymex, exprimées en débit spécifique ($\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$).

2.3 Harmonisation des estimations

Le travail de coordination piloté par le SCHAPI a permis de confronter les estimations réalisées lors de l'enquête Hymex à celles issues d'autres investigations menées dans le cadre du retour d'expérience sur cette crue (CG83, Cemagref, Cete Med). Ce travail de mise en cohérence ne s'est pas limité à un débat d'experts à partir de données communes, mais a également permis de comparer les informations issues de levés différents, réalisés sur une même section ou dans des sections très proches. La confrontation de ces estimations de débit constitue par conséquent un élément de validation supplémentaire permettant éventuellement de détecter les éventuelles incohérences présentes dans certains levés.

Le Tableau 1 met en parallèle les estimations initiales issues de l'enquête Hymex et les fourchettes de débit finalement retenues à l'issue du travail d'harmonisation. Les différences restent globalement limitées, avec deux tendances : certaines plages de débit ont été élargies de façon à rester cohérentes avec les autres estimations existantes (Nartuby à Trans par exemple) ; certaines autres ont pu être resserrées, les informations disponibles en complément de l'enquête Hymex permettant une estimation plus fiable (Argens aux Arcs par exemple).

On notera que ce travail de coordination s'est limité aux cours d'eau principaux, l'enquête Hymex étant la seule à avoir amené des informations relatives aux plus petits affluents (cf. annexe 1 en page 22 présentant l'ensemble des 36 estimations réalisées).

Tableau 1. Comparaison des estimations de débit réalisées et des gammes de débit finalement retenues après mise en cohérence de l'ensemble des estimations disponibles (pilotage SCHAPI)

Rivière	Localisation	Surface (km ²)	Débits estimés Hymex (m ³ .s ⁻¹)		Débits harmonisés (m ³ .s ⁻¹)	
			Q _{min}	Q _{max}	Q _{min}	Q _{max}
Aille	Vidauban station HYDRO	228,3	600	950	600	950
Aille	Confluence	279				
Argens	Vidauban RD 48 – amont Aille	1550	400	560		
Argens	Vidauban pont SNCF – aval Aille	>1637			<950	<1200
Argens	Confluence Florieye	1555				
Argens	LesArcs station HYDRO	1654	850	1500	800	1200
Argens	Le Muy A8	2047				
Argens	LeMuy avant Nartuby	2058	1700	2500	1700	2500
Argens	aval confluence Nartuby					
Argens	Roquebrune station HYDRO	2491			2200	2900
Argens	Fréjus - Saint Aygulf	2661			1820	2500
Florieye	Lorgues (pont RD562)	64,6	300	450	300	450
Florieye	Taradeau (sortie gorges)	85,8	380	570	380	600
Florieye	Taradeau (pont)	86,7			380	600
Nartuby	Rebouillon	149,5	300	400	300	460
Nartuby	Draguignan – La Clappe	164			350	510
Nartuby	Draguignan – Pont d'Aups	169			350	460
Nartuby	Trans station HYDRO	195,8	400	500	360	520
Nartuby	Capellan	209	300	550	>300	>550
Nartuby	Le Muy (pont CD25)(RN7)	229			>>340	>>420
Real	Les Arcs / amont village RD57	20	65	140	65	140
Real	Les Arcs / Pont SNCF	30,8			125	160
Real	Les Arcs / A8	32,5	150	190		

3 Période de retour de la crue: recherche et exploitation d'informations sur les crues historiques

De façon à alimenter les réflexions sur la période de retour possible des crues de juin 2010, l'Ifsttar a mené une recherche aux Archives Départementales du Var de façon à obtenir des informations sur les crues historiques ayant touché la région. L'objectif visé était de reconstituer une chronique complète des plus fortes crues enregistrées aux XIXème et XXème siècles. Un objectif plus spécifique était de documenter de façon détaillée la crue de 1827 sur la Nartuby, dont le repère situé à Trans-en-provence laisse penser qu'elle a été d'intensité similaire à celle de 2010.

Les précédentes expériences de recherches de ce type ont montré que les fonds d'archives disponibles en France permettent souvent de reconstituer des informations détaillées sur les crues historiques (Cœur et al., 2000, 2002). Par ailleurs, les chroniques de crues historiques obtenues peuvent s'avérer particulièrement informatives pour l'estimation statistique des crues (Neppel, 2010 ; Payrastre, 2011).

3.1 Fonds investigués et information recherchée

La recherche effectuée a porté sur les cours d'eau suivants : Nartuby, Réal, Florieye, Aille, et Argens (section de Vidauban à Roquebrune). Elle s'est focalisée sur les fonds des archives modernes relatifs aux services des Ponts et Chaussées (série S), ainsi que, dans une moindre mesure, sur les fonds des archives contemporaines. L'état des sources consultées est fourni en annexe 2 (pages 24 et suivantes). Il regroupe principalement des documents issus du service hydraulique des Ponts et Chaussées (instruction des projets d'aménagement sur les cours d'eau), ainsi que les documents relatifs à la construction et l'entretien des infrastructures franchissant les cours d'eau : routes, chemins, et chemins de fer. La Figure 4 donne un exemple des voies de communication principales présentes en 1863 dans le secteur de Draguignan. A ces infrastructures s'ajoutent plusieurs lignes de chemin de fer réalisées par la suite ou restées à l'état de projet. Des dossiers relatifs à la quasi-totalité des ouvrages d'art franchissant les cours d'eau ont pu être retrouvés et consultés.

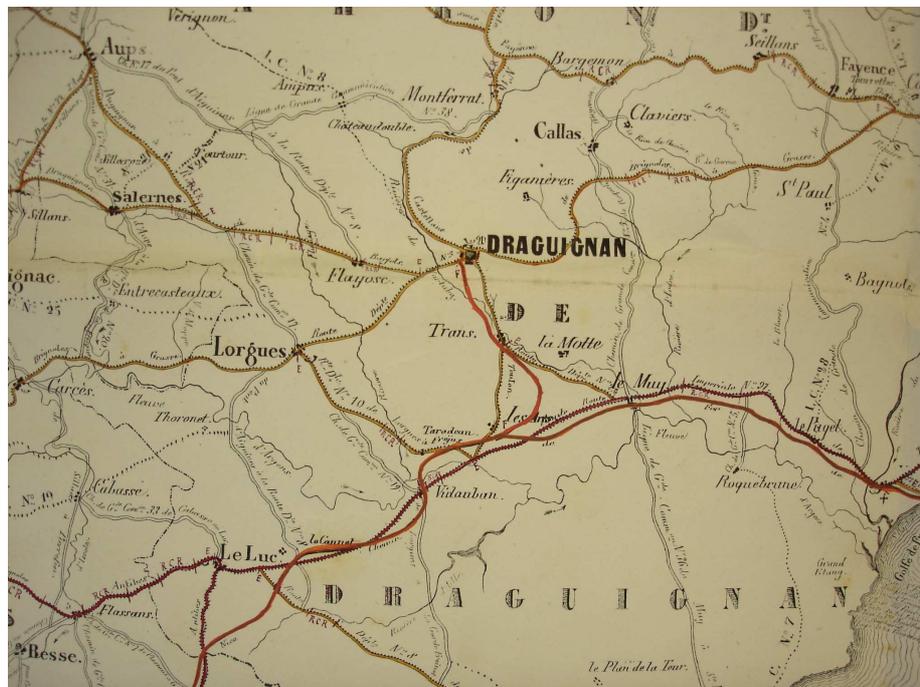


Figure 4. Carte des réseaux routier et chemin de fer datée de 1863 (source archives départementales du Var)

3.2 Information obtenue

Les dossiers consultés ont permis de retrouver de nombreux plans incluant des profils en travers (et en long) des cours d'eau concernés. Si ces plans comportent la plupart du temps des lignes de « hautes eaux extraordinaires » ou de « plus hautes eaux connues », presque aucun d'entre eux ne comporte de référence explicite à une crue datée. Les documents écrits figurant dans les mêmes dossiers comportent pour leur part quelques rares références à des dates de crues. Des informations relatives aux périodes de réalisation de divers aménagements sur les cours d'eau concernés ressortent également de ces documents. Les informations recueillies sont détaillées ci-après par cours d'eau.

D'une façon générale, l'information historique tirée de ces recherches s'avère particulièrement pauvre par comparaison à ce qui avait pu être reconstitué sur d'autres cours d'eau, en recherchant dans les mêmes fonds d'archives (Lang, 1998; Naulet, 2005; Payrastre, 2006, 2011; Neppel, 2010).

3.2.1 Nartuby :

Sur ce cours d'eau nous avons bénéficié de recherches internes menées par les Archives Départementales du Var. Ces recherches, en cours au moment de notre enquête (Pelissier et Décuq, à paraître), dépassent largement la période investiguée par nos soins (qui se limite aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles). Elles ont notamment permis d'identifier une crue majeure qui a eu lieu sur la Nartuby en 1674 : cette crue est évoquée dans un nombre très significatif de documents d'archives, documents qui permettent de resituer sur une carte certains des secteurs inondés (cf. Figure 5) : au regard de ces éléments d'information, tout semble indiquer que cette crue fut d'ampleur comparable à celles de 1827 et 2010. Ces mêmes recherches ont permis d'identifier plusieurs autres dates de crues de la Nartuby : 1378, 1581, 1584, 1666, 1685, 1697, 1708, et 1788. Pour ces différentes crues, le volume d'archives présent est sensiblement moindre que dans le cas de celle de 1674. La crue de 1685 semble néanmoins avoir été importante.

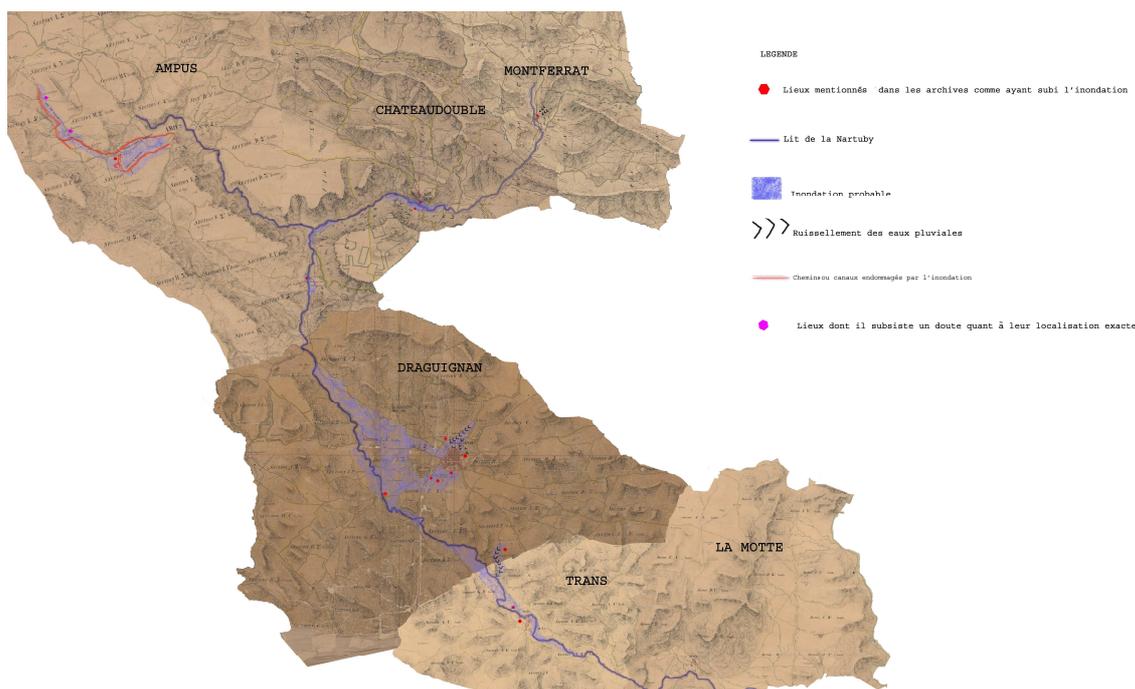


Figure 5. Carte des secteurs inondés probables lors de la crue de 1674 (source Jerome Pelissier et Emilie Décuq, archives départementales du Var)

La recherche conduite par l'fsttar sur les XIX^{ème} et XX^{ème} siècles a par ailleurs permis d'apporter les compléments d'informations suivants :

Un rapport de janvier 1856 portant sur un projet de rectification du lit dans la traversée de Trans (sources 7S68-7S69), cite la crue de 1827 comme référence en termes d'élévation du niveau de la rivière (qui n'est pas indiquée avec précision). Les plans associés à ce rapport comportent le niveau d'une crue datée de 1855, mais dont l'ampleur est manifestement sans commune mesure (section d'écoulement de l'ordre de 30 m² d'après les plans).

