



**PRÉFET DU GARD**

**Direction Départementale  
des Territoires et de la Mer**

# **PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES D'INONDATION (PPRI)**

## **BASSIN VERSANT DU RHÔNE**

*Communes de Aramon, Bellegarde,  
Beaucaire, Comps, Fourques.*

**Rapport de présentation**

# SOMMAIRE

<b>1 OBJECTIFS ET DÉMARCHE.....</b>	<b>1</b>
1.1 Préambule	1
1.2 Le risque inondation dans le Gard	2
1.3 Les objectifs de la politique de prévention des risques	5
1.4 La démarche PPRi	6
1.5 La raison de la prescription des PPRi	9
1.6 L'approche méthodologique (études techniques préalables)	9
<b>2 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET HYDROLOGIQUE.....</b>	<b>11</b>
2.1 Le périmètre concerné	11
2.2 Contexte hydrographique et climatique	12
2.3 Le phénomène naturel et les crues historiques	16
<b>3 CARTOGRAPHIE DU RISQUE.....</b>	<b>35</b>
3.1 Cartographie de l'aléa du Rhône	35
3.2 Cartographie de l'aléa du Gardon et du Rieu	41
<b>4 DISPOSITIONS RÉGLEMENTAIRES.....</b>	<b>44</b>
4.1 Règles d'urbanisme	44
4.2 Zonage réglementaire	46
4.3 Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde et règles de construction et mesures sur l'existant et des mesures sur l'existant	46
<b>5 DÉROULEMENT DE LA PROCÉDURE.....</b>	<b>47</b>
<b>6 ANNEXES.....</b>	<b>48</b>

# 1 Objectifs et démarche

## 1.1 PRÉAMBULE

La répétition d'évènements catastrophiques au cours des dix dernières années sur l'ensemble du Territoire national a conduit l'État à renforcer la politique de prévention des inondations.

Cette politique s'est concrétisée par la mise en place de Plans de Prévention des Risques d'Inondation (P.P.R.i.), dont le cadre législatif est fixé par les lois n° 95-101 du 2 février 1995, 2003-699 du 30 juillet 2003 et les décrets n° 95-1089 du 5 octobre 1995 et 2005-3 du 4 janvier 2005. L'ensemble est codifié aux articles L562-1 et suivants du code de l'Environnement.

L'objet d'un PPR est, sur un territoire identifié, de :

- **délimiter les zones exposées aux risques** en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, **d'y interdire tout type de construction**, d'ouvrage, d'aménagement, ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle **ou**, pour le cas où ces aménagements pourraient y être autorisés, **prescrire les conditions dans lesquels ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités**,
- délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées au risque mais où des aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux, et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions,
- **définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde** qui doivent être prises par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers,
- **définir des mesures relatives à l'aménagement**, l'utilisation, ou l'exploitation des constructions, ouvrages, espaces existants à la date d'approbation du plan, qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.

Pour chaque commune du bassin versant étudié, le dossier de PPR comprend :

- **Un rapport de présentation**, qui explique l'analyse des phénomènes pris en compte, ainsi que l'étude de leur impact sur les personnes et sur les biens, existants et futurs. Ce rapport justifie les choix retenus en matière de prévention en indiquant les principes d'élaboration du PPR et en commentant la réglementation mise en place. La carte d'aléa est jointe en annexe, ainsi que, le cas échéant, la carte d'enjeux.
- **La carte de zonage réglementaire à l'échelle de la commune** distinguant les zones exposées à des risques et celles qui n'y sont pas directement exposées mais où l'utilisation du sol pourrait provoquer ou aggraver des risques. Ils visualisent les zones de dispositions réglementaires homogènes.
- **Un règlement** qui précise les mesures d'interdiction et les prescriptions applicables dans chacune des ces zones. Le règlement précise aussi les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui incombent aux particuliers ou aux collectivités. Le règlement mentionne, le cas échéant, celles de ces mesures dont la mise en œuvre est obligatoire et le délai fixé pour celles-ci.
- **Un résumé non technique**

## 1.2 LE RISQUE INONDATION DANS LE GARD

Les inondations constituent le risque majeur à prendre en compte prioritairement dans la région.

**Les inondations méditerranéennes sont particulièrement violentes**, en raison de l'intensité des pluies qui les génèrent et de la géographie particulière de la région. En 50 ans de mesures, on a noté sur la région plus de 200 pluies diluviennes de plus de 200 mm en 24 heures. L'équinoxe d'automne est la période la plus critique avec près de 75% des débordements, mais ces pluies peuvent survenir toute l'année. Lors de ces épisodes qui frappent aussi bien en plaine ou piémont qu'en montagne, il peut tomber en quelques heures plus de 30 % de la pluviométrie annuelle.

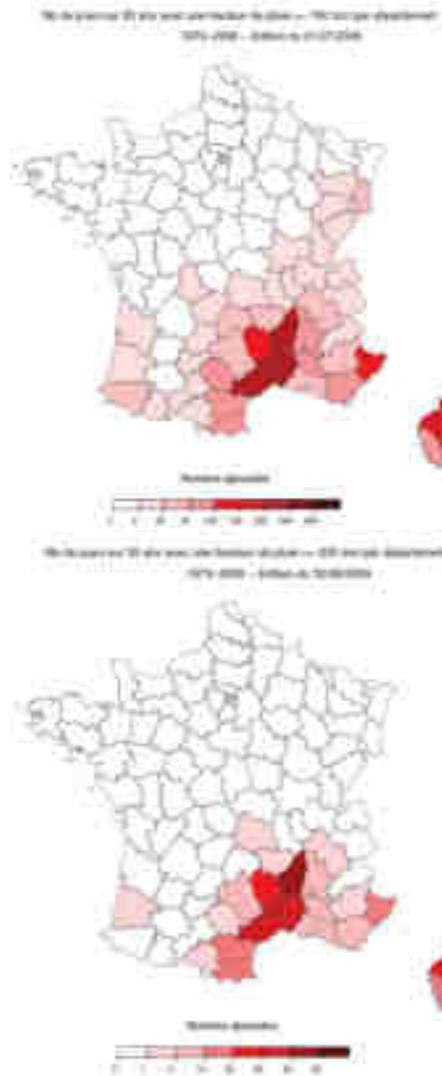
Ces épisodes pluvieux intenses appelés pluies cévenoles peuvent provoquer des cumuls de pluie de plusieurs centaines de millimètres en quelques heures. Les pluies cévenoles sont des précipitations durables qui se produisent par vent de sud, sud-est ou est sur les massifs des Cévennes, des pré-Alpes et des Corbières. Elles ont généralement lieu en automne dans des conditions météorologiques bien particulières :

- près du sol : un vent de sud ou sud-est apporte de l'air humide et chaud en provenance de la mer Méditerranée,
- en altitude : de l'air froid ou frais.
- La rencontre entre le courant froid d'altitude et le courant chaud et humide venant de Méditerranée rend l'atmosphère instable et provoque souvent le développement d'orages. Le relief joue également un rôle déterminant : il accentue le soulèvement de cet air méditerranéen et bloque les nuages.

Les orages de ce type, bloqués par le relief et alimentés en air chaud et humide, se régénèrent : ils durent plusieurs heures et les pluies parfois plusieurs jours. Ils apportent ainsi des quantités d'eau considérables.

- Des précipitations intenses sont observées en toutes saisons. Mais les deux périodes les plus propices sont :  
mai à septembre, quand se produisent la plupart des orages sur l'ensemble du pays,
- l'automne, saison particulièrement favorable aux fortes précipitations dans les régions méditerranéennes, quand l'air en altitude se refroidit plus vite que la Méditerranée encore chaude.

### Départements concernés par le risque de pluies diluviennes en France.



Source : Météo France, 2009.

Les temps de réaction des bassins versants sont généralement extrêmement brefs, parfois de l'ordre de l'heure pour des petits bassins versants de quelques dizaines de kilomètres carrés, toujours inférieurs à 12h sauf dans les basses plaines. La gestion de l'alerte et la préparation à la crise sont donc à la fois primordiales et délicates à mettre en œuvre.

Le département du Gard est ainsi sujet à différents types de crues :

- **les crues rapides**, souvent à caractère torrentiel, qui se produisent à la suite de précipitations intenses, courtes et le plus souvent localisées sur de petits bassins versants. L'eau peut monter de plusieurs mètres en quelques heures et le débit de la rivière peut être plusieurs milliers de fois plus important que d'habitude : c'est le cas des crues du Vidourle « Vidourlades » comme de celle du Gardon « Gardonnades ». La rapidité de montée des eaux, tout comme les phénomènes d'embâcles ou de débâcles expliquent la grande dangerosité de ces crues.
- **les phénomènes de ruissellement** correspondant à l'écoulement des eaux de pluies sur le sol lors de pluies intenses, aggravés par l'imperméabilisation des sols et l'artificialisation des milieux. Ces inondations peuvent causer des dégâts importants indépendants des débordements de cours d'eau.
- **les crues lentes du Rhône** qui, si elles arrivent plus progressivement, peuvent être dommageables par leur ampleur et la durée des submersions qu'elles engendrent.

L'aggravation et la répétition des crues catastrophiques sont liées fortement au développement d'activités exposées dans l'occupation du sol dans les zones à risques (habitations, activités économiques et enjeux associés). Ceci a deux conséquences : d'une part, une augmentation de la vulnérabilité des secteurs exposés et d'autre part, pour les événements les plus localisés, une aggravation des écoulements. Ceci explique pour partie la multiplication des inondations liées à des orages intenses et localisés.

Le Gard est particulièrement exposé au risque inondation :

- 353 communes en partie ou totalement soumises au risque d'inondation,
- 18.5% du territoire situé en zone inondable,
- 37% de la population gardoise vivant de manière permanente en zone inondable,
- Une augmentation de la population habitant dans les lits majeurs des cours d'eau de 6.5% de 2000 à 2005.

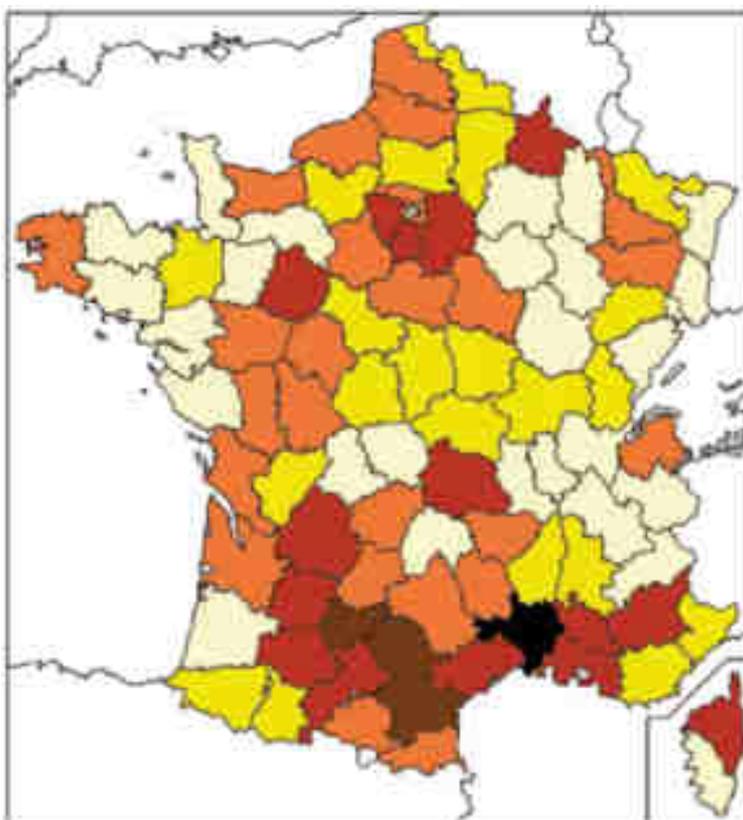
Depuis la moitié du 13<sup>e</sup> siècle, le département a connu plus de 480 crues. Lors des événements majeurs, tels que les inondations de 1958 et 2002 (Vidourle, Gardon, Cèze), de 1988 (Nîmes), de 2003 (Rhône) ou de 2005 (Vistre), les pluies dépassent 400 mm/jour sur plusieurs centaines de km<sup>2</sup>, voire près de 2000 km<sup>2</sup> comme en septembre 2002. Les dégâts sont toujours très impressionnants et le nombre de tués reste significatif.

La forte vulnérabilité s'est ainsi traduite par plusieurs sinistres majeurs :

- en 1958 : 36 morts,
- en 1988 : 11 morts, 45000 sinistrés, 610 millions d'euros de dégâts,
- en 2002 : 25 morts, 299 communes sinistrées, 830 millions d'euros de dégâts, 7200 logements et 3000 entreprises sinistrées,
- en 2003 : 7 morts dont 1 dans le Gard, 37 communes sinistrées, 300 millions d'euros de dégâts sur le Gard,
- en 2005 : 86 communes sinistrées, 27 millions d'euros de dégâts.

Sur la période 1995-2005, le département du Gard est le département qui a le plus bénéficié des dédommagements permis par la solidarité nationale du système cat-nat, par rapport à sa contribution à ce même système.

*Sinistrabilité des départements pour les contrats multirisques habitations et entreprises sur la période 1995-2005 (ratio sinistre sur primes)*



Classe	0	1	2	3	4	5
Ratio S/P	[0 - 0,25]	]0,25 - 0,5]	]0,5 - 1]	]1 - 3]	]3 - 5]	>5

*Lecture : Jusqu'à un ratio S/P de 1 (classes 0, 1 et 2), le département est un contributeur au système CatNat. Au-delà (classes 3, 4 et 5), le département est un bénéficiaire du système CatNat.*

*Source : Caisse Centrale de Reassurance, calculs : MEEDDM/CGDD*

### 1.3 LES OBJECTIFS DE LA POLITIQUE DE PRÉVENTION DES RISQUES

Face à ce constat, la nécessité de réduire durablement la vulnérabilité du territoire départemental implique une action coordonnée des pouvoirs publics pour permettre un développement durable des territoires à même d'assurer la sécurité des personnes et des biens au regard des phénomènes naturels.

La politique publique de prévention du risque inondations repose ainsi sur les principes suivants :

- Mieux connaître les phénomènes et leurs incidences ;
- Assurer, lorsque cela est possible, une surveillance des phénomènes naturels ;
- Sensibiliser et informer les populations sur les risques les concernant et sur les moyens de s'en protéger ;
- Prendre en compte les risques dans les décisions d'aménagement ;
- Protéger et adapter les installations actuelles et futures ;
- Tirer des leçons des évènements naturels dommageables lorsqu'ils se produisent.

#### Les 7 composantes de la prévention des risques



Source : CETE du Sud-Ouest, 2008.

Les PPRi des communes gardoises riveraines du Rhône se situent ainsi au cœur de cette politique globale de prévention du risque.

## 1.4 LA DÉMARCHE PPRi

### OBJECTIFS

Pour les territoires exposés aux risques les plus forts, le plan de prévention des risques naturels prévisibles est un document réalisé par l'État qui **fait connaître les zones à risques** aux populations et aux aménageurs.

Le PPRi est une **procédure qui régit l'utilisation des sols** en prenant en compte les risques naturels identifiés sur cette zone et de la non-aggravation des risques. Cette réglementation va de la possibilité de construire sous certaines conditions à l'interdiction de construire dans les cas où l'intensité prévisible des risques ou la non-aggravation des risques existants le justifie. Elle permet ainsi d'orienter les choix d'aménagement dans les territoires les moins exposés pour réduire les dommages aux personnes et aux biens.

Le PPRi répond à trois objectifs principaux :

- **Interdire les implantations nouvelles dans les zones les plus dangereuses** afin de préserver les vies humaines,
- **Réduire le coût des dommages liés aux inondations** en réduisant notamment la vulnérabilité des biens existants dans les zones à risques,
- **Interdire le développement de nouveaux enjeux** afin de limiter le risque dans les secteurs situés en amont et en aval. Ceci dans l'objectif de préserver les zones non urbanisées dédiées à l'écoulement des crues et au stockage des eaux.

Le PPRi a également un objectif de **sensibilisation et d'information de la population** sur les risques encourus et les moyens de s'en prémunir en apportant une meilleure connaissance des phénomènes et de leurs incidences.

Les biens et activités existants antérieurement à la publication de ce plan de prévention des risques naturels continuent de bénéficier du régime général de garantie prévu par la loi.

Au delà de ces mesures sur les projets nouveaux, dans le cadre de l'urbanisme, le PPRi peut, en tant que de besoin, imposer des mesures destinées à **réduire la vulnérabilité des biens existants et de leurs occupants**, construits ou aménagés conformément aux dispositions du code de l'urbanisme et avant l'approbation du présent PPRi.

Ces dispositions ne s'imposent que dans la limite de 10% de la valeur vénale du bien considéré à la date d'approbation du plan.

Les travaux de protection réalisés peuvent alors être subventionnés par l'État (FPRNM) à hauteur de :

- 40 % de leur montant pour les biens à usage d'habitation ou à usage mixte,
- 20 % de leur montant pour les biens à usage professionnel (personnes morales ou physique employant moins de 20 salariés).

### EFFETS DU PPRi

Le PPRi vaut **servitude d'utilité publique** en application de l'article L 562-4 du code de l'environnement.

Il doit à ce titre être annexé au document d'urbanisme, lorsqu'il existe. Dès lors, le règlement du PPRi est opposable à toute personne publique ou privée qui désire entreprendre des constructions, installations, travaux ou activités, sans préjudice des autres dispositions législatives ou réglementaires.

Au delà, il appartient ensuite aux communes et Établissements Publics de Coopération Intercommunale compétents de prendre en compte ses dispositions pour les intégrer dans leurs politiques d'aménagement du territoire.

Le non respect de ses dispositions peut se traduire par des sanctions au titre du code de l'urbanisme, du code pénal ou du code des assurances. Par ailleurs, les assurances ne sont pas tenues d'indemniser ou d'assurer les biens construits et les activités exercées en violation des règles du PPRi en vigueur lors de leur mise en place.

Le règlement du PPRi s'impose :

- aux projets, assimilés par l'article L 562-1 du code de l'environnement, aux "constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles " susceptibles d'être réalisés,
- aux collectivités publiques ou les particuliers qui doivent prendre des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde,
- aux biens existants à la date de l'approbation du plan qui peuvent faire l'objet de mesures obligatoires relatives à leur utilisation ou aménagement.

#### PPRi et information préventive

Depuis la loi «Risque» du 30 juillet 2003 (renforcement de l'information et de la concertation autour des risques majeurs), les Maires dont les communes sont couvertes par un PPRN prescrit ou approuvé doivent délivrer au moins une fois tous les deux ans auprès de la population une information sur les risques naturels.

#### PPRi et Plan communal de sauvegarde (PCS)

L'approbation du PPRi rend **obligatoire** l'élaboration par le maire de la commune concernée d'un plan communal de sauvegarde (PCS), conformément à l'article 13 de la loi n°2004-811 du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile.

En application de l'article 8 du décret n°2005-1156 du 13 septembre 2005 relatif au plan communal de sauvegarde et pris en application de l'article 13 de la loi n° 2004-811, la commune doit réaliser son PCS **dans un délai de deux ans** à compter de la date d'approbation du PPR par le préfet du département.

#### PPRi et financement

L'existence d'un plan de prévention des risques prescrit depuis moins de 5 ans ou approuvé permet d'affranchir les assurés de toute modulation de franchise d'assurance en cas de sinistre lié au risque naturel majeur concerné (arrêté ministériel du 5/09/2000 modifiés en 2003).

L'existence d'un plan de prévention des risques prescrit ou approuvé sur une commune peut ouvrir le droit à des financements de l'État au titre **du Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs** (FPRNM), créé par la loi du 2 février 1995.

Ce fonds a vocation à assurer la sécurité des personnes et à réduire les dommages aux biens exposés à un risque naturel majeur. Sauf exceptions (expropriations), il bénéficie aux personnes qui ont assuré leurs biens et qui sont donc elles mêmes engagées dans une démarche de prévention.

Le lien aux assurances est fondamental. Il repose sur le principe que des mesures de prévention permettent de réduire les dommages et donc notamment les coûts supportés par la solidarité nationale et le système Cat Nat (Catastrophes Naturelles).

Ces financements concernent :

- les études et travaux de prévention entrepris par les collectivités territoriales,
- les études et travaux de réduction de la vulnérabilité imposés par un PPR aux personnes physiques ou morales propriétaires, exploitants ou utilisateurs des biens concernés, sous réserve, lorsqu'il s'agit de biens à usage professionnel, d'employer moins de 20 salariés,

- les mesures d'acquisition de biens exposés ou sinistrés, lorsque les vies humaines sont menacées (acquisitions amiables, évacuation temporaire et relogement, expropriations dans les cas extrêmes)
- les actions d'information préventive sur les risques majeurs.