Plusieurs autres rapports relatifs à la ligne de chemin de fer de Draguignan à Trans (source 5S19) évoquent deux crues de la Nartuby qui ont eu lieu en 1864 et 1872. Deux de ces rapports, datés de 1873 et 1874, sont relatifs à un projet de modification du pont sur la Nartuby (remplacement de l'arche par un tablier métallique), et évoquent la crue d'octobre 1864 comme étant « la plus haute connue ». Le tablier métallique (probablement celui toujours en place) est prévu pour être établi 60 cm au dessus du niveau de cette crue, « permettant d'augmenter notablement le débouché du pont et de réduire le remous des eaux ... qui avait atteint 1m024 le 28 octobre 1864 » à l'amont du pont initial, un « pont en arc de cercle surbaissé de 15 m d'ouverture et 2m10 de flèche ». Il est difficile de dire sur la base de ces seuls éléments quelle peut être la section d'écoulement de cette crue, et si celle-ci peut s'avérer comparable ou non à celle de 1827. Deux autres rapports, également datés de 1873 et 1874, sont consécutifs à la plainte d'un particulier qui a subi des dégâts lors de la crue du 18 octobre 1872. De toute évidence cette crue de 1872 est nettement moins forte que celle de 1864.

Le projet de construction du pont de chemin de fer situé à l'aval direct du pont d'Aups (ligne Draguignan Meyrargues) date de 1886 (sources 5S51 et 5S27). Les plans correspondant laissent apparaître une ligne de « plus hautes eaux connues » (non datée), pour laquelle la section d'écoulement sous le pont serait de l'ordre de 55 m², sans compter la section correspondant au passage routier en rive droite. Ce niveau pourrait s'approcher de celui atteint en 2010.

Finalement, en dehors de celle de 1864 pour laquelle un doute subsiste, aucune trace de crues comparables à celles de 1674, 1827 et 2010 n'a été retrouvée sur les XIX^{ème} et XX^{ème} siècles. Toutefois les éléments d'information disponibles sont trop partiels pour pouvoir affirmer avec certitude que ces crues sont les plus fortes observées depuis 1674. Les doutes les plus importants concernant le XVIII^{ème} siècle au cours duquel très peu de crues sont recensées par les Archives Départementales, et sur lequel l'Ifsttar n'a pas effectué de recherches complémentaires.

3.2.2 Réal :

Aucune crue du Réal n'est relatée dans les documents consultés. Ceux-ci laissent en revanche apparaître que la traversée du centre des Arcs par le Réal était déjà recouverte dans les années 1845 – 1850. La date précise de réalisation des premiers ouvrages de couverture ne figure pas dans ces rapports mais il semble qu'elle soit plus ancienne encore.

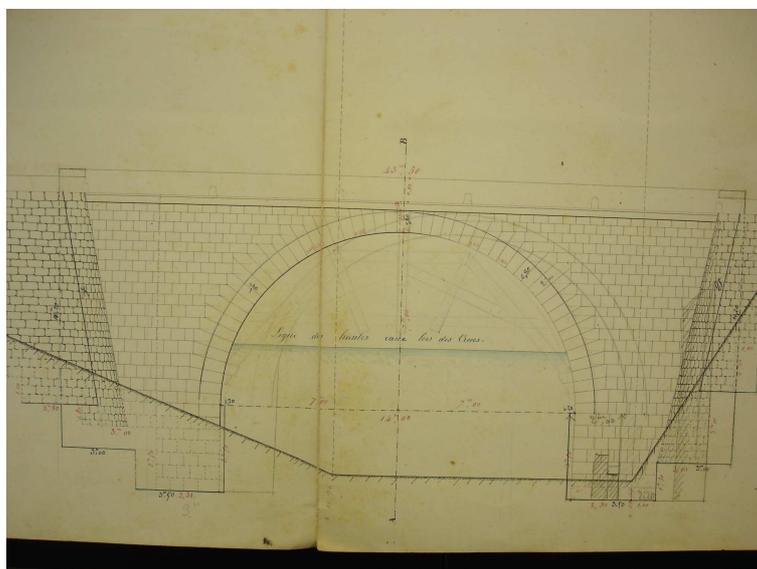


Figure 6. Extrait du plan projetant la construction du pont sur la Florieye à Lorgues (actuelle RD562), daté de 1845 (source archives départementales du Var)

3.2.3 Florieye :

Aucune crue datée de la Florieye n'est évoquée dans les documents consultés.

Les plans relatifs à la construction du pont sur la Florieye ont été retrouvés et datent de 1876 (source 2S206). La section du pont y semble similaire à l'actuelle (un arc de 20 m de largeur + deux petites arches sur les rives).

Les plans relatifs à la construction du pont de la D562 entre Lorgues et Draguignan ont également été retrouvés (source 2S69). Ces plans datent de 1845, ils semblent correspondre au pont toujours en place (section identique), et ils comportent une ligne des « plus hautes eaux lors des crues » dont le niveau paraît tout à fait similaire à celui atteint en 2010 (4.50 à 5 m, cf. Figure 6).

3.2.4 Aille :

Une mention manuscrite ajoutée sur un plan de pont daté de 1847 (source 2S369), fait état d'une crue qui se serait produite en novembre 1862 et qui aurait quasiment mis en charge l'ouvrage. Cette mention n'est pas datée et est donc à prendre avec précaution. Le pont concerné se situe sur le chemin de grande communication n°19 qui semble correspondre à l'actuelle RD48, il franchit donc l'aille à l'amont direct de l'actuelle station. Sur le plan ce pont comporte 3 arches de 10 m de diamètre chacune, sur piedroits de 1,30 m de haut. N'ayant pas reconnu le site nous ignorons s'il est toujours en place. D'après l'indication figurant sur le plan, lors de la crue de 1862, le niveau aurait atteint 25 cm sous le haut des arches.

3.2.5 Argens :

Un rapport et des plans datés de 1903 et relatifs à un projet de construction de pont sur l'Argens à l'amont de Vidauban au lieu dit « Les Moures » (source 7S29), présentent un niveau de « plus hautes eaux connues ». Les calculs effectués dans le rapport estiment la section mouillée correspondante à 390 m² pour un débit de 975 m³/s.

Les plans relatifs à la construction du pont sur l'Argens sur le chemin de Vidauban à Lorgues (actuelle D48) ont également été retrouvés (source 2S369). Ils sont datés de 1855 et comportent une ligne de hautes eaux correspondant à une section d'écoulement de l'ordre de 350 m².

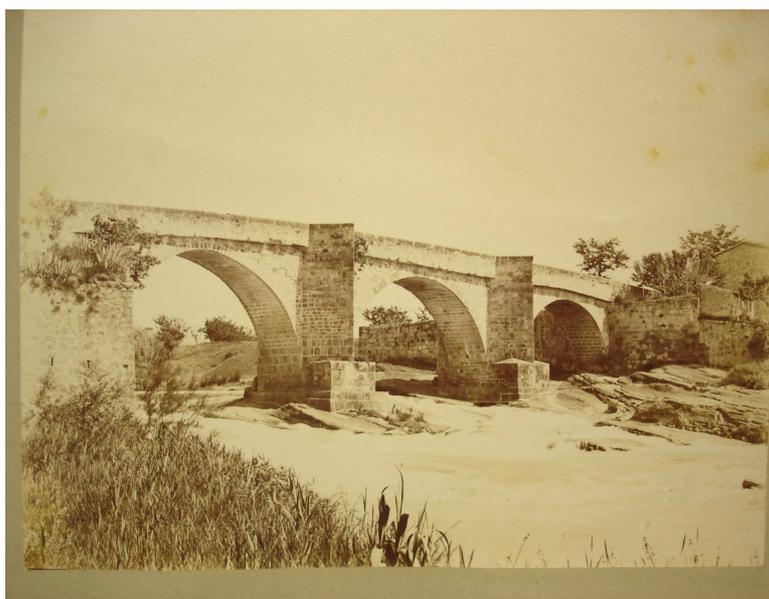


Figure 7. Photo du pont d'Argens sur l'actuelle N7, datée de 1889 (source archives départementales du Var)

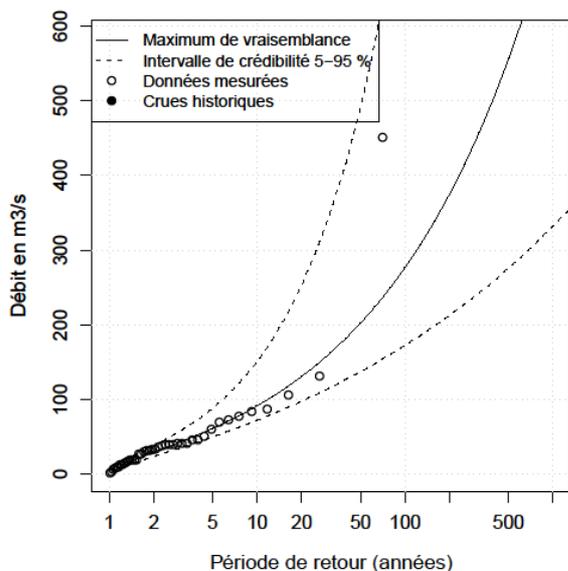
Plusieurs plans relatifs au secteur du pont d'Argens sur la N7 sont également présents (sources 2S66 et 7S83). Ces plans portent à la fois sur la modification (élargissement) du pont et la construction du barrage situé à l'amont direct. L'élargissement du pont est évoqué sur des plans datés de 1891 (2S66), qui présentent une ligne de plus hautes eaux connues pour laquelle la section d'écoulement est du même ordre de grandeur que celles évoquées précédemment. Les plans projetant la construction du barrage datent de 1906 (7S83), ils laissent apparaître une ligne de hautes eaux correspondant à une section d'écoulement d'au moins 250 m².

Un courrier de 1887 évoque le projet d'établissement du pont de la Tournavelle sur l'Argens (source 7S6). Il décrit les caractéristiques de l'ouvrage (ouverture de 24m, voute de 4 m de flèche) mais ne fait pas état des informations ayant conduit à établir ces caractéristiques. Les plans du pont ne sont pas présents. Le pont est destiné à remplacer un bac emporté par une crue en 1886.

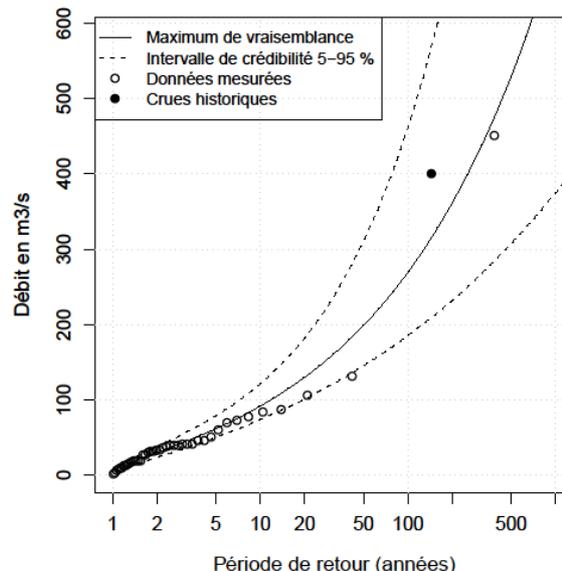
3.3 Valorisation pour l'analyse de la période de retour de la crue de juin 2010 de la Nartuby

Les informations historiques reconstituées ne paraissent exploitables que dans le cas de la Nartuby pour laquelle au minimum 2 crues majeures similaires à celle de 2010 sont identifiées au cours des 3 à 4 derniers siècles (1674 et 1827). Même si ces informations présentent d'importantes limites, portant notamment l'exhaustivité du recensement effectué (qui ne peut être garantie), il est néanmoins intéressant d'examiner l'impact possibles de ces informations sur la période de retour estimée de la crue de 2010.

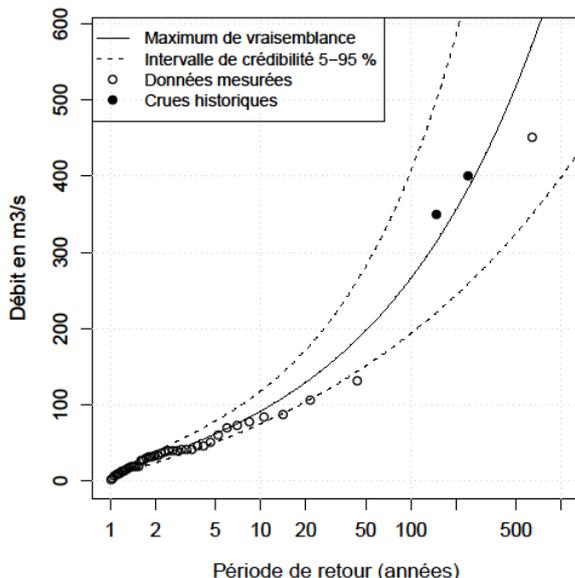
Cas 1 – pas d'information historique



Cas 2 - débit de 350 m³/s dépassé deux fois (en 1827 et en 2010) depuis 1800.



Cas 3 - débit de 350 m³/s dépassé 3 fois depuis 1650 (1674, 1827, et 2010).



Cas 4 - débit de 350 m³/s dépassé 4 fois depuis 1650 (1674, 1827, 1864? 1685?, et 2010)

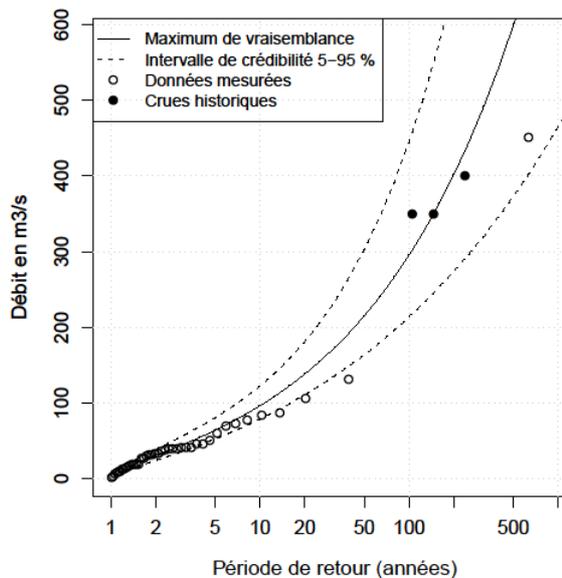


Figure 8. Intervalles de crédibilité obtenus à partir d'une distribution GEV, en valorisant plusieurs niveaux d'information historiques

Les estimations présentées dans ce paragraphe ont été réalisées par ajustement d'une distribution GEV. Bien que le choix de ce modèle constitue une hypothèse (on suppose que la variable aléatoire étudiée peut être représentée correctement par ce modèle), la paramétrisation de cette loi (3 paramètres à estimer) rend l'estimation très dépendante des informations fournies par les observations. La méthode d'estimation des

paramètres utilisée ici est une méthode Bayésienne, qui permet d'estimer la distribution de probabilité de chacun des paramètres du modèle compte tenu des observations, et d'en déduire un intervalle de crédibilité à 90 % autour du modèle jugé optimal (Neppel, 2010 ; Payrastre, 2006, 2011). La largeur de cet intervalle donne un aperçu de la confiance avec laquelle les paramètres du modèle sont déterminés. Cette méthode constitue un bon moyen d'évaluer l'incidence des observations disponibles sur l'estimation statistique du phénomène étudié.

Les résultats présentés sur la Figure 8 et dans le Tableau 2 illustrent l'influence des crues historiques de 1674 et 1827 sur la valeur estimée du débit centennal de la Nartuby à Trans en provence, ainsi que sur la gamme de périodes de retour attribuables à la crue de 2010 (dont le débit a été considéré égal à 450 m³/s). L'information prise en compte regroupe la série hydrométrique de Trans en provence (41 ans d'enregistrements) et les crues historiques ayant dépassé un seuil de débit de 350 m³/s au cours de la période considérée. Plusieurs hypothèses sont réalisées concernant la durée de cette période historique et le nombre de crues ayant dépassé le seuil :

- Cas 1 – pas d'information historique;
- Cas 2 - débit de 350 m³/s dépassé deux fois (en 1827 et en 2010) depuis 1800;
- Cas 3 – débit de 350 m³/s dépassé 3 fois depuis 1650 (1674, 1827, et 2010) ;
- Cas 4 – débit de 350 m³/s dépassé 4 fois depuis 1650 (on fait l'hypothèse qu'une autre crue historique majeure a dépassé le seuil, par exemple celle de 1685 ou 1864).

Ces résultats confirment d'un part que la série d'enregistrements récents fournit une information très limitée sur la valeur possible du débit centennal, et sur la position de la crue de 2010 par rapport à ce quantile (cas 1).

La mobilisation des informations historiques relatives aux crues de 1674 et 1827 (cas 2 et 3), permet de resserrer assez nettement l'intervalle de crédibilité sur le débit centennal. Dans ce cas, la période de retour estimée pour la crue de 2010 est supérieure à 100 ans (la crue se situe au niveau de la borne supérieure de l'intervalle de crédibilité sur le débit centennal). Enfin, l'occurrence d'une crue historique supplémentaire (pouvant par exemple correspondre à celle de 1685 ou 1864) modifie assez peu le position du débit centennal estimé et de son intervalle de crédibilité. La période de retour estimée de la crue de 2010 reste dans ce cas supérieure à 100 ans.

Finalement, en l'état actuel des choses, les informations qui ont pu être regroupées sur les crues historiques de la Nartuby (qui restent incomplètes rappelons le) semblent confirmer que la période de retour de la crue de 2010 est bien supérieure à 100 ans. En revanche il n'est possible de dire, sur la base de ces seules informations, si cette période de retour a très largement dépassé les 100 ans.

Ces résultats seront en particulier à réactualiser s'il apparait, à partir des recherches menées par les archives départementales du Var, que plus de 4 des crues historiques recensées depuis 1650 (notamment celles de 1666, 1685, 1697, 1708 et 1788) s'avèrent comparables ou supérieures à celles de 2010.

Tableau 2. évolution des intervalles de crédibilité à 90% sur le débit centennal, en fonction de l'information historique prise en compte

Informations prises en compte	Débit centennal estimé (en m ³ .s ⁻¹)	Intervalle de crédibilité à 90% sur le débit centennal estimé
Cas 1 – pas d'information historiques	277	172 - 807
Cas 2 - débit de 350 m ³ /s dépassé deux fois (en 1827 et en 2010) depuis 1800.	270	185 - 462
Cas 3 – débit de 350 m ³ /s dépassé 3 fois depuis 1650 (1674, 1827, et 2010)	267	193 - 406
Cas 4 - débit de 350 m ³ /s dépassé 4 fois depuis 1650 (1674, 1827, 1864? 1685?, et 2010)	296	214 - 445

4 Analyse du comportement hydrologique des bassins (simulations pluie débit)

Les différences de réactions des différents cours d'eau concernés par l'événement de juin 2010, appellent une analyse hydrologique plus poussée permettant d'une part de confirmer et de mieux quantifier ces différences, et d'autre part de les relier aux caractéristiques des bassins versants concernés (nature du sol et du substrat géologique en particulier).

Les résultats présentés dans ce paragraphe permettent d'apporter quelques éléments de réponse à ces questions. L'analyse menée repose sur une série de simulations pluie-débit, qui permettent notamment de mieux cerner le niveau de réactivité et le rendement d'écoulement des différents bassins versants impliqués dans l'événement.

4.1 Construction du modèle pluie-débit

Le modèle pluie-débit mis en œuvre est le modèle Cinécar de l'Ifsttar, déjà utilisé à plusieurs reprises pour ce type d'applications (Gaume et Bouvier, 2004 ; Gaume et al., 2004). Ce modèle est distribué et permet donc une représentation fine de la contribution des sous-bassins à la crue. Sa structure reste néanmoins relativement simple, avec une paramétrisation limitée au strict minimum. La topologie du modèle repose sur un découpage du réseau hydrographique en biefs, chaque bief étant alimenté par deux versants (cf. Figure 9). Cette topologie (délimitation et enchaînement des biefs, association des versants aux biefs) est directement déduite d'un MNT dont on extrait le réseau hydrographique pour une surface drainée minimale de 1 km², ce qui conduit à des tailles de versants d'environ 1 à 5 km² (cf. Figure 10).

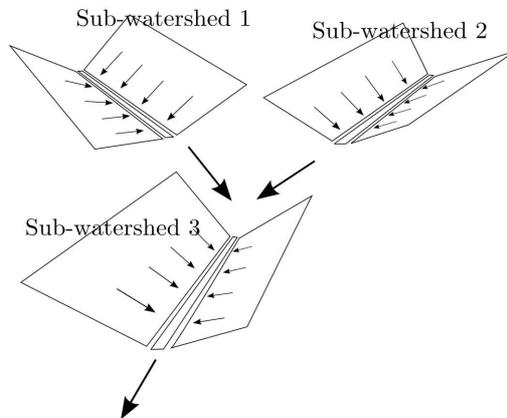


Figure 9. Principe général de fonctionnement du modèle Cinécar

Le transfert au sein du réseau de versants et de biefs ainsi constitué est représenté dans le modèle par les équations de l'onde cinématique. De façon à simplifier l'application de ces équations, on suppose que chaque bief (et versant) correspond à une section d'écoulement de forme rectangulaire et uniforme. De cette façon, les paramètres régissant le transfert sont la longueur, la pente et la largeur de chaque bief, la surface et la pente des versants associés, ainsi que la rugosité K de chaque élément. La plupart des caractéristiques géométriques nécessaires peuvent être estimées directement à partir du MNT (pente et longueur des biefs, ainsi que les surfaces et pentes des versants). Le paramétrage du transfert se limite finalement à la définition de la largeur des biefs, et des rugosités K . Les résultats antérieurs obtenus dans la Gard (projet PreDiFlood notamment) ont montré que pour les cours d'eau amont sujets aux crues rapides, la largeur des biefs peut être estimée sommairement en fonction de l'ordre de strahler, et les rugosités prises constantes, avec des résultats satisfaisants. Pour l'application présentée ici, les largeurs de biefs retenues (lit majeur) varient de 4 à 100 m en fonction de l'ordre de strahler (qui varie de 1 à 5), et les rugosités ont été fixées à 20 pour les biefs et 15 pour les versants.

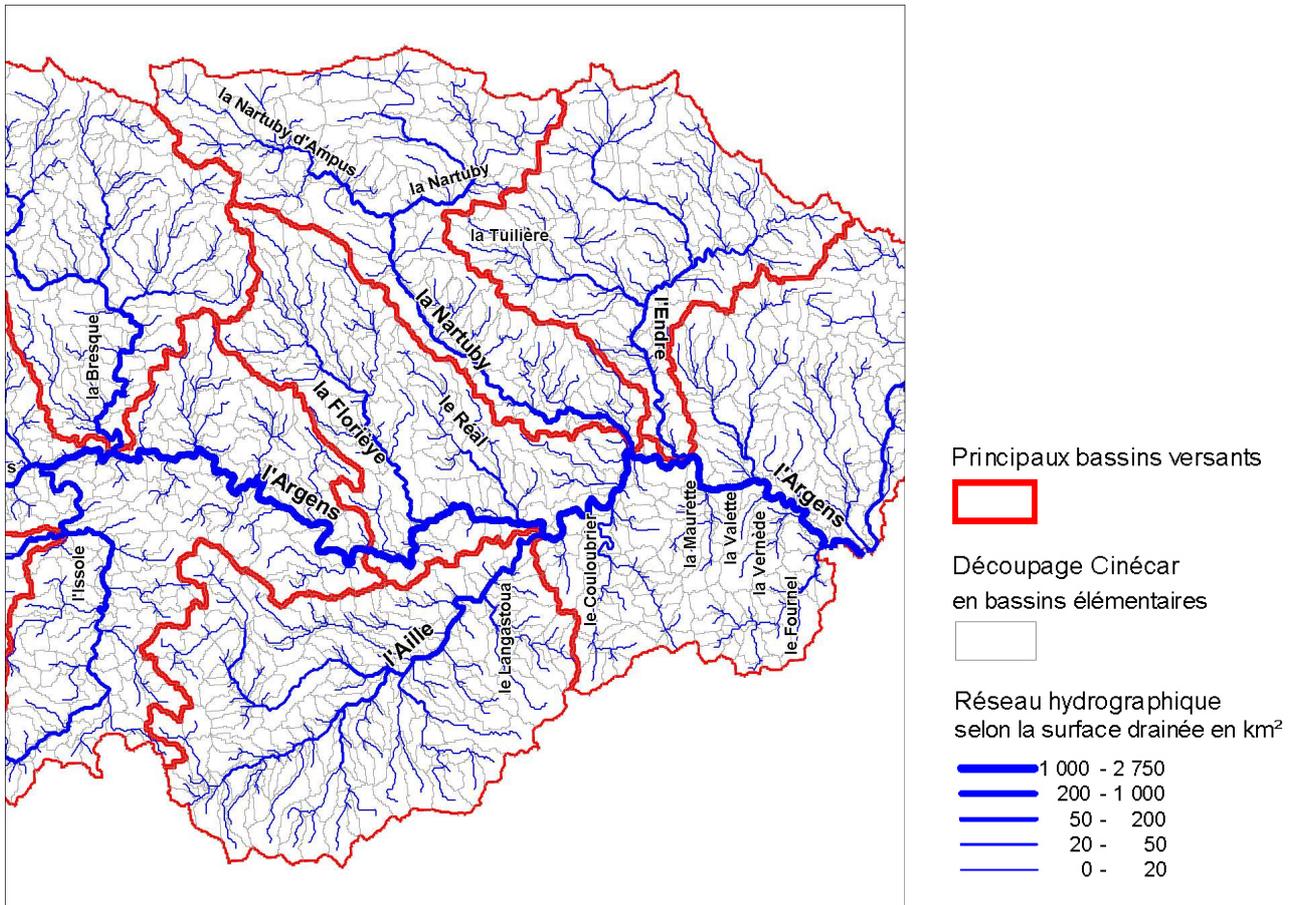


Figure 10. Découpage topologique du modèle Cinécar sur le secteur aval du bassin de l'Argens. Le réseau hydrographique considéré correspond à une surface drainée élémentaire de 1 km².