L'ensemble de ces aides doit permettre de construire un projet de développement local au niveau de la ou des communes qui intègre et prévient les risques et qui va au-delà de la seule mise en œuvre de la servitude PPR. Ces aides peuvent être selon les cas complétées par des subventions d'autres collectivités voire d'organismes telle l'ANAH dans le cadre d'opérations programmées d'amélioration de l'habitat (OPAH).

#### Phases d'élaboration d'un PPRi

L'élaboration des PPRi est **conduite sous l'autorité du préfet** de département conformément au décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 modifié par le décret 2005-3 du 4 janvier 2005.

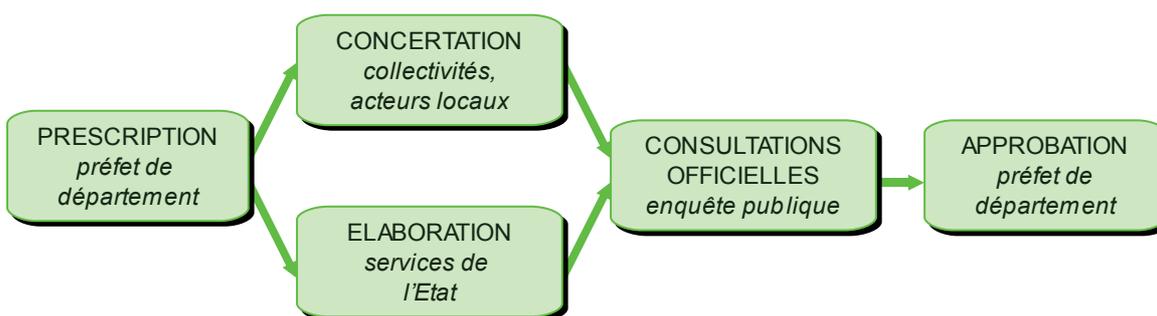
L'arrêté prescrivant l'établissement d'un PPRi détermine le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte; il désigne le service déconcentré de l'État qui sera chargé d'instruire le projet. Cet arrêté définit également les modalités de la concertation relative à l'élaboration du projet.

Après une phase d'élaboration technique et un travail de concertation étroit avec les collectivités concernées, le PPRi est alors transmis pour avis aux communes et organismes associés.

Il fait ensuite l'objet d'une enquête publique à l'issue de laquelle, après prise en compte éventuelle des observations formulées, il est approuvé par arrêté préfectoral.

Un PPRi est donc élaboré dans le cadre d'une **démarche concertée** entre les acteurs et les entités de la prévention des risques.

#### *La démarche concertée du PPRi.*



Source : DDE30.

## 1.5 LA RAISON DE LA PRESCRIPTION DES PPRi

En 2003, les crues du Rhône ont rappelé la vulnérabilité des territoires riverains du fleuve. Cette prise de conscience s'est traduite par un travail concerté autour du phénomène inondation sur l'ensemble du bassin versant du grand fleuve, qui s'est traduit par la rédaction d'une doctrine commune pour l'élaboration des PPRi du Rhône et de ses affluents à crue lente, dans le cadre de la démarche " Plan Rhône ".

Dans le Gard, les études issues de cette démarche interrégionale a permis de délimiter l'enveloppe d'une crue de référence du Rhône. Ces données ont été portées à la connaissance de l'ensemble des 28 maires concernés (PAC signé de M. le préfet du Gard le 9 octobre 2009).

A partir de ces informations, 5 communes ont été identifiées comme devant faire l'objet de la première priorité d'élaboration des PPRi-Rhône dans le département, qui ont fait l'objet d'un arrêté de prescription : Aramon, Comps, Beaucaire, Fourques et Bellegarde.

## 1.6 L'APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE (ÉTUDES TECHNIQUES PRÉALABLES)

La méthodologie aboutissant à la cartographie des zones de risque est basée sur :

- La cartographie des aléas issue des études hydrauliques.

Pour le Rhône, ces cartes d'aléa reposent sur :

- la prise en compte des débits et plus hautes eaux pour une crue de référence du Rhône, qui est la crue de 1856 (hydrogrammes et débits), modélisés dans les conditions actuelles d'écoulement, intégrant les aménagements CNR. Cette information, fournie par l'instance de bassin (DREAL Rhône-Alpes), a fait l'objet du porté à connaissance (PAC) du 9/10/2009 et a été complétée le cas échéant par une topographie complémentaire,
- l'enveloppe de la crue de 1856, représentée par les PSS, permettant de donner le contour historique de la mobilisation du lit majeur du Rhône,

Pour le Rieu (commune de Bellegarde) :

- la prise en compte des études d'aléa existantes (BRL) validées par l'Etat et déjà intégrées dans le PLU,

Pour le Gardon (communes de Comps et d'Aramon) :

- les cotes atteintes par la crue de référence (2002) étant analogues à celles du Rhône en crue de référence, il n'a pas été ajouté une enveloppe inondable supplémentaire mais les principes de crues rapides ont été intégrés sur la commune de Comps. En outre, l'hydrogéomorphologie du Gardon, basée sur l'atlas des zones inondables édité par la DREAL Languedoc-Roussillon, permet de prendre en compte une crue exceptionnelle ou un facteur aggravant (embâcles, rupture de digue, ...).

- L'identification des enjeux, réalisée par la DDTM30 en concertation avec les collectivités, appuyée sur le contour de l'occupation humaine existante et, le cas échéant, des espaces stratégiques en mutation et des zones de transition.

Les études techniques préalables consistent à cartographier les phénomènes naturels, les enjeux et les aléas. L'analyse du risque, le zonage réglementaire et le règlement associés, reposent ensuite sur le croisement des aléas et des enjeux.

- L'**aléa** est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité données. On évalue l'aléa à partir d'une crue de référence. Les critères utilisés sont principalement la hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement.
- Les **enjeux** sont l'ensemble des personnes, biens économiques et patrimoniaux, activités technologiques ou organisationnelles, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel et de subir des préjudices. Les enjeux se caractérisent par leur importance (nombre, nature, etc.) et leur vulnérabilité.
- La **vulnérabilité** exprime et mesure le niveau des conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Elle caractérise la plus ou moins grande résistance d'un enjeu à un événement donné.
- Le **risque** est le croisement d'un aléa avec les enjeux et permet de réaliser le **zonage** réglementaire. Le risque majeur se caractérise par sa faible fréquence, sa gravité et l'incapacité de la société exposée à surpasser l'événement. Des actions sont dans la plupart des cas possibles pour le réduire, soit en atténuant l'intensité de l'aléa, soit en réduisant la vulnérabilité des enjeux.



*L'aléa*



*Les enjeux*



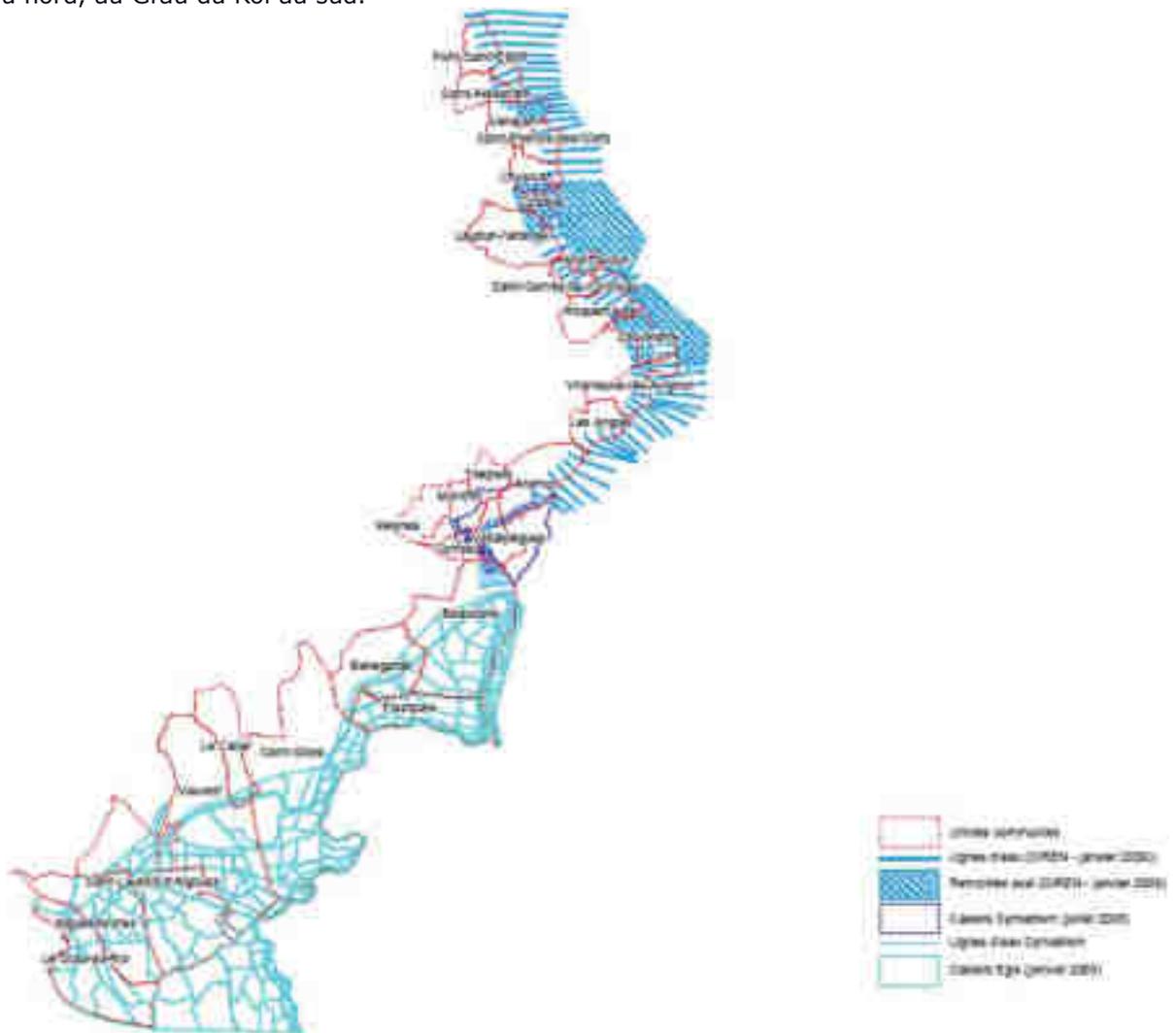
*Le risque*

## 2 Contexte géographique et hydrologique

### 2.1 LE PÉRIMÈTRE CONCERNÉ

#### *Présentation générale*

La zone géographique gardoise concernée par les études hydrauliques s'étend de Pont-Saint-Esprit au nord, au Grau du Roi au sud.