La partie production du modèle repose pour sa part sur le modèle du SCS avec un calcul différencié sur chaque versant, de façon à rendre compte des hétérogénéités spatiales du forçage pluviométrique. La fonction du SCS représente un fonctionnement des bassins par saturation progressive des sols : le rendement d'écoulement calculé est nul en début d'événement, puis évolue progressivement vers une valeur de 1 en fonction du cumul de pluie observée. La fonction ne comporte qu'un seul paramètre S , qui correspond à la quantité de pluie maximale de pluie absorbée par les sols avant saturation, exprimée en mm. La fonction du SCS s'exprime généralement de la façon suivante :

$$R = \frac{(P - P_0)^2}{(P + S - P_0)}$$

où R est le cumul de pluie écoulee, P le cumul de pluie observée tous deux exprimés en mm, et enfin P_0 correspond à des pertes initiales et est généralement pris égal à $0,2 S$. Le paramètre S est souvent relié à une valeur de curve number CN , à partir de la relation suivante :

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Ainsi un curve number de 100 représente un bassin totalement saturé avec un rendement d'écoulement de 1 dès le début de l'événement ($S=0$). Plus le CN diminue, plus la capacité d'absorption des sols S augmente : elle s'élève par exemple à 254 mm pour $CN=50$.

Pour l'application réalisée dans le Var, le paramètre CN (et donc S) a été considéré comme spatialement homogène c'est-à-dire identique sur tous les versants. Ceci constitue une hypothèse forte mais néanmoins acceptable dans la mesure où le modèle n'a pas été utilisé ici pour viser une simulation « parfaite » de l'événement, mais simplement pour analyser le niveau de réactivité et le rendement global des différents bassins versants. L'objectif de ce travail n'est donc pas de caler le CN , mais d'en tester plusieurs valeurs et de les confronter à la réalité des réactions observées. Les valeurs retenues pour les simulations ont été les suivantes : tout d'abord un CN de 100 représentant un bassin totalement imperméabilisé ($S=0$, rendement

d'écoulement de 1) ; puis des valeurs de CN de 70, 60, 50, 40 et 35 représentant des capacités d'absorption S respectives de 109 mm, 169 mm, 254 mm, 381 mm et 472 mm.

4.2 Résultats de l'application à l'événement des 15-16 juin 2010

Le modèle ainsi construit a été forcé à partir des lames d'eau Panthère Météo-France, au pas de temps de 15 minutes. Les résultats des simulations aux points pour lesquels des estimations de débit sont disponibles sont présentés en annexe 3. Quelques extraits sont également présentés sur la Figure 11. La bonne synchronisation des hydrogrammes simulés et des horaires des pics confirme que la paramétrisation du transfert choisie dans le modèle n'est pas aberrante. Le cas de la Nartuby à l'aval de Draguignan constitue une exception : d'après les témoins il semble que deux pics aient été observés, le deuxième assez tard dans la soirée. Cette dynamique est assez mal représentée par le modèle : ceci peut être relié à l'effet de stockage du à l'inondation du lit majeur dans la traversée de Draguignan, effet qui n'est pas représenté dans Cinécar. Toutefois, ce décalage n'est pas de nature à remettre en cause l'analyse conduite ci-après.

Les différentes valeurs de CN utilisées permettent de confirmer les tendances déjà évoquées au paragraphe 2.2 : la Nartuby se distingue nettement des autres cours d'eau par une réaction très atténuée. L'ordre de grandeur du débit de pointe est correctement simulé pour des valeurs de CN ne dépassant pas 35 à 40, ce qui illustre bien le très fort effet de rétention exercé par ce bassin. Au plus fort de l'événement, le rendement d'écoulement ne semble pas avoir dépassé 25% sur ce bassin. A Rebouillon par exemple (cf. Figure 11), le débit estimé se situe aux alentours de 350 à 400 m³.s⁻¹, alors qu'il aurait pu dépasser les 1600 m³.s⁻¹ avec un rendement d'écoulement de 1 (CN 100). Le même constat est effectué à Trans-en-Provence.

Les autres cours d'eau de la rive gauche de l'Argens présentent une réaction plus marquée. Les débits de pointe étant reproduits pour des CN de l'ordre de 50 à 60, représentatifs de capacités d'absorption qui restent très significatives sur ces bassins. Les rendements d'écoulement lors de la pointe de débit se situent aux alentours de 50%. Parmi ces cours d'eau, le cas de la Florieye doit toutefois être considéré avec précaution : si le rendement d'écoulement y dépasse bien les 50% d'après la Figure 11, compte tenu de la sous estimation probable de la lame d'eau radar prise en compte dans le calcul, le rendement réel se situe probablement à une valeur sensiblement inférieure (de 10 à 20 %).

Toujours en rive gauche de l'Argens, une seule exception est constatée sur le ruisseau de la Tuilière à Figanières, dont le niveau de réactivité (CN de 70) est plus proche de celui constaté sur les cours d'eau de la rive droite, évoqués ci-après. Le rendement d'écoulement semble avoir approché les 75 % sur ce bassin, sans explication évidente.

Enfin, en rive droite de l'Argens (massif des Maures), notamment sur l'Aille, une forte réactivité des cours d'eau est globalement constatée : les débits de pointe sont correctement reproduits pour une valeur de CN de 70. Sur l'Aille, le rendement d'écoulement semble également avoir largement dépassé les 50 % alors que la pluviométrie enregistrée est nettement moins élevée (cumuls d'environ 200 mm contre 300 à 400 mm en rive gauche). Toutefois, ici encore, la pluviométrie semble avoir été sous-estimée ce qui conduit à probablement à surestimer sensiblement le rendement d'écoulement réel (toujours de 10 à 20%).

Malgré les incertitudes associées à l'estimation de la pluviométrie, ces résultats confirment globalement la forte hétérogénéité de réaction des cours d'eau touchés par la crue du 15 juin 2010. Bien que les dégâts causés par la Nartuby aient été considérables, ce bassin a manifestement joué un rôle atténuateur important qui a permis de limiter fortement le débit de pointe de la crue. Cet effet est probablement à relier à la géologie de ce bassin, qui draine les hauts plateaux varois (Plans de Canjuers) constitués de calcaires et de dolomies du Lias et du Jurassique fortement karstifiés. Il est vraisemblable que le karst a joué un rôle important dans l'atténuation de la réponse de ce bassin. La forte réaction observée sur le ruisseau de la Tuilière, très proche de la Nartuby, reste une énigme, mais doit être considéré avec prudence compte tenu d'erreurs d'estimation toujours possibles à la fois sur la pluviométrie et les débits. A l'opposé, le bassin de l'Aille, drainant la dépression permienne et le massif des Maures, apparaît comme un bassin beaucoup plus réactif mais dans lequel la vulnérabilité aux crues s'avère fort heureusement très limitée.

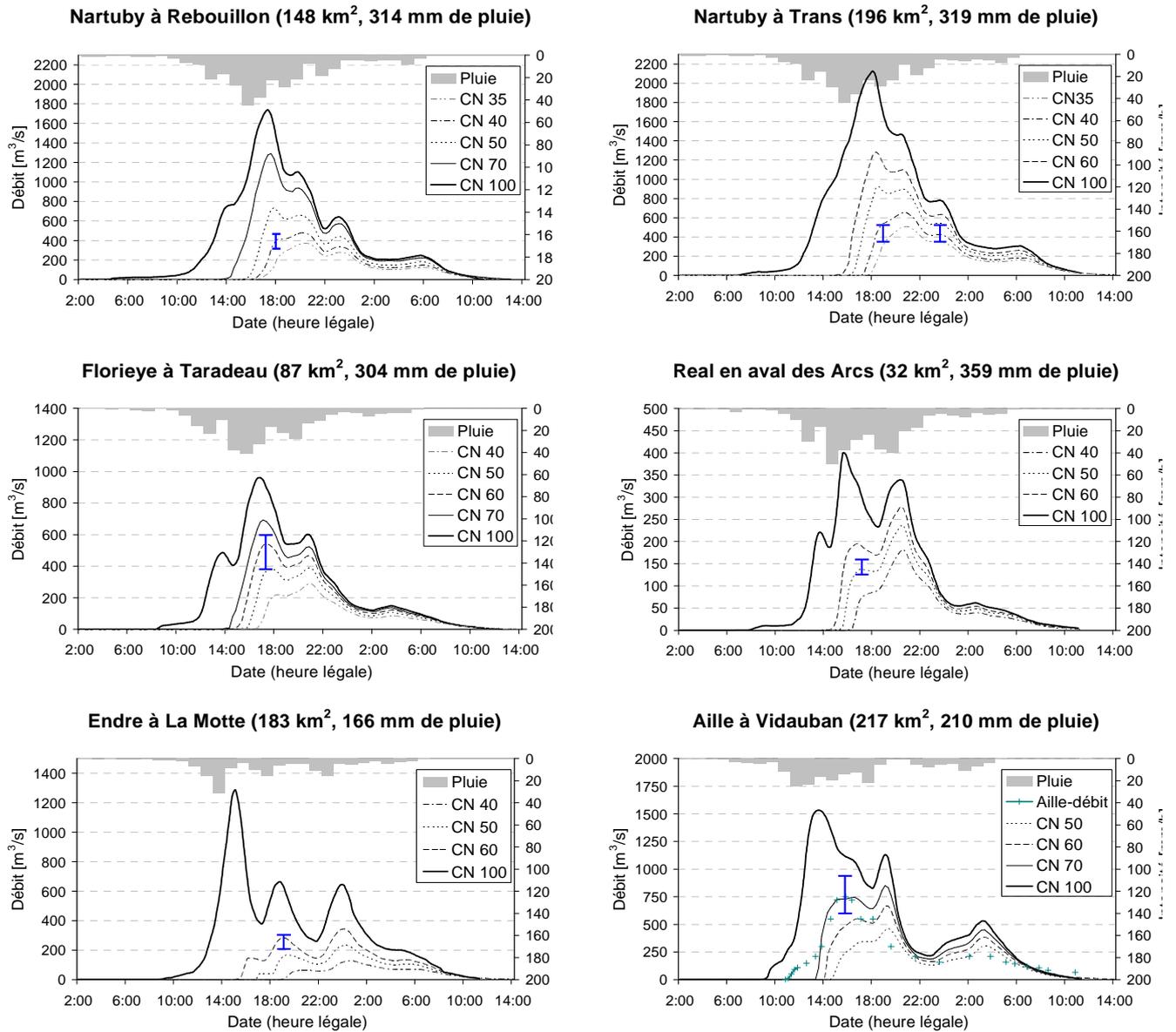


Figure 11. Exemples de simulations pluie – débit obtenues avec le modèle Cinecar, pour différentes valeurs de CN. Les intervalles verticaux représentent les valeurs de débit de pointe estimées pour chaque site.

5 Conclusions

Les investigations conduites et synthétisées dans ce rapport ont apporté des informations importantes sur les caractéristiques et le fonctionnement de la crue du 15 juin 2010.

En ce qui concerne les débits de pointe de la crue, l'enquête post-événement menée permet de disposer de 36 estimations de débit réparties sur l'ensemble du réseau hydrographique touché par la crue. Une bonne moitié de ces estimations concerne des petits cours d'eau dont la surface drainée n'excède pas 50 km². La confrontation de ces estimations avec celles issues des autres investigations menées suite à la crue, n'a pas mis en évidence de fortes disparités et a finalement permis d'aboutir, pour les principaux cours d'eau concernés, à des valeurs de débits harmonisées et intégrant l'ensemble des informations disponibles.

Ces estimations de débits mettent en évidence une nette disparité de la réaction des cours d'eau touchés par la crue. La réalisation de quelques simulations pluie-débit permet d'interpréter ces différences de façon plus détaillée. Le principal enseignement est l'effet atténuateur important exercé par le bassin de la Nartuby, probablement à relier avec la karstification importante de ce bassin. Un comportement similaire mais moins marqué apparaît sur d'autres cours d'eau situés en rive gauche de l'Argens comme la Florieye et le Réal. En rive droite de l'Argens, les cours d'eau du massif des Maures apparaissent, pour leur part, nettement plus réactifs.

Enfin, les recherches effectuées aux archives départementales du Var, même si elles s'avèrent relativement décevantes en termes de richesse de l'information reconstituée, confirment l'occurrence sur la Nartuby d'au moins deux crues de caractéristiques similaires à celle de 2010, en 1674 et 1827. L'exploitation de cette information au sein d'une analyse fréquentielle permet d'avoir une meilleure idée de la fréquence d'occurrence possible de ce type de phénomène. Les analyses présentées convergent pour placer la période de retour de la crue de 2010 au-delà de 100 ans sur la Nartuby, mais pas nécessairement à des niveaux très largement supérieurs.

6 Bibliographie

- Borga M., Gaume E., Creutin D., Marchi L., 2008, Surveying flash flood : gauging the ungauged extremes, *Hydrological processes*, 22, Vol. 18, pp 3883-3885.
- Cœur D. et Lang M. (2000) L'information historique des inondations: l'histoire ne donne-t-elle que des leçons? *La Houille Blanche – Revue Internationale de l'Eau*, (2): 79-84.
- Cœur D., Lang M. et Paquier M. (2002) - L'historien, l'hydraulicien, l'hydrologue et la connaissance des inondations. *La Houille Blanche – Revue Internationale de l'Eau*, (4/5): 61-66.
- Delrieu G, Ducrocq V, Gaume E, Nicol J, Payrastre O, Yates E, Kirstetter P-E, Andrieu H, Ayrat PA, Bouvier C, Creutin JD, Livet M, Anquetin A, Lang M, Neppel L, Obled C, Parent-du-Chatelet J, Saulnier GM, Walpersdorf A, Wobrock W. 2005. The catastrophic flash-flood event of 8–9 September 2002 in the Gard region, France: a first case study for the Cevennes-Vivarais Mediterranean Hydro-meteorological Observatory. *Journal of Hydrometeorology*, 6: 34–52.
- Gaume E, Livet M, Desbordes M, Villeneuve JP. 2004. Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999. *Journal of Hydrology* 286: 135–154.
- Gaume E., Bouvier C. 2004, Analyse hydro-pluviométrique des crues du Gard et du Vidourle des 8 et 9 septembre 2002, *La Houille Blanche*, 2004-6.
- Gaume E. , 2006, Methodological note on post flash-flood investigations, deliverable report D23.2 from the FLOODsite project (<http://www.floodsite.net/default.htm>), 54p.
- Gaume E., Borga M. 2008, Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods : proposal of a methodology and illustrations, *Journal of Flood Risk Management*, 1, pp.175-189.
- Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L., Blöschl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos I., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D, *et al.*, 2009, A compilation of data on European flash floods, *Journal of Hydrology*, 367, 1-2, pp 70-78.
- Lang M., Cœur D., Lallement C. & Naulet R. (1998) - Valorisation de l'information historique pour la prédétermination du risque d'inondation: application au bassin du Guiers. *Ingénieries EAT*, 16, 3-13.
- Naulet R., Lang M., Coeur D., et Gigon C. (2001) - Collaboration between historians and hydrologists on the Ardèche river (France). First step: Inventory of historical flood information. Dans *Advances in Natural and Technological Research: "The use of historical data in natural hazard assessments"*, Ed. Albin P. Glade T. et Frances F., vol. 17, p. 113-129. Kluwer Academic publishers.
- Naulet R., Lang M., Ouarda T.B.M.J., Cœur D., Bobée B., Recking A., Moussay D. (2005) - Flood frequency analysis on the Ardèche river using French documentary sources from the last two centuries. *Journal of Hydrology*, 313:58-78.
- Neppel L., Renard B., Lang M., Coeur D., Gaume E., Jacob N., Payrastre O., Pobanz K., and Vinet F. (2010), Flood frequency analysis using historical data: accounting for random and systematic errors, *Hydrological Sciences Journal*, 55 (2), 192--208, doi:10.1080/02626660903546092.
- Payrastre, O., Gaume E., and Andrieu H. (2006), Usefulness of historical flood series reconstruction for the study of extreme floods in small watersheds. Case study of four small tributaries of the Aude river, France, *La Houille Blanche*, 6, 79-86.
- Payrastre, O., E. Gaume, and H. Andrieu (2011), Usefulness of historical information for flood frequency analyses: Developments based on a case study, *Water Resour. Res.*, 47, W08511, doi:10.1029/2010WR009812.
- Pelissier, J. et Décuq, E. (à paraître), Inondations historiques en Dracénie et crues de la Nartuby : présentation des sources archivistiques. *Archives Départementales du Var*, à paraître.

7 Annexes

7.1 Annexe 1 : Résultats de l'enquête post-crue HYMEX

7.1.1 Estimations de débits de pointe

Rivière	Localisation	X_UTM	Y_UTM	Surface (km ²)	Débit estimé (m ³ .s ⁻¹)		
					Q _{min}	Q _{prob}	Q _{max}
Aille	Vidauban	293930	4808010	217	600	750	950
Argens	LeMuy	302450	4813400	1981	1700	2100	2500
Argens	LesArcs	295950	4813230	1646	850	1200	1500
Argens	Vidauban	291800	4811600	1549	400	480	560
Endre	LaMotte (RD47)	305150	4819600	183	200	250	300
Endre	LaMotte (sortie gorges)	304450	4822333	169	160	200	240
Florieye	Flayosc (SauveClare)	288157	4821268	35	115	140	175
Florieye	Lorgues (RD562)	289787	4819194	65	300	370	450
Florieye	Taradeau (gorges)	291490	4815373	87	390	480	580
Florieye	Taradeau (gorges)	291490	4815373	87	380	460	570
Imp. de beaulieu (Nartuby)	Trans	296820	4819973		25	45	55
Nartuby	Chateaudouble aval	292726	4829693	75	165	200	250
Nartuby	Rebouillon	291985	4828408	148	300	350	400
Nartuby	Rebouillon	291985	4828408	148	300	350	400
Nartuby	Rebouillon	291950	4828200	148	320	360	400
Nartuby	Saut de Capellan	299904	4818236	208	300	450	550
Nartuby	Trans	296750	4819820	195	400	450	500
Nartuby	Trans	296750	4819820	195	450	525	600
Nartuby	Trans aval village	296942	4819520	196	300	400	500
Nartuby d'Ampus	Ampus (amont RD51)	288880	4831791	54	140	160	190
Nartuby d'Ampus	Ampus (entree gorges)	289541	4831291	62	165	220	270
R. affluent Nartuby	Le_clos	291650	4827400	3,6	15	20	25
R. affluent Nartuby d'Ampus	Le long RD49	288527	4830564	4,5	35	45	60
R. de la Maurette (aff. Argens)	Roquebrune	307460	4812718	12	50	70	90
R. de la Tuiliere (aff. Endre)	Figanieres (aval village)	298160	4826997	4,2	30	38	45
R. de la Vernede (aff. Argens)		310765	4810360	6	10	10	15
R. le Couloubrier (aff. Argens)	Castel_Diaou	302050	4810300	35	140	210	290
Real	Les Arcs (amont village)	294546	4816761	15,5	65	100	140
Real	LesArcs (A8)	297232	4813345	32	150	170	190
T. de la Valette (aff. Argens)		309700	4812315	3	10	10	15
T. le Fournel (aff. Argens)	Roquebrune	310900	4806800	19	55	70	90
V. de la Riaille (aff. Nartuby)	Draguignan	295362	4824333	3,5	10	15	15
V. de Langastoua (aff. Aille)	LaBastideRouge	295480	4807590	25	100	120	140
V. de laTunis (aff. Nartuby)	Rebouillon	292100	4827000	5,5	30	40	50
V. de Saint Pons (aff. Endre)	Figanieres (pont RD562)	300064	4825334	19	60	75	90
V. de Sainte Cecile (aff. Real)	LesArcs	296461	4816117	7,5	15	20	25

7.1.2 Témoignages : Horaires des pics de crue

Lieu et situation du témoin lors de la crue	Début de l'événement	Maximum d'intensité	Hauteur d'eau max et vitesse	Fin de l'événement
Draguignan - Résidence près de la maison de retraite, a proximité de la Riaille	15h45 « appel de sa fille »	16h30-16h45. A 23h, écoulement toujours aussi fort dans la rue.	30cm dans la rue, très rapide (« un torrent »)	Le lendemain vers 7h encore un petit écoulement sur la rue
Figanières - Boulangerie	17h	Entre 17h30 et 17h45	Eau jusqu'au Bec d'eau de la fontaine	
Figanières - Boutique Thym Senteur	17h eau dans la boutique	Entre 17h et 19h	« coulait comme une rivière »	A 19h, assez vite descendu
Figanières - Mairie de Figagnière	17h	17h30-17h45		Pas de remontée après 22 heures. Fin le lendemain matin
Les Arcs - Déplacement sur la commune (pompiers)	Le matin (pluies importantes)	Entre 16h et 21 heures		4 à 5 heures du matin
Les Arcs - Mairie	15h55	16h30	1 m devant la mairie, « torrent de boue »	à 22h45 le niveau a baissé, peut sortir derrière la mairie
Les Arcs - Maison en aval des Arcs avant la ligne de chemin de fer		Vers 17h	inondations plus fortes en 1974	
Rebouillon - Maison en rive gauche de la Nartuby, puis chez un voisin	15h45 « les arbres descendent la rivière »	16h15		Fin de la pluie vers 2h du matin
Taradeau - Centre de Taradeau (bar) puis déplacement sur Taradeau, a pris des vidéos	15h	16h, la chaussée du pont commençait à être submergée		
Taradeau - Lotissement à proximité du pont	15-16 h	16h30-17h, avant rupture de la chaussée du pont	Eau dans son jardin jusqu'à 17h	
Taradeau - Mairie + déplacement sur la commune	13h30, passerelle submersible au bout du village submergée	17h-17h15, la chaussée d'accès au pont a ensuite cédé	11 m par rapport au pont ?	Vers 3h du matin

7.2 Annexe 2 : état général des sources identifiées aux archives départementales du Var

Les cellules grisées correspondent à des dossiers identifiés mais qui n'ont pas été consultés.

7.2.1 Série 7S : Service hydraulique, syndicats ; cours d'eau et canaux d'irrigation (fonds de la préfecture)

			Intitule	debut	fin	
7	S	5	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune des Arcs, rivière d' Argens, usines, barrages : pétitions, règlements d' eau	1811	1908
7	S	6	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Idem, rivières d' Argens et de Sainte-Cécile, vallat de Fontroussière : règlements d' eau (1850-1866) ; fixation du lit normal du petit Réal	1849	1896
7	S	12	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Brignoles, rivière de Caramy : prises d' eau, barrages, usines, pétitions, règlements	1818	1870
7	S	14	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Draguignan, rivière de la Nartuby : fixation du lit de cette rivière ; usines, ponts, prises d' eau ; interdiction de déposer des ordures, résidus de savon, Rivières du Flayosquet et de la Foux : pétitions, règlements d'eau	1806	1890
7	S	17	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Figanières, ruisseaux de Viget, de Fontvieille : barrages, usines, ponceaux, règlements	1860	1932
7	S	18	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Flayosc, rivière de Florieye et autres ruisseaux ; transformation de moulin à rescences : pétitions, décisions	1861	1906
7	S	29	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Lorgues, rivière de l' Argens, norria, barrages, dérivationsn des eaux : pétitions, règlements ; barrage hydro-électrique : enquêtes ; ponts : pétitions, décisions, Rivière de la Florieye, barrages, usines : pétitions, règlements	1861	1906
7	S	35	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Montferrat, rivière de Nartuby, reconstruction d' un barrage, établissement d' une passerelle : pétitions, règlements	1863	1891
7	S	36	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Montfort, rivière d' Argens, usines, moilins, barrages : pétitions, règlements	1838	1875
7	S	38	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de La Motte, canal dérivé de la Nartuby : projets, enquêtes ; tableaux des usines et moulins (1810) ; usines, barrages, prises d' eau : pétitions, règlements	1810	1937
7	S	39	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune du Muy, rivière de Nartuby, canal dérivé de Ribeirotte : usines, barrages, prises d' eau, pétitions, règlement	1831	1837
7	S	48	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Roquebrune, rivière d' Argens : fixation du lit de ce cours d' eau entre le pont de Roquebrune et les limites de Fréjus et du Puget ; travaux de défense, usines, barrages, Rivière du Blavet : barrages, travaux, pétitions, règlements	1818	1938
7	S	62	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Taradeau, rivière de Florieye : barrages, pétitions, règlements	1863	1906
7	S	67	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Trans, rivière de la Nartuby : fixation du lit normal de ce cours d' eau ; règlement d' office des canaux et des usines de la commune de Trans (1851-1852) ; usines, barrages, prises d' eau, pétitions, règlements	1842	1867
7	S	68	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Idem, rivière de la Nartuby : usines, barrages, prises d' eau, règlements	1856	1912
7	S	69	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Idem, rivière de la Foux : usines, barrages, pétitions, règlements	1806	1868
7	S	73	Barrages-Prises d' eau-Usines-Moulins	Commune de Vidauban, rivière d' Argens : prises d' eau d' Astros, barrage d' Entraigues et barrage hydro-électrique, règlements, décisions (1822-1904), Rivière d' Aille et autres cours d' eau : prises d' eau, barrages, ponts ; moulin à scie, règlements	An XIII	1904
7	S	82	Police des cours d' eau - Affaires Syndicales (1)	Commune d' Ampus, affaires syndicales : syndicat du canal de Fontignon, règlement ; autres canaux : pétitions, règlements	1806	1858
7	S	83	Police des cours d' eau - Affaires Syndicales (1)	Commune des Arcs, affaires syndicales ; règlement d' arrosage (1856-1909) ; irrigation de la plaine ; travaux de défense des berges	1810	1909
7	S	111	Police des cours d' eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Châteaudouble, canaux, règlement d' arrosage ; usines, barrages : pétitions, règlements	1813	1900
7	S	122	Police des cours d' eau - Affaires Syndicales (1)	Idem, alimentation en eau potable de la ville par les eaux des Frayères, des Rayollets, des Incapis : enquêtes, achat des terrains, travaux de captage, pose des canalisations	1862	1933
7	S	127	Police des cours d' eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Figanières, constitution et règlements des syndicats d' arrosants, règlement d' arrosage (1841-1865) ; police des cours d' eau, usines, barrages, pont : pétitions, règlements	1841	1932
7	S	129	Police des cours d' eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Flayosc, affaires syndicales : création du syndicat du canal de Flayosc (1832) ; police des cours d' eau, vallon de Pontillesse, barrages :	1832	1906