Parmi les 5 communes objets des PPRi, les communes de Comps et d'Aramon sont également concernées par le Gardon, affluent du Rhône. La commune de Bellegarde est aussi traversée par le Rieu.

Le périmètre de chaque PPRi est constitué par l'ensemble du territoire communal.

## 2.2 CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

### 2.2.1 *Le bassin versant du Rhône*

Le Rhône prend sa source en Suisse, à 1753 m d'altitude, au Glacier de la Furka, dans le massif alpin du Saint-Gothard. Ce glacier valaisan, qui culmine à plus de 3600 m, s'étend sur près de neuf kilomètres de long, a une superficie de 17 km<sup>2</sup> et un volume de 2,6 milliards de m<sup>3</sup>.

Le Rhône peut être divisé en cinq entités hydrographiques aux reliefs et aux climats distincts:

- ***Le Rhône alpestre, de sa source au Léman***, est un torrent qui parcourt 165 km dans une vallée encaissée entre les Alpes Bernoises au Nord et les Alpes Pennines du Valais. Son bassin versant, de 5220 km<sup>2</sup> à l'entrée du Léman, est remarquable par son relief élevé et accidenté. Plus de la moitié de la surface drainée se situe au-dessus de 2100 m d'altitude. La pente moyenne est forte (0,9% ou 9 m/km). À la sortie du Léman, l'altitude du Rhône est de 370 m et la surface drainée de 8000 km<sup>2</sup>.

- ***Le Haut Rhône français, du Léman à la Saône***, dans un parcours sinueux de 210 km, traverse les massifs du Jura et des Pré-Alpes avant de rejoindre la plaine de l'Ain. Son bassin est de 12 300 km<sup>2</sup> et sa pente 0,1 % (1m/km). Sur ce tronçon, le fleuve rencontre une succession de gorges étroites (défilés de Bellegarde et de Yenne) et de plaines aux champs d'inondation étendus (marais de Chautagne et Lavours, plaine de Yenne). Le Lac du Bourget, plus grand lac naturel français, draine un bassin de 560 km<sup>2</sup> et se déverse dans le Rhône par le canal de Savières. Le cours de cet émissaire s'inverse Lors des crues du fleuve de sorte que le lac participe ainsi à leur atténuation.

- ***Le Rhône Moyen, de la Saône à l'Isère***, parcourt 110 km et draine un bassin de 46150 km<sup>2</sup>. À Lyon, le fleuve se heurte à la barrière rocheuse du Massif Central qui l'oblige à modifier la direction de son cours suivant un axe Nord-Sud qu'il ne va plus quitter jusqu'à la mer. Il longe alors le Massif Central et les Pré-Alpes. Dans ce tronçon, la pente moyenne s'abaisse à 0,05% (0,5m/km).

- ***Le Rhône Inférieur, de l'Isère à l'amont du delta***, draine un bassin de 29 150 km<sup>2</sup> soumis au climat méditerranéen. Son cours, long de 160 km, est une suite de défilés et de plaines alluviales qui respecte l'axe d'écoulement rectiligne Nord Sud imposé par les massifs qui l'encadrent. La pente moyenne est de 0,06% (0,6m/km).

- ***Le delta à hauteur d'Arles ou Rhône aval*** où le fleuve se sépare en deux bras qui enserrant la plaine de la Camargue. Le petit Rhône, de direction Nord-Est → Sud-Ouest, rejoint la Méditerranée 40 km plus loin dans le golfe de Beaucaire. Le Grand Rhône s'oriente au Sud-Est pour déboucher dans la mer près de Fos. Ces deux bras présentent des pentes très faibles de l'ordre de 0,004% (4cm/km). En Méditerranée, le delta du Rhône est par sa superficie (500 km<sup>2</sup>) en deuxième position derrière le delta du Nil.

Par son débit moyen, le Rhône est le fleuve français le plus puissant. Il est encore plus remarquable par son débit rapporté à la surface du bassin versant inégalé en Europe, 11500 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire en 2003.

À son embouchure, le Rhône présente un régime saisonnier régulier marqué par de hautes eaux automnales et de basses eaux estivales et hivernales. La variété des climats et régions drainées confère au Rhône un régime complexe qui regroupe trois composantes : glaciaire, nivale et pluviale. Par cette triple alimentation, les apports du Rhône sont diversifiés et abondants toute l'année, ce qui lui donne un régime saisonnier assez régulier qui présente des nuances tout au long de son cours : le Rhône alpestre, le Haut Rhône français ainsi que l'Isère ont un régime nivoglacière aux hautes eaux de printemps et début d'été. La Saône et l'Ain ont un régime océanique avec de hautes eaux hivernales dues aux pluies et de basses eaux estivales. L'influence nivale de l'Ain gonfle les débits printaniers du fleuve.

Les affluents méditerranéens du Rhône aval connaissent de sévères étiages estivaux et des crues rapides en automne. Le Rhône aval présente un régime hydrologique inverse de celui de son cours supérieur avec de hautes eaux de printemps et d'automne et de basses eaux en été et en hiver.

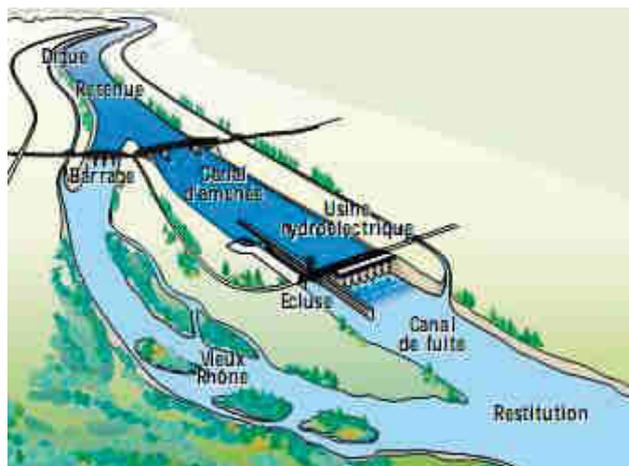
### Un cours d'eau très aménagé depuis le XIXe siècle

La particularité du Rhône réside dans les aménagements successifs dont il a fait l'objet pour répondre aux besoins de navigation, d'irrigation et de production hydroélectrique qui ont profondément modifié les caractéristiques hydrauliques du fleuve. Il comporte notamment une vingtaine d'ouvrages de retenues d'eau exploités par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Celui de Génissiat, le plus en amont du Rhône français, est un barrage réservoir de 70 mètres de hauteur et d'une capacité totale de 53 millions de m<sup>3</sup> (capacité utile de 12 millions de m<sup>3</sup>) qui barre totalement le lit du fleuve. Les autres ouvrages fonctionnent au fil de l'eau avec des dérivations vers les usines hydroélectriques pour tous les aménagements sauf celui de Vaugris qui ne comporte pas de dérivation. Il convient toutefois de noter que les tronçons court-circuités du Rhône ont conservé des milieux naturels diversifiés.

La morphologie du fleuve Rhône a beaucoup évolué du fait des aménagements multiples qui se sont succédés au cours du temps, on rappellera : les ouvrages de protection des villes (alignement de quais) réalisés après la crue de 1856, les épis Girardon chargés, à partir des années 1880, d'améliorer la navigation fluviale ou encore les aménagements hydroélectriques de la Compagnie nationale du Rhône après la Seconde Guerre mondiale. Le linéaire rhodanien est aujourd'hui en grande partie artificialisé, à l'image des 19 aménagements hydroélectriques qui jalonnent le fleuve depuis Génissiat après la frontière Suisse jusqu'à Vallabrègues, à l'amont du delta de Camargue. Par conséquent, si les crues historiques antérieures aux aménagements de la CNR nous enseignent certaines leçons de l'histoire longue des crues du Rhône, elles ne peuvent pas être utilisées comme des événements de référence qui pourraient se reproduire à l'identique aujourd'hui.

Il faut ajouter à ces équipements les aménagements hydroélectriques importants réalisés sur des affluents. Aucun de ces aménagement n'a de fonction de rétention des crues. Ainsi, les consignes de gestion en période de crue sont basées sur le maintien de la sécurité de ces aménagements. Selon le niveau de remplissage de la retenue avant un épisode de crue, cette gestion peut permettre de stocker une partie des débits entrant jusqu'au niveau maximal d'exploitation. Ensuite, les aménagements ont la capacité d'évacuer vers l'aval l'intégralité du débit entrant dans l'aménagement. Les principaux aménagements hydroélectriques des affluents du bassin du Rhône (Vouglans sur l'Ain, Tignes et Monteynard sur le bassin de l'Isère, Serre-Ponçon et Sainte-Croix sur la Durance) interceptent moins de 10% du bassin versant du Rhône ; ils peuvent avoir une influence sur les crues faibles du Rhône mais ils n'ont qu'une influence limitée sur les crues importantes du Rhône.

L'impact des **19 aménagements hydroélectriques sur le Rhône** (18 aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône et 1 aménagement EDF) sur le déroulement des crues n'est pas significatif, les consignes de conduite des aménagements étant basées sur les paramètres de la propagation naturelle avec un débit maximum admissible dans l'usine hydroélectrique (débit d'équipement) et un abaissement progressif du barrage dès les faibles crues pour faire passer le débit complémentaire.



La configuration du Rhône aménagé, conduit à distinguer le régime hydraulique des branches en retenue et des canaux usiniers de celui des branches non artificialisées : Vieux-Rhône (ou Rhône court-circuité) et Rhône naturel (entre deux aménagements). Les branches en retenue et les canaux usiniers répondent aux caractéristiques des barrages.

## 2.2.2 Le bassin versant du Gardon

Dernier affluent du Rhône, le Gardon prend sa source dans les Cévennes lozériennes avant de traverser le département du Gard d'Ouest en Est.

Le Gardon présente des caractéristiques typiquement méditerranéennes, à savoir :

- une pluviométrie irrégulière avec de fortes intensités,
- un ruissellement élevé lié à la géologie des Cévennes et aux fortes pentes longitudinales,
- un régime des cours d'eau très irrégulier avec des crues subites pouvant être catastrophiques et des étiages très accusés.

Son bassin versant totalise une surface de 2157 km<sup>2</sup>, répartis sur deux départements (Gard et Lozère) et 148 communes ; la population qui réside sur le bassin versant est estimée à 194 000 personnes.

Le bassin peut être divisé en différentes entités géographiques homogènes :

- **les Cévennes** : réparties sur les départements du Gard et de la Lozère, elles sont marquées par de fortes pentes et des vallées encaissées,
- **le piémont cévenol** : les reliefs y sont moins marqués, les cultures et l'urbanisation se sont développées dans des plaines relativement étroites.
- **La Gardonnenque**, s'étend depuis la confluence du Gardon d'Alès et du Gardon d'Anduze jusqu'aux gorges, en une large plaine alluviale bordée par des reliefs peu marqués. Les principaux affluents sont la Droude et le Bourdic (hors étude) en rive gauche et la Braune en rive droite.
- **les gorges** : le Gardon est engorgé sur environ 25 kilomètres, la vallée est très encaissée et méandre au sein d'un large plateau calcaire,
- **l'Uzège** : secteur de garrigues et cultures situé au nord des gorges, l'Uzège est drainé par l'Alzon et les Seynes,
- **le bas Gardon** : à la sortie des gorges, le Gardon reprend une circulation en méandres libres à l'intérieur des dépôts alluviaux du Rhône.

Le climat dans la zone d'étude est de **type méditerranéen**. Les étés sont généralement chauds et les hivers plus frais et humides. Les pluies ont surtout lieu en automne, mais aussi, dans une moindre mesure en hiver et au printemps.

La caractéristique climatique principale du bassin des Gardons est une **pluviométrie intense et brutale**, avec des extrêmes entre saisons arrosées et saisons sèches. A cela s'ajoute l'importance des contrastes, voire la brutalité des changements : suite à un été sec et sans pluie, peuvent se produire des précipitations torrentielles de l'ordre de plusieurs centaines de mm en quelques jours en septembre ou novembre. Des pluies brutales et irrégulières peuvent atteindre plusieurs centimètres d'eau en 24 h.

### **2.2.3 Le bassin versant du Rieu**

La commune de Bellegarde (en particulier le bourg) est soumise à un risque d'inondation important, qu'il provienne des débordements du Rieu ou du Rhône. Parmi les inondations liées au Rieu, on peut citer, au cours du 20ème siècle, les épisodes de 1909, 1920, 1958, 1973, 1977 et 1999 puis plus récemment : septembre 2003 et septembre 2005.

Une des particularités hydrauliques du bassin versant du Rieu est son exutoire. En effet, ce cours d'eau se jette dans le contre canal du canal du Rhône à Sète qui offre une capacité hydraulique très limitée au regard des débits de crue pouvant être générés par le bassin versant du Rieu.

La protection de Bellegarde contre les inondations mise en œuvre par la commune depuis plusieurs années est donc basée sur le principe de la rétention et de l'écêtement des crues comme exposé dans le « schéma de protection contre les inondations de Bellegarde »-(BRLi 2001).

Des dispositifs de rétention existent déjà (comme les gravières de Sautebraut et Broussan) ou sont envisagés sur différents sous bassins versants du Rieu. Ces aménagements ont (ou auront) un effet sensible sur la formation des crues du Rieu et sur les débits et volumes pouvant arriver au niveau du bourg de Bellegarde.

Le Rieu est endigué du plan d'eau des Moulins jusqu'au canal du Rhône à Sète. Du plan d'eau des Moulins jusqu'au pont du chemin communal de Saint Gilles à Beaucaire, le terrain naturel en rive gauche est nettement plus haut qu'en rive droite interdisant tout débordement en rive gauche.

## 2.3 LE PHÉNOMÈNE NATUREL ET LES CRUES HISTORIQUES

### 2.3.1 *Le Rhône*

A la variété des scénarios climatiques et hydrologiques régissant la formation des crues du Rhône correspondent des conditions de propagation également variées. De plus les affluents sont nombreux et importants. Au total, la dynamique des crues sur le bassin du Rhône ne relève pas d'un simple et unique schéma. En revenant à un découpage par grands tronçons, on peut en présenter les traits principaux.

Sur le Rhône supérieur, en aval du Léman, la propagation de la crue est considérée comme semi-rapide. Les affluents alpins réagissent rapidement aux précipitations et l'augmentation des débits se répercute en quelques heures dans le Rhône. La crue se forme en une demi-journée après les épisodes de pluie sur le secteur le plus en amont. On notera cependant que la plaine de Chautagne et le lac du Bourget écrêtent jusqu'à 500 m<sup>3</sup>/s sur un débit de 3000 m<sup>3</sup>/s du Rhône supérieur. Au niveau de la confluence de l'Ain, la crue arrive dans les 24 heures et continue à progresser durant une demi-journée, après avoir été à nouveau écrêtée, pour des débits supérieurs à 1500m<sup>3</sup>/s, dans la plaine de Brangues-Le Bouchage. La crue combinée du Rhône et de l'Ain arrive ensuite à Lyon en moins de 12 heures. Cette relative rapidité de la propagation des crues limite la durée de la phase la plus critique qui ne se prolonge en général pas au-delà de 2 jours à Lyon.

A l'aval de Lyon la crue semi-rapide du Rhône et la crue très lente et prolongée de la Saône se rassemblent pour se propager avec une double dynamique, souvent plus rapide dans un premier temps, puis plus lente dans un deuxième temps. Avant d'arriver à Valence, l'Isère et les affluents venant du Massif Central apportent chacun une nouvelle composante à la crue du Rhône en fonction des précipitations qu'ils ont reçues. Le débit de base met environ 12 heures à se propager entre Lyon et Valence, mais il peut être augmenté en quelques heures par celui des affluents de la rive droite et en une demi-journée par celui de l'Isère.

En descendant la vallée, la dynamique de la crue, tributaire des réactions des affluents méridionaux, se complexifie. On peut distinguer trois principales configurations.

- la première voit les crues formées entre Lyon et Valence s'atténuer vers l'aval quand les bassins des affluents ont été faiblement arrosés.
- la configuration qui produit des crues généralisées correspond à des apports répartis le long du cours. C'est la crue d'Octobre 1993 et celle de Mai 1856, avec toutefois un phénomène plus complexe comprenant plusieurs ondes de crue.
- la dernière configuration correspond à une production prépondérante des affluents du cours aval. Elle peut s'observer à partir de débits faibles du Rhône à Lyon, la crue se formant essentiellement dans le cours aval (scénario des crues de 2002 et 2003). Les crues des affluents sont souvent décalées dans le temps mais elles contribuent à augmenter les débits propagés.

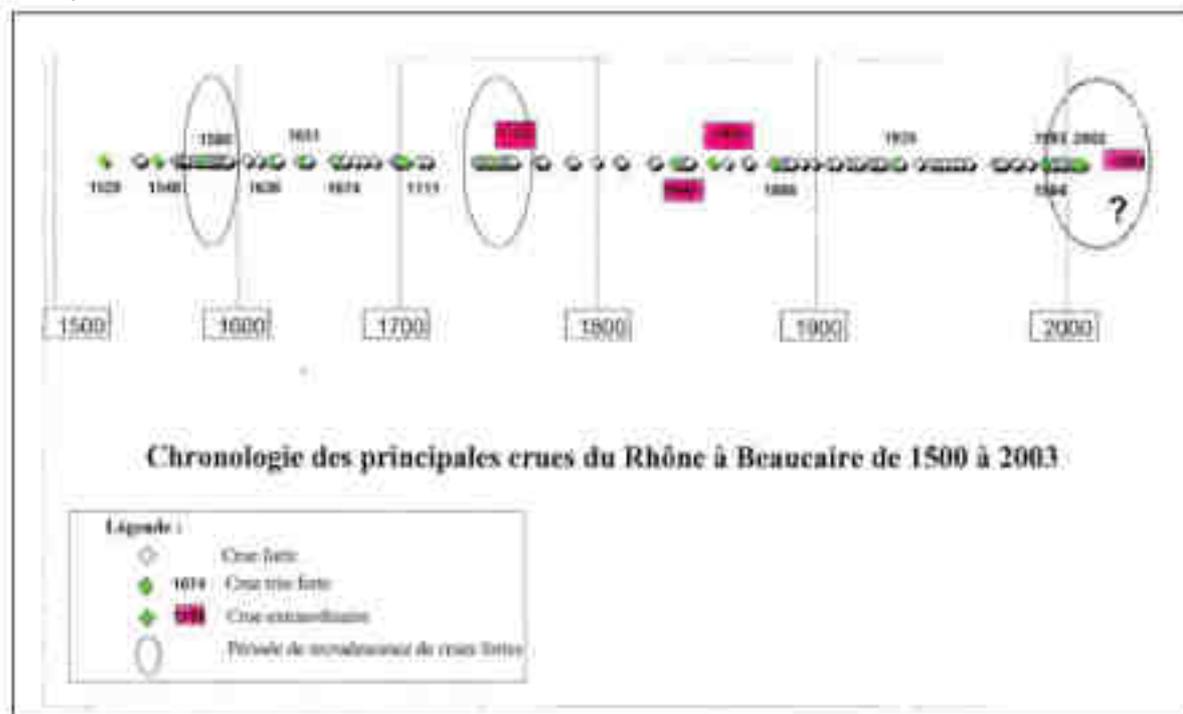
Sur le cours du Rhône aval, en dehors des crues qui se propagent sans renforcement depuis Lyon-Valence en pratiquement 2 jours, les réactions se manifestent dans le Rhône en une douzaine d'heures après les épisodes de pluie.

## Principaux secteurs hydrographiques du Rhône

Secteur	Affluents et zones d'expansion impactant fortement le régime du Rhône	Noeuds hydrographiques
Rhône-amont du Léman au Fier	L'Arve	Confluence Fier
Rhône-amont du Fier au Guiers	Le Fier – Plaine de Clautagne	Confluence Guiers
Rhône-amont du Guiers à l'Ain	Le Guiers – Plaine de Brangues-Le Bouchage	Confluence Ain
Rhône-amont de l'Ain à la Saône (Lyon)	L'Ain – Plaine de Miribel-Jonage	Confluence Saône
Rhône-moyen de la Saône à l'Isère	La Saône, affluents du Pilat	Confluence Isère
Rhône-moyen de l'Isère à l'Ardèche	L'Isère, le Doux, L'Eynieux, la Drôme - Plaine de Douzière-Mondragon	Confluence Ardèche
Rhône-aval de l'Ardèche à la Durance	L'Ardèche, la Cèze, l'Oivèze – Plaine de Cadarousse, Ile de la Barthelasse	Confluence Durance
Rhône-aval de la Durance au Gard	Le Gard	Confluence Gard
Rhône-aval, secteur du Delta	Plaines de Vallabrigues-Boulbon, de Beaucaire-Fourques, de Tarascon-Arles, Camargue	Mer Méditerranée

## Principaux événements marquants

La chronologie des crues historiques du Rhône fait apparaître plusieurs phases de répétition des crues fortes et elle fait ressortir plusieurs événements très intenses qui ont été décrits par Maurice Champion notamment.