			pétitions, règlements			
7	S	146	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Lorgues, syndicat des Salettes, du canal de Sainte-Croix : statuts ; union des usagers de la source de l' Etang et des eaux de Floriège : statuts	1830	1904
7	S	151	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Montferrat, syndicat de la Nartuby : statuts	1855	1855
7	S	153	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune du Muy, syndicat du canal de la Ribeirotte : statuts (1847) ; règlement d' arrosage : titres de propriété des De Villeneuve (1812-1816) ; barrage de Valbourgès : procédure, copies de titres (1565)	1812	1847
7	S	154	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Idem, projet de canal intercommunal : enquête, rapports, plans	1862	1862
7	S	163	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Roquebrune, affaires syndicales, syndicat du Grand Vallat : statuts ; association syndicale de curage : constitution (1866)	1860	1928
7	S	182	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Taradeau, association pour le curage des canaux dérivés de Florièyes : enquête, constitutions ; adduction des eaux de la source de Gayepan, plans	1864	1909
7	S	188	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Trans, affaires syndicales : syndicat de la Nartuby, titres de propriété des moulins (1807) : litige, règlement relatif à une écluse ; canal de Vignarès : règlement d' arrosage (1855)	1807	1900
7	S	193	Police des cours d'eau - Affaires Syndicales (1)	Commune de Vidauban, syndicats de la Condamine, du canal du moulin, syndicat pour l' assèchement de la plaine de l' Argens : actes constitutifs, pétitions, règlements	1848	1924

7.2.2 Série 5S : Routes ou grande voirie, circulation et transports routiers (fonds des Ponts et Chaussées)

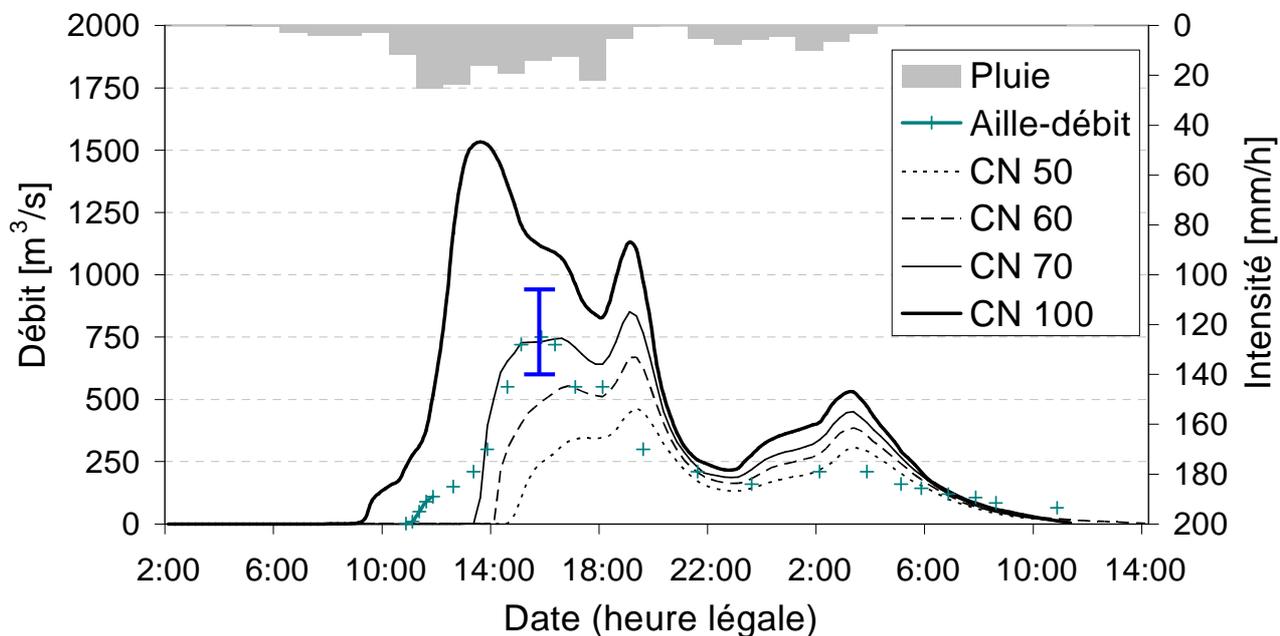
			intitule	début	fin	
2	S	12	Généralités - Entretien de la grande voirie	Visites et inspections des ponts	1893	1940
2	S	66	R.N. 97 de Toulon à Antibes	Pont sur l'Argens : réparations	1829	1889
2	S	69	R.N. 97 de Toulon à Antibes	Pont sur l'Endre : réparations	1813	1830
2	S	72	R.N. 97 de Toulon à Antibes	Ponts et ponceaux : travaux d'élargissement et de réfection	1806	1906
2	S	178	D.7 De Draguignan à Barjols	Rectification des pentes de Florièyes et du Riou, amélioration entre Flayosc et la D.9 : dossiers techniques, plans, ouvrages d'art, rapport de l'ingénieur	1866	1868
2	S	179	D.7 De Draguignan à Barjols	Rectification des rampes de Florièyes et du Riou : plans, rapports, devis, ouvrages d'art	1866	1868
2	S	192	D.8 Du Luc à Saint-Tropez	Construction de ponts et réparations	1845	1868
2	S	206	D.10 De Lorgues à Fréjus	Construction d'un pont sur la Florièyes	1864	1881
2	S	230	D.14 De Castellane à Toulon	Rectification entre Rebouillon et Draguignan : projet, plans, acquisition de terrains, rapports. Rectification entre Draguignan et Les Arcs : devis, cahier des charges, ouvrages d'art, plans	1842	1860
2	S	236	D.14 De Castellane à Toulon	Construction de ponts : sur le Jabron, à Soleil, sur la Nartuby, sur la Riaille	1840	1892
2	S	238	D.14 De Castellane à Toulon	Construction de mur de défense, de banquettes, dans la vallée de la Nartuby	1866	1889
2	S	269	D.20 De Brignoles à Grasse	Construction et rectification entre Lorgues, la plaine de Troin et Draguignan	1845	1846
2	S	275	D.20 De Brignoles à Grasse	Construction de ponts et réparations	1845	1888
2	S	369	G.C. 19 De Lorgues à la Garde Freinet	Construction d'un pont à trois arches sur la rivière d'Aille : plans, dessins et rapport. Construction de ponts sur les rivières des Plaines et de l'Argens : dessins, rapports	1847	1857
2	S	409	G.C. 36 Du Muy à Sainte-Maxime	Construction de deux ponts sur l'Argens et de ponts sur divers vallons : plans, devis	1858	1869
2	S	414	G.C. 38 D'Aups à Montferrat	Rectification entre la rampe de l'oratoire et le village de Châteaudouble, entre ce village et la D. 14 : plans, rapport, devis, mémoire	1860	1877
2	S	415	G.C. 38 D'Aups à Montferrat	Construction entre Châteaudouble et la D. 14 : plans, rapport	1860	1867
2	S	417	G.C. 38 D'Aups à Montferrat	Construction du pont de Raton : plans, dessins, financement, rapport, renseignements divers	1859	1921
2	S	512	I.C. 1 De Lorgues à Vidauban	Classement ; construction d'un pont à Vidauban : plans, devis, rapports ; ancien chemin de la Roquebrussanne à Rocbaron : classement, travaux, terrains	1852	1912
2	S	529	I.C. 7 De Roquebrune à Cavalaire	Construction d'un pont métallique de 50 m d'ouverture sur l'Argens : plans, rapports, décision, financement	1898	1903
2	S	545	IC.12 De Vidauban au Revest	Pont sur l'Aille, dossier technique de la Société anonyme des Forges de Franche Comté ; cessions et acquisitions de terrains	1896	1902

7.2.3 Série 5S :Chemins de Fer (Fonds de la préfecture et des Ponts et Chaussées)

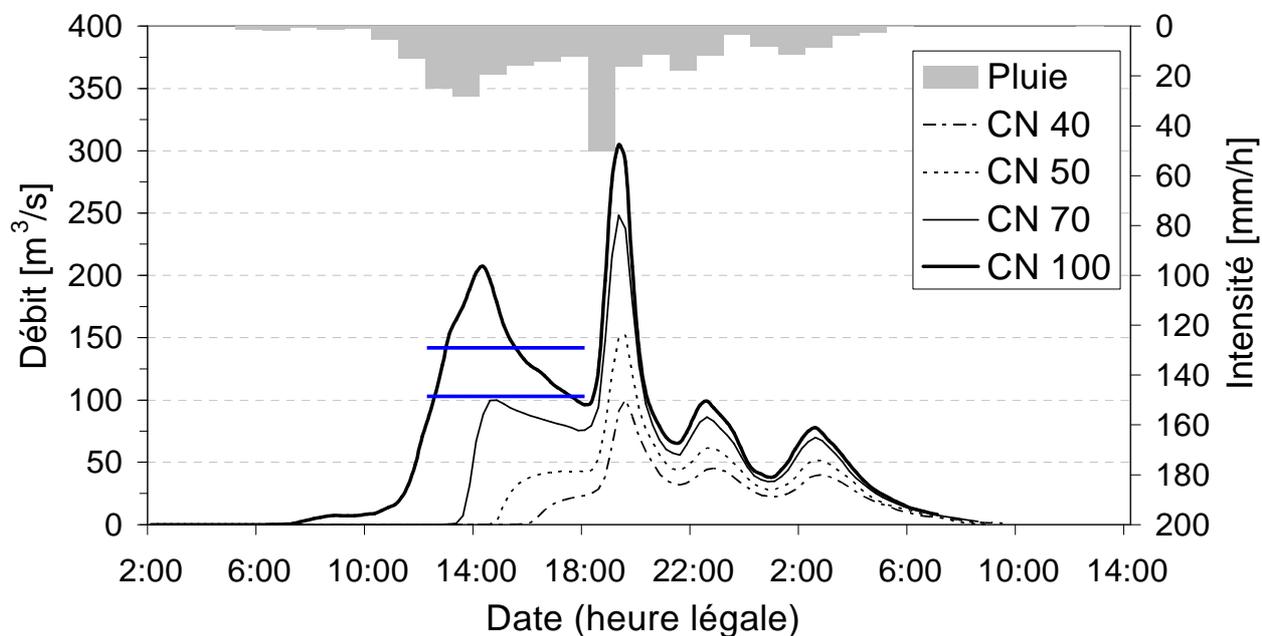
			intitule	début	fin
5	S 8	Chemins de Fer d' Interêt Général Réseau du P.L.M.	Ligne de Marseille à Vintimille	Tracés comparatifs : études, mémoires, conférences, plans, décisions	1842 1867
5	S 19	Chemins de Fer d' Interêt Général Réseau du P.L.M.	Ligne de Marseille à Vintimille	Embranchement des Arcs à Draguignan : enquête parcellaire, étude du tracé, rapports	1857 1876
5	S 27	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Affaires générales	Chemins de fer à voies étroites, établissement de nouvelles voies ferrées dans le var : avant-projet d' une ligne de Meyrargues à Draguignan et à Grasse	1869 1883
5	S 48	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Ligne de Meyrargues à Grasse	Section Draguignan-Meyrargues. Consolidation des tranchées : rapports, plans	1890 1890
5	S 50	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Ligne de Meyrargues à Grasse	Section Draguignan-Meyrargues. Remises des ouvrages dans le département des Bouches-du-Rhône	1890 1890
5	S 51	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Ligne de Meyrargues à Grasse	Section Draguignan-Meyrargues. Récolement et remise des ouvrages, département du Var	1890 1890
5	S 52	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Ligne de Meyrargues à Grasse	Section Draguignan-Meyrargues. Récolement et remise des ouvrages, département du Var	1890 1890
5	S 134	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Lignes diverses	Ligne de Draguignan à Saint-Aygulf : avant-projet, enquêtes, rapports	1904 1906
5	S 138	Chemins de Fer d' Interêt secondaire Réseau des chemins de fer du sud de la France	Lignes diverses	Ligne de Draguignan à Saint-Maximin :projet, dossiers techniques, plans, rapports	1879 1879
5	S 168	Lignes demeurées à l' état de projets	De Draguignan à Saint-André	Avant-projet : plans du tracé général et profils	1891 1907
5	S 170	Lignes demeurées à l' état de projets	De Draguignan à Saint-André	Modifications apportées à l' avant-projet : plan général, plans, profils	1911 1912