Chronologie des principales crues du Rhône à Beaucaire – Sources : Denis COEUR

Parmi les crues bien documentées en termes de données météorologiques et hydrologiques, les événements figurant dans le tableau suivant sont décrites.

## Inondation de novembre 1840

La crue de **novembre 1840** survient à la faveur d'une pluviométrie exceptionnelle à la fois sur la partie amont et aval du bassin: en 8 jours, quatre averses méditerranéennes se succèdent au sud en même temps que des pluies océaniques diluviennes touchent le nord (Maurice Pardé). L'inondation de 1840 touche particulièrement les secteurs entre Lyon et Viviers. Le débit du Rhône de 1 800 m<sup>3</sup>/s rejoint celui de la Saône, inégalé, de 3 500 m<sup>3</sup>/s pour former une crue de 5 500 m<sup>3</sup>/s à Givors, 8 000 m<sup>3</sup>/s à Valence, 9 500 m<sup>3</sup>/s à Viviers. En Avignon, la crue de la Durance est concomitante avec celle du Rhône pour former la crue la plus forte connue à l'aval : débit record de 13 000 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire. Cette crue ancienne reste mal renseignée en dehors des secteurs de forts enjeux comme la ville de Lyon.

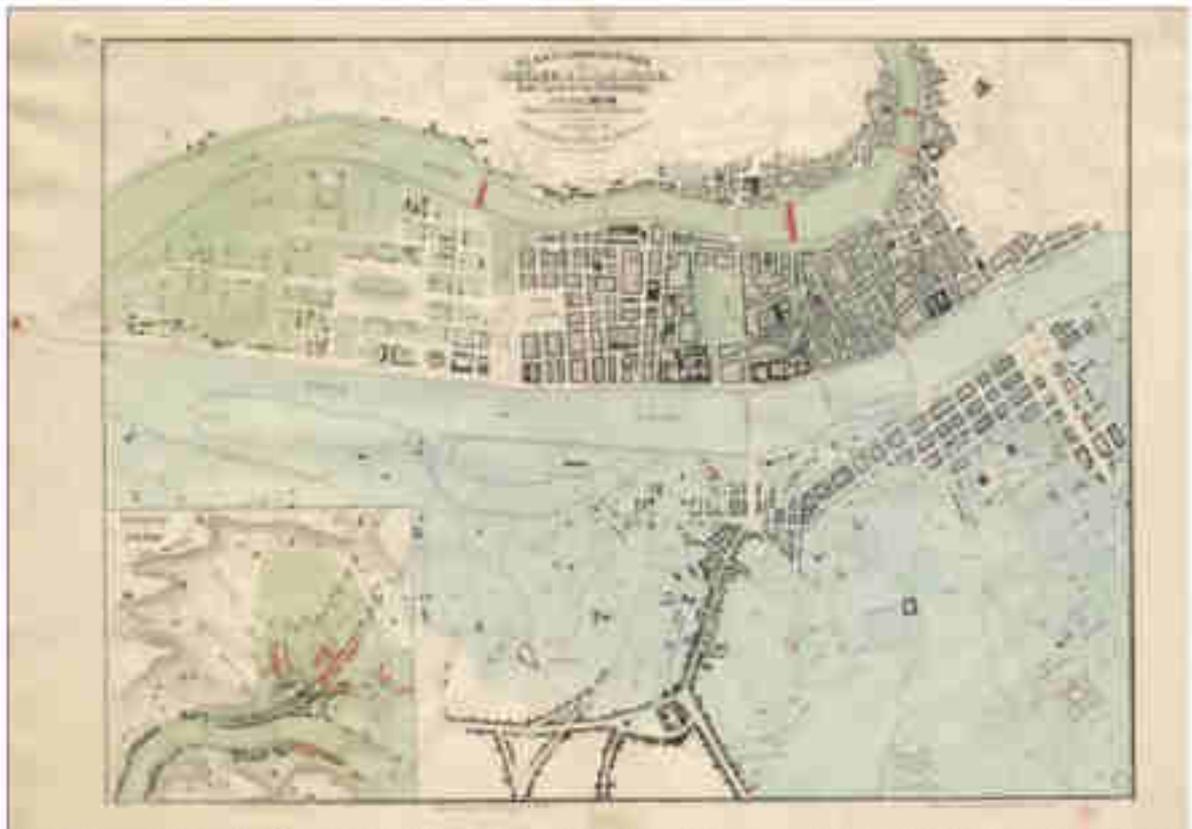
### Pluviométrie

Saône - Ain				Alpes Nord				Isère - Drôme				Alpes Sud				Cévennes			
F	M	P	E	F	M	P	E	F	M	P	E	F	M	P	E	F	M	P	E
		*				*				*				*				*	

NB : F = faible / M = Moyen / P = Fort / E = Exceptionnel

### Le Rhône

	Prugny	Bogros	Sevrol	Brens	Lagnieu	Perruch	Tainay	Valence	Viviers	Beaucaire
Q (m <sup>3</sup> /s)			1450			4200	6200	8700	9500	12000
T (ans)		F	F		E	E	E	E	E	E



Plan des inondations du Rhône et de la Saône dans Lyon et ses faubourgs en l'année 1840. Lyon, chez A. Baron, ca1840 (Lyon : Lith. Henri Storck). Bibliothèque municipale de Lyon, Fonds Coste. 116108

## **Inondation de mai 1856**

L'inondation de **mai 1856** résulte d'une crue généralisée liée à la concordance exceptionnelle d'une pluviométrie très forte océanique et méditerranéenne (110 mm de pluie en 48 heures à Lyon, 150 mm dans la Drôme et l'Ardèche). A Lyon, le débit du Rhône atteint 4 200 m<sup>3</sup>/s en même temps que la Saône apporte 1 800 m<sup>3</sup>/s, soit un débit de 6 000 m<sup>3</sup>/s à Givors. D'après Maurice Pardé, il s'agit de la plus redoutable concordance jamais observée. Plus à l'aval, les concordances sont parfaites avec les crues de l'Isère (2 600m<sup>3</sup>/s), de la Drôme (820m<sup>3</sup>/s) ou de la Durance (2 000m<sup>3</sup>/s). Le débit à Beaucaire atteint 12 500 m<sup>3</sup>/s.

Cette crue est particulièrement bien renseignée tant sur le plan de l'hydrologie dans les travaux de Maurice Pardé que sur le terrain par l'administration des Ponts-et-Chaussées qui relève précisément l'enveloppe de la crue ou par la presse illustrée de l'époque qui accorde une très large place aux récits les plus épiques de cette catastrophe ainsi qu'aux nombreuses illustrations des secteurs les plus touchés. La ville de Lyon notamment dont la quasi totalité de la rive gauche a été balayée par la rupture des digues du Rhône de la Tête d'Or apparaît comme la grande victime de cette inondation (quartiers dévastés des Brotteaux, des Charpennes, de la Guillotière). Avignon est également représentée sur des gravures qui témoignent que l'eau serait rentrée dans la vieille ville, la rupture de la voie ferrée à Tarascon, ainsi que la digue de la Montagnette sont également des faits marquants dont les conséquences dramatiques pour les villes d'Arles et de Tarascon sont illustrées dans la presse.



Inondation du Rhône, à Lyon : avenue de Saxe ; l'église Saint-Pothain en arrière-plan, vers juin 1856 : contretype d'une épreuve / d'après un cliché Louis Frossart - Archives municipales de Lyon



Inondation du Rhône, à Lyon : dégâts - rue Madame (actuellement rue P. Corneille), 9 juin 1856 / cliché Louis Frossart] - Archives municipales de Lyon



Rupture de la digue de la Tise d'Or - *L'illustration*, juin 1856



1856 - Sauvetage des habitants de Saint-Fons - *Idem*



Inondation d'Avignon Vue du perron de l'église Saint-Agricol - *Idem*



Rupture du chemin de fer à Tarascon - *Idem*



Inondations de 1856 : évolution de l'inondation, état des dommages, mesures d'hygiène et de sécurité, projets de travaux: nomenclature des maisons écroulées, plans (dont avec mention des niveaux d'eau), statistiques, rapport 1840-1856 / Une cartographie similaire existe sur l'ensemble du linéaire rhodanien pour la crue de 1856.

### Inondation de septembre 1890

En septembre 1890, une pluviométrie très forte touche le Gard (600 mm cumulés sur la Cèze) et l'Ardèche (700 mm sur six jours) et provoque une crue cévenole qui touche la partie la plus aval du Rhône. L'Ardèche dont la crue est décalée d'une journée avec celle du Rhône atteint un débit de 7500 m<sup>3</sup>/s et les Gardons 2900 m<sup>3</sup>/s. Les fortes crues de l'Ardèche provoquent à la confluence un remous important. Les eaux de l'affluent peuvent alors barrer la route du Rhône et aller frapper la rive opposée en provoquant des débordements à Lamotte-du-Rhône. Les populations situées à l'aval parlent en ce cas des "crues de l'Ardèche" plutôt que de celles du Rhône, comme si l'affluent continuait de se distinguer dans le lit du Rhône.

### Inondation dans la période 1899-1910

Après des pluies océaniques importantes sur le Rhône amont à la mi-octobre 1896, des événements pluvieux généralisés se succèdent jusqu'à la fin du mois pour former une crue généralisée du Rhône, particulièrement forte à l'aval de Lyon du fait de la concomitance des crues de la Saône et du Rhône. C'est la troisième plus importante après celles de 1840 et 1856. On enregistre 6800 m<sup>3</sup>/s à Valence et 7200 m<sup>3</sup>/s à Viviers. Au printemps 1902, le Rhône déborde ponctuellement à l'aval de Valence. En janvier 1910, en même temps que la crue historique de la Seine, le Rhône connaît une crue océanique. On mesure des débits importants sur les affluents de l'amont : 1700 m<sup>3</sup>/s sur le Doubs ; 2380 m<sup>3</sup>/s sur la Saône ; 1800 m<sup>3</sup>/s sur l'Ain et 1000 m<sup>3</sup>/s pour l'Isère. La crue est exceptionnelle à Lyon. En décembre de la même année, une crue méditerranéenne touche l'aval du Rhône.