7.3 Annexe 3 : graphiques des simulations pluie-débit

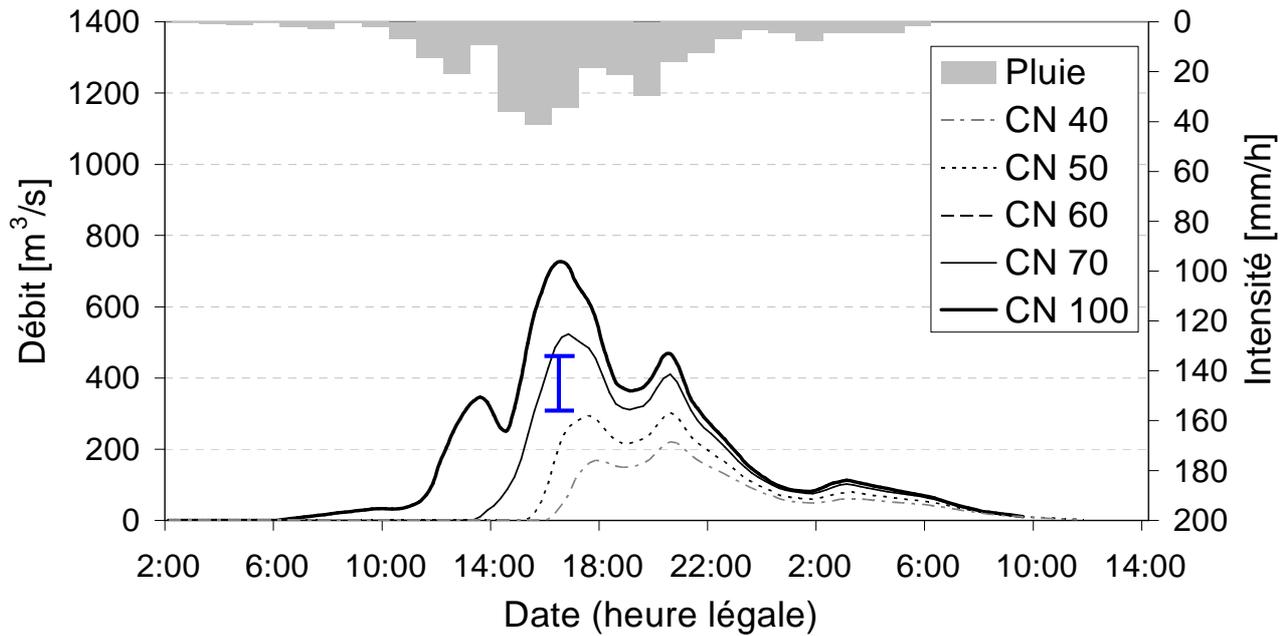
Aille à Vidauban (217 km², 210 mm de pluie)



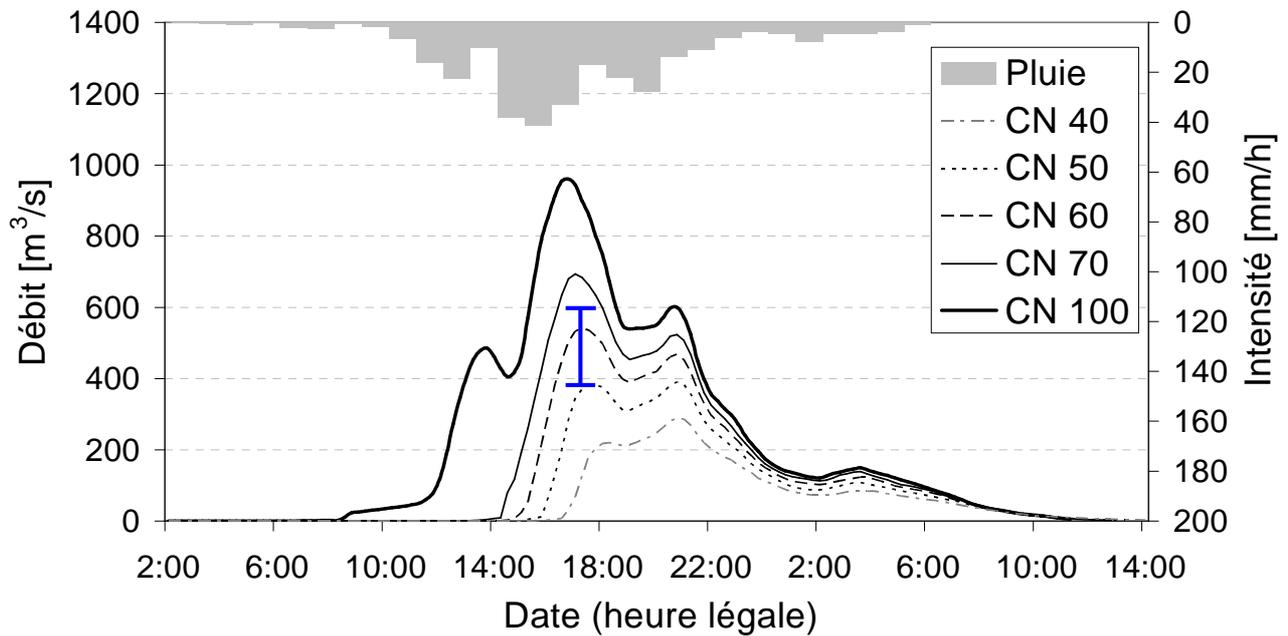
Le Langastoua (25 km², 284 mm de pluie)



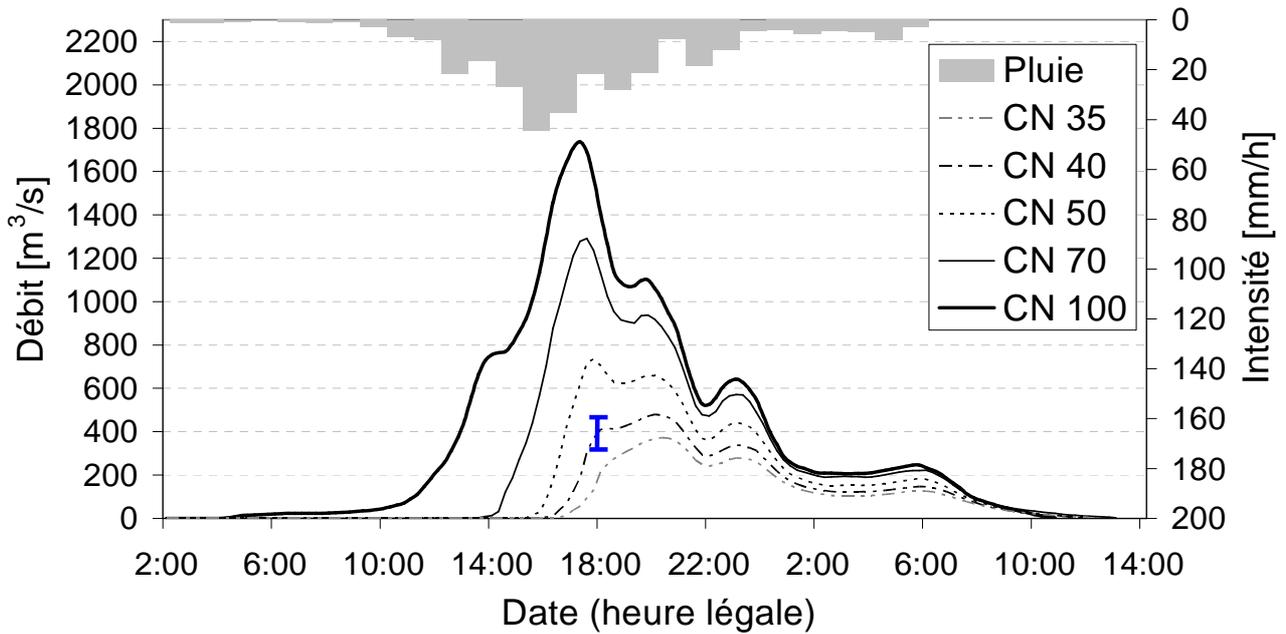
Florieye à Lorgues (65 km², 308 mm de pluie)



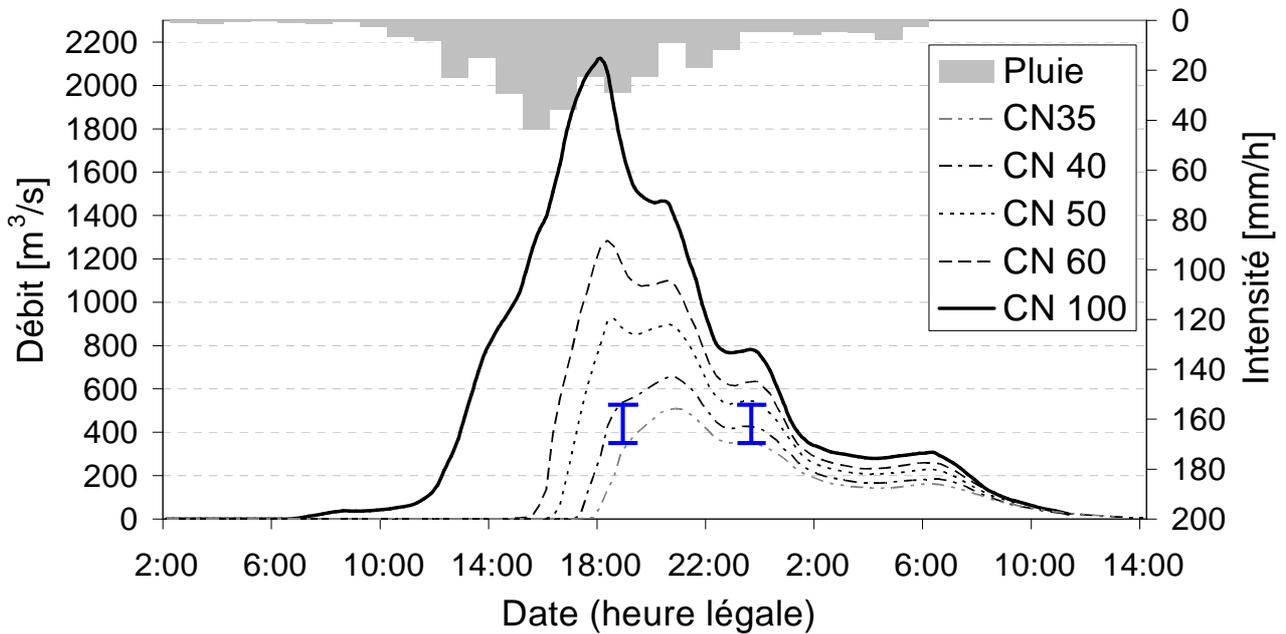
Florieye à Taradeau (87 km², 304 mm de pluie)