### Inondation de novembre 1935

En 1935, la pluviométrie a été très importante depuis le mois d'octobre venant saturer les sols. De fortes averses se succèdent au début du mois de novembre d'influence océanique d'abord puis cévenole et provençale ensuite. La crue du Rhône se prolonge jusqu'en janvier 1936 et touche particulièrement l'aval du bassin. Même si l'on enregistre 5 410 m<sup>3</sup>/s à Valence, 5 620 m<sup>3</sup>/s à Viviers ou 9 420 m<sup>3</sup>/s à Beaucaire, la crue de 1935 est remarquable dans sa durée. Le volume total ayant transité à Beaucaire pendant les 25 jours autour de la pointe principale est estimé à environ 12 milliards de m<sup>3</sup>.

Avignon focalise l'attention de la presse et devient la ville sinistrée emblématique de ces inondations exceptionnelles. Cependant, des débordements ont lieu sur l'ensemble du bassin depuis Lyon jusqu'à l'aval particulièrement touché où les articles de presse relatent la situation de villes et de villages tel Roquemaure, Arles, Aramon, Beaucaire, Caderousse, Piolenc ou encore Vallabrègues.

#### Pluviométrie

Saône - Ain				Alpes Nord				Isère - Drôme				Alpes Sud				Cévennes			
f	M	F	E	f	M	F	E	f	M	F	E	f	M	F	E	f	M	F	E
*				*						*				*				*	

NB : f = faible / M = Moyen / F = Fort / E = Exceptionnel

#### Le Rhône

	Bozys	Bognas	Seyssel	Brins	Lagnieu	Parvancher	Terray	Valence	Viviers	Beaucaire
Q (m <sup>3</sup> /s)	465	707			1420	2400	4030	5410	5620	9240
T (ans)	f	f			M	M	M	F	M	F



Dans  
les  
rues de  
Comps



Illustration  
Illustration

Une rue d'Avignon sous les eaux du Rhône en crue -



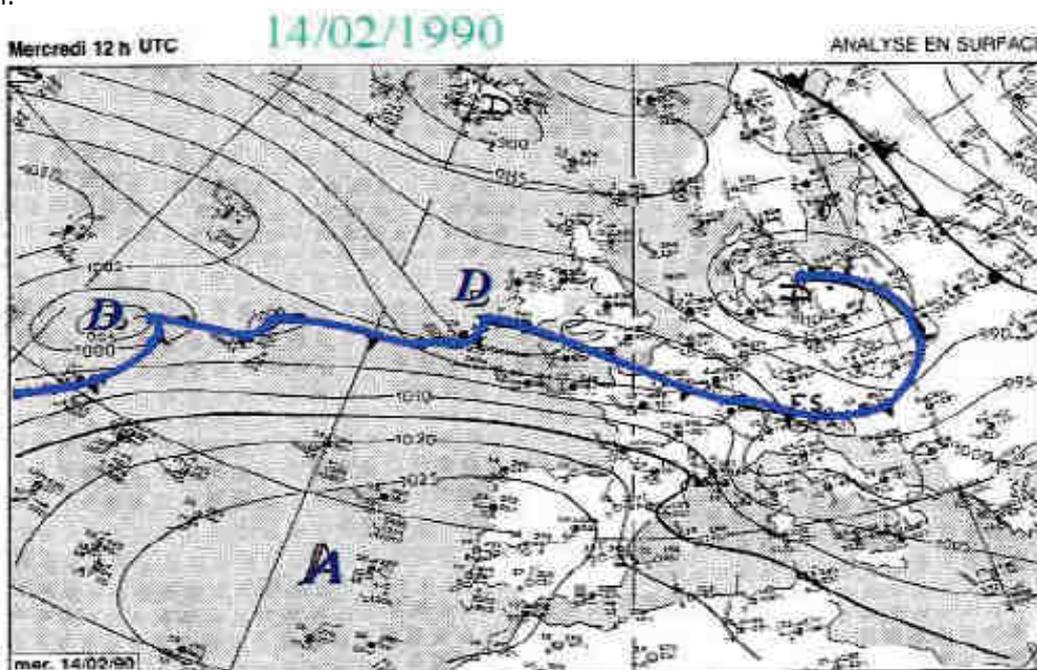
La plaine de Mondragon envahie par les eaux à la suite de la rupture d'une digue – *L'Eclair*

## Inondation dans la période 1944-1955

Les deux épisodes pluvieux de novembre 1944 ont été accentués par la fonte des neiges pour former une crue très forte sur l'amont du Rhône, bien qu'écrêtée par les barrages suisses. La sortie du Rhône du Lac Léman a été gérée de manière à limiter le débit au moment du passage de la crue de l'Arve. On compte 1520 m<sup>3</sup>/s à Pougny, 2400 m<sup>3</sup>/s à Lagnieu, 4250 m<sup>3</sup>/s à Lyon. La crue méditerranéenne de novembre 1951 touche principalement l'aval de Valence. En janvier 1955, la crue de la Saône atteint 2800 m<sup>3</sup>/s à l'entrée de Lyon et ses effets se font sentir sur la vallée du Rhône jusqu'à Avignon.

## Inondation de 1990

La crue océanique de **février 1990** touche principalement le Rhône et ses affluents à l'amont de Lyon. Les bassins de montagne (Arve, Ain, Fier, Isère) sont touchés par un épisode pluvieux exceptionnel (période de retour centennale), dépassant les 130 mm en 2 jours. Les averses exceptionnelles des 13 et 14 février se combinent, à la faveur d'un redoux important, à une fusion nivale remarquable sur l'ensemble de l'épisode : l'enneigement moyen diminue de 10 à 30 cm en Savoie, Isère, Hautes-Alpes entre la semaine du 12 au 18 et la semaine du 19 au 25/2/90. Quelques valeurs locales des 13 et 14/2/90 : Ain, 125+129 mm à Mijoux, 88+80 à Nantua ; Jura, 107+86 à Villars de Lans, 107+139 à Lamoura, 99+110 aux Rousses ; Savoie : 92+138 mm à Aillon le Jeune, 113+122 aux Déserts, 90+99 à Hauteluce ; Haute-Savoie : 73+99 à Boège, 64+86 à Chatel.



Front oscillant remarquable à l'origine des précipitations de février 1990

A la sortie du Léman, la crue était encore peu importante, son débit a cru très fortement avec les apports des affluents jusqu'à Brens (2 236 m<sup>3</sup>/s) et Lagnieu (2 445 m<sup>3</sup>/s). Entre Lagnieu et Perrache, on note peu d'apports supplémentaires, la période de retour est donc fortement retombée à Perrache (dix ans environ).

Seuls les affluents de la partie amont ont vu des crues importantes se produire. L'Arve (438 m<sup>3</sup>/s) et le Fier (700 m<sup>3</sup>/s) ont eu des crues moyennes, mais concomitantes avec celles du Rhône, ces apports ont été complétés par ceux des Usses et de la Valserine (période de retour 90 ans). L'Ain a subi une crue très forte (1540 m<sup>3</sup>/s), de l'ordre de la crue centennale, en avance par rapport à la pointe de crue du Rhône ayant pour effet de limiter la crue à la traversée de Lyon.

Lors de la crue de 1990, le territoire du Haut-Rhône a été déclaré comme sinistré et un dossier de déclaration en catastrophe naturelle a permis d'indemniser les habitants.

### Pluviométrie

Saône - Ain				Alpes Nord				Isère - Drôme				Alpes Sud				Cévennes			
f	M	F	E	f	M	F	E	f	M	F	E	f	M	F	E	f	M	F	E
			*				*				*	*				*			

NB : f = faible / M = Moyen / F = Fort / E = Exceptionnel

### Le Rhône

	Pouébo	Bagnas	Seyssel	Brant	Lagnieu	Perrach	Ternay	Valence	Viviers	Bézuc
Q (m <sup>3</sup> /s)	1143	1687		2236	2445	3230	4371	5165	5190	5297
T (jour)	M	F & TF		E	E	M & F	M	M	M	f



Enveloppe de la crue de février 1990 sur le secteur de Brégnier-Cordon (confluence avec le Guiers) – Source Compagnie Nationale du Rhône

### **Inondations d'octobre 1993 et janvier 1994**

En **octobre 1993** et **janvier 1994**, le Rhône entre en crue générale à deux reprises, à l'origine de débits parmi les plus élevés entre Lyon et Montélimar pour les crues récentes et provoquant des inondations sur sa partie la plus aval du fait des ruptures de digues en Camargue.

Le mois de septembre 93 a vu une pluviométrie abondante sur tout le bassin versant (valeur sur le mois de septembre deux à trois fois supérieure aux moyennes de ce mois).

Lors de l'épisode pluvio-orageux qui s'étend du 5 au 8 octobre, des averses exceptionnelles touchent le 5 octobre l'Ardèche, et des pluies abondantes affectent la Saône et l'Ain. Le 6 octobre les averses se déplacent vers le Rhône supérieur, la Drôme et de l'Isère. Du 10 au 21 octobre, la Saône continue à recevoir des pluies abondantes. La persistance des conditions climatiques constitue un facteur aggravant, et explique la formation d'une crue « générale ».

Du 20 septembre au 10 octobre, les cumuls décennaires ont atteint jusqu'à sept fois les valeurs moyennes observées à cette période de l'année, concentrées plutôt sur le sud du bassin fin septembre et sur le nord début octobre : précipitations fortes sur l'Isère (occurrence 5 ans : 88 mm en 3 jours, 109 mm en 7 jours), l'Eyrieux (occurrence 5 ans : 169 mm en 2 jours) ; la Drôme (occurrence 50 ans : 109 mm en 2 jours, 129 mm en 7 jours), l'Ardèche (occurrence 10 ans : 141 mm en 24 h), la Cèze (occurrence 30 ans : 49 mm en 24 h, 217 mm en 3 jours), la Durance (occurrence 30 ans : 103 mm en 2 jours), le Gard (occurrence 10 ans : 109 mm en 24h). Des précipitations de période de retour inférieure à 2 ans en tête de bassin : l'Arve et le Fier. Sur l'Ain des précipitations assez importantes (occurrence 5 ans : 57 mm en 24 h, 153 mm en 7 jours) sont enregistrées autour du 5 octobre, de même que sur la Saône (occurrence 2 à 5 ans : 38 mm en 24 h, 93 mm en 7 jours).