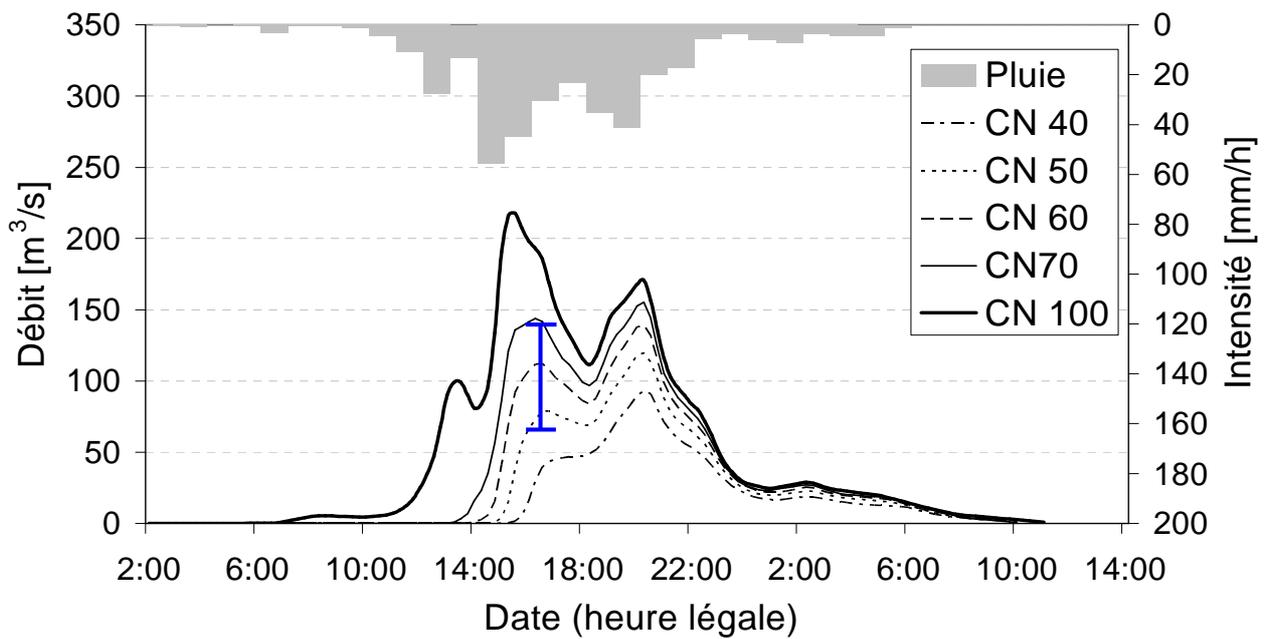
Nartuby à Rebouillon (148 km², 314 mm de pluie)



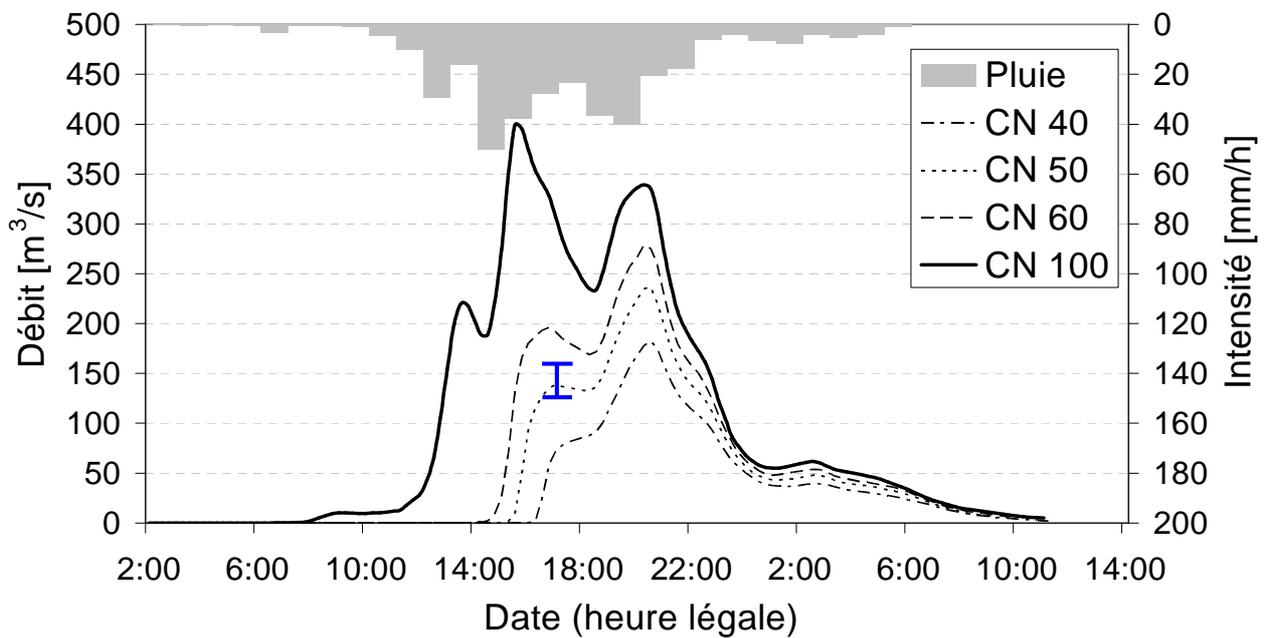
Nartuby à Trans (196 km², 319 mm de pluie)



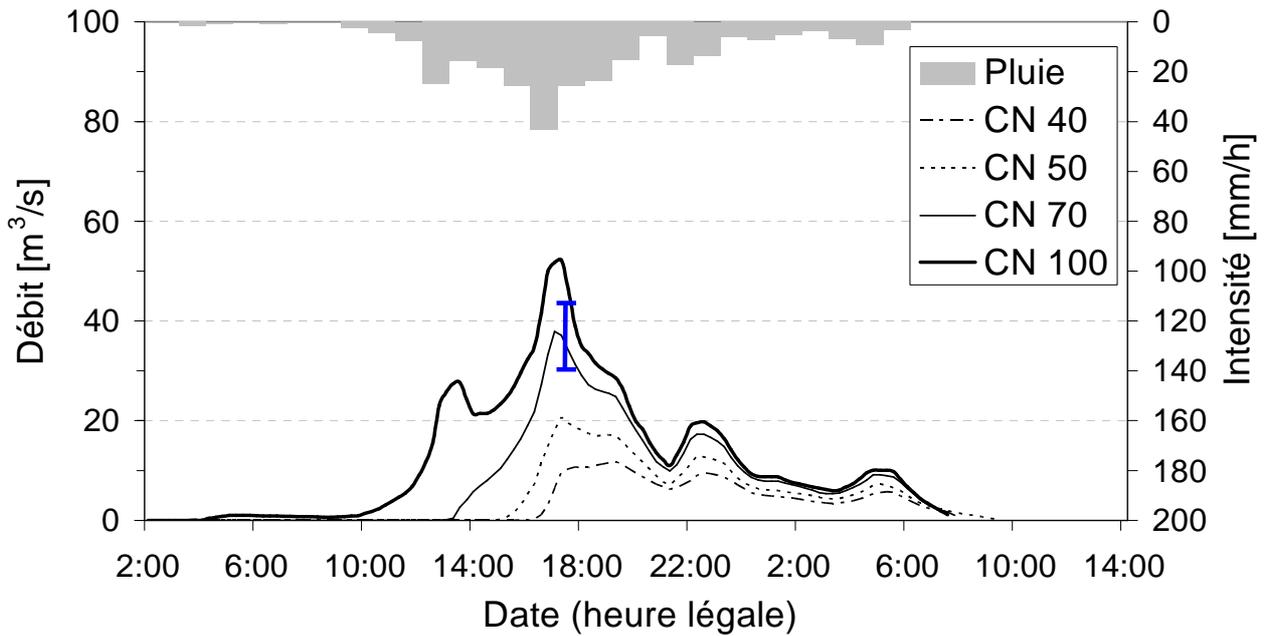
Real en amont des Arcs (15km², 369mm de pluie)



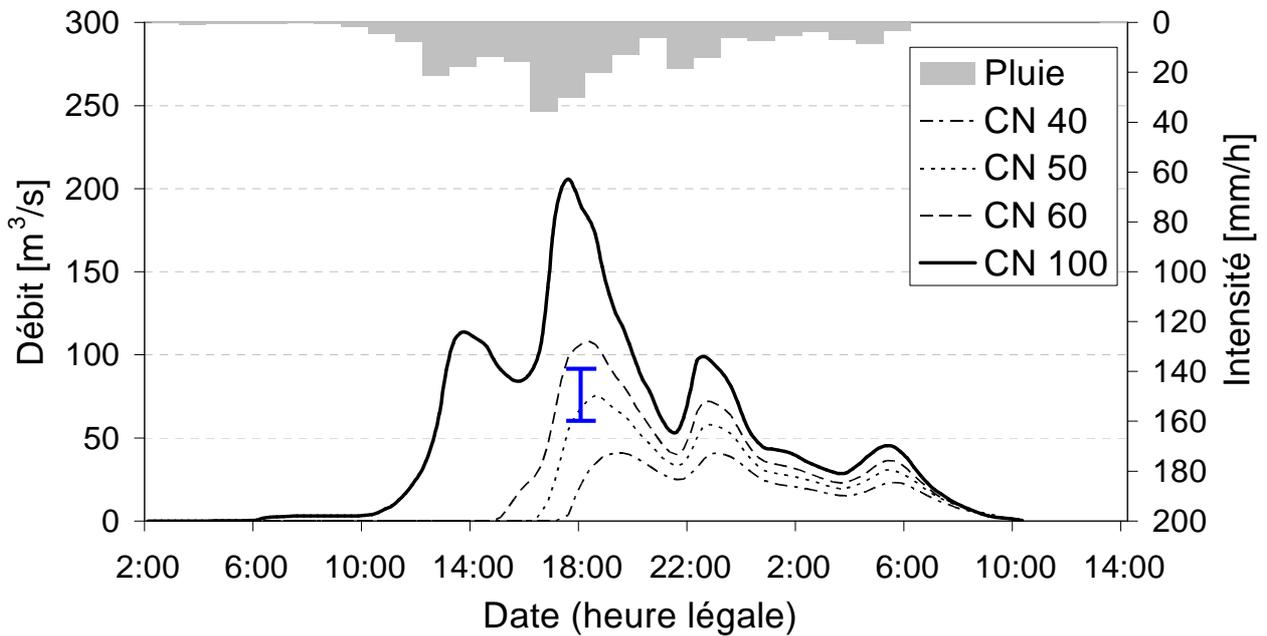
Real en aval des Arcs (32 km², 359 mm de pluie)



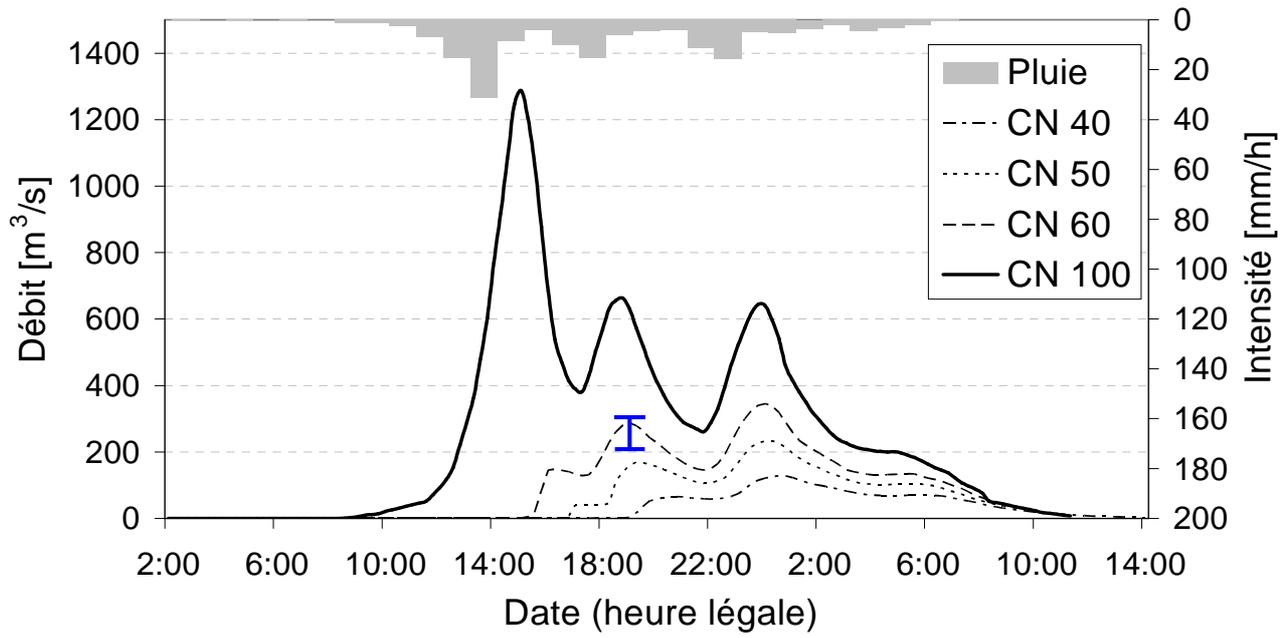
La Tuilière à Figanières (4,2km², 290mm de pluie)



V. St Pons à Figanières (19km², 265mm de pluie)



Endre à La Motte (183 km², 166 mm de pluie)



7.4 Annexe 4 : article présenté au congrès SHF « Evénements extrêmes fluviaux maritmes » (février 2012)

Voir fichier ci-joint : [Payrastra-et-al_texte_SHF_Evtsextremes.pdf](#)