De l'amont vers l'aval, la crue s'est développée, les apports des affluents venant se greffer sur la pointe initiale. Les débits de pointe observés aux stations amont restent inférieurs aux débits décennaux. Le maximum relatif est atteint à Viviers (7 698 m3/s), puis la période de retour diminue à Beaucaire (9 773 m3/s), les affluents du sud n'ayant que des crues moyennes. Sans avoir de caractère très marqué par la réaction de tel ou tel affluent la crue est caractérisée par un débit de base très élevé et un état de saturation des sols de l'ensemble du bassin versant tel que la réaction d'affluent d'importance a priori moindre (Drôme, Eyrieux, Roubion) entraîne un accroissement de débit significatif du Rhône.

En Camargue, les conséquences et les dommages sont très importants comme le souligne le rapport interministériel sur la Camargue d'avril 1994, dit rapport « Dambre ». Quatorze brèches se sont ouvertes sur les digues à l'aval d'Arles, la longueur totale de ces brèches a été de 225 mètres, la plus importante à Figarès sur le Petit Rhône étant de 40 mètres environ. Plus de 130 millions de m3 se sont déversés en Camargue par ces brèches, submergeant 13 000 hectares sur une hauteur moyenne de un mètre et inondant 450 maisons.

### Pluviométrie

Saône - Ain				Alpes Nord				Isère - Drôme				Alpes Sud				Cévennes			
F	M	F	E	F	M	F	E	F	M	F	E	F	M	F	E	F	M	F	E
		*			*					*			*					*	

NR : F = faible / M = Moyen / F = Fort / E = Exceptionnel

### Le Rhône

	Pouébo	Boignas	Senasol	Ilonse	Lagnieu	Perrach	Ternay	Valarot	Viviers	Beaucaire
Q(m3/s)	1040	1351		1674	1792	2606	4413	6642	7698	9773
T (ans)	M	M		M	M	M	F	F	E	TF

Pour la crue de janvier 1994, on relève schématiquement deux temps dans les pluies génératrices des crues : un premier épisode océanique tout début janvier, portant sur la partie amont du bassin, puis des pluies abondantes méditerranéennes sur la partie aval du 5 au 7 janvier. La pointe de crue observée sur le Haut-Rhône a eu lieu le 1 et le 2 janvier, soit 5 jours avant la pointe de l'aval. Cette crue a contribué à apporter un débit de base soutenu à la crue générale. La crue s'est particulièrement développée à l'aval du bassin du Rhône : la crue de la Saône, très longue a maintenu un débit biennal à la station de Ternay pendant près de 15 jours, sur lequel sont venus se greffer les apports des affluents du sud du bassin. La crue ainsi générée a donc été assez forte en amont et de plus en plus forte vers l'aval jusqu'à atteindre un débit de 10 981 m3/s à Beaucaire.

Bien que la crue de janvier 1994 ait eu un débit supérieur à celui de la crue d'octobre 1993, sa durée a été inférieure. Dès son annonce, un dispositif de surveillance des digues a été mis en place permettant d'intervenir en plusieurs endroits, dès que des infiltrations dans les digues étaient signalées. Deux brèches seulement se sont produites, l'une de 30 mètres de long à Beaumont, l'autre, plus importante, de 80 mètres de longueur à Lauricet, près d'Albaron.

Environ 2000 hectares ont été submergés sur une hauteur moyenne d'un mètre, et 45 maisons ont été inondées.

## Pluviométrie

Saône - Ain				Alpes Nord				Isère - Drôme				Alpes Sud				Cévennes			
F	M	F	E	F	M	F	E	F	M	F	E	F	M	F	E	F	M	F	E
		*				*				*				*				*	

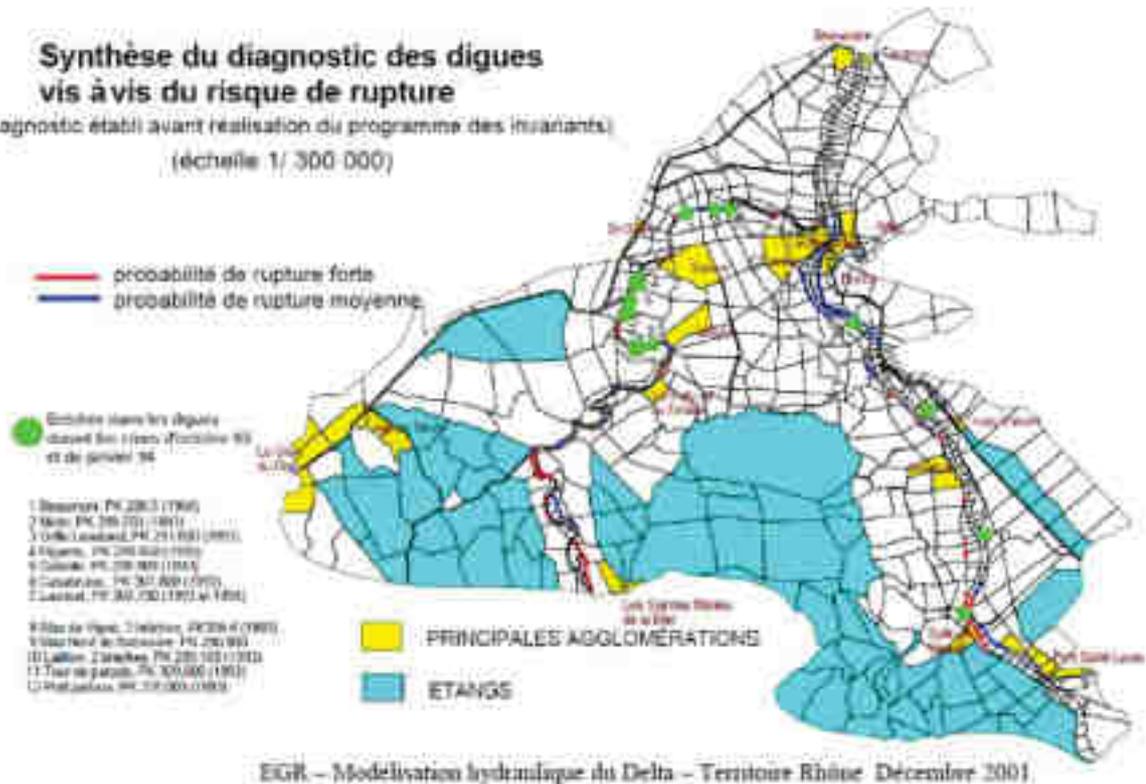
NB : F = faible / M = Moyen / F = Fort / E = Exceptionnel

## Le Rhône

	Pougy	Bagnat	Senast	Beins	Lagnis	Perraut	Tartas	Valence	Viviers	Bastac
Q (m³/s)	889	1132		1804	1480	2147	2813	3342	7594	11001
T (ans)	F	M		M	M	F	M	M	TF	TF

## Synthèse du diagnostic des digues vis à vis du risque de rupture

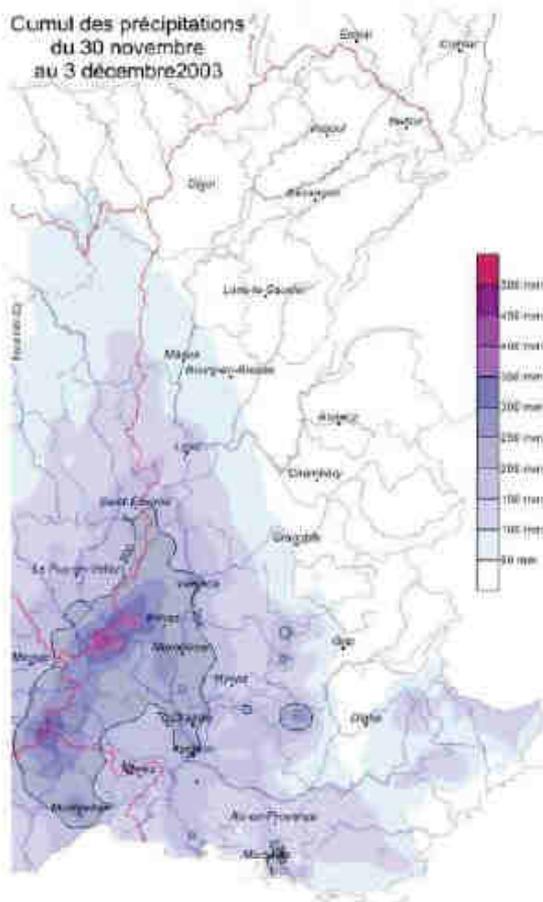
diagnostic établi avant réalisation du programme des invariants)  
(échelle 1/ 300 000)



## L'inondation de décembre 2003

La crue du Rhône de **décembre 2003** est provoquée par un épisode pluvieux d'une durée exceptionnelle de 3 à 4 jours, survenant après un mois de novembre déjà pluvieux. Les plus fortes hauteurs de précipitations sont relevées sur les têtes des bassins cévenols (Gard et Ardèche) avec plus de 300 mm, mais la zone concernée ne se limite pas à ces bassins comme dans un épisode cévenol « classique ». En effet, l'orientation au sud du flux de basses couches fait que la zone des précipitations importantes s'étend plus au nord jusqu'au bassin de la Saône Intermédiaire avec une limite nord de l'isohyète 200 mm située vers le bassin du Gier.

Par opposition, l'extension de la zone des fortes précipitations vers les Alpes est extrêmement limitée : le bassin de la Durance n'est concerné que dans sa partie aval et une majorité des bassins des Alpes restent à l'écart des pluies. On relève toutefois quelques zones avec 200mm en tête des bassins de la Drôme, du Verdon, ainsi qu'à l'intersection des bassins de l'Ouvèze Rive Gauche, du Coulon et de la Durance Intermédiaire.



L'analyse de la situation météorologique et de la carte des cumuls pluviométriques permettent de classer la crue de décembre 2003 dans la catégorie des événements méditerranéens extensifs.

En réaction à ces précipitations exceptionnelles, tous les affluents du Rhône en aval de Lyon connaissent des crues plus ou moins importantes. Les plus forts débits sont atteints sur les affluents cévenols : l'Ardèche avec un débit de 2950 m<sup>3</sup>/s et l'Eyrieux avec 1700 m<sup>3</sup>/s. Le débit de la Durance est un peu plus faible, de l'ordre de 1500 m<sup>3</sup>/s (crue annuelle). La crue du Rhône est faible en amont de Valence, moyenne entre Valence et Viviers, et très forte sur le bas Rhône. Entre le mardi 2 décembre et le jeudi 4 décembre, le pic de crue se propage de Valence à Arles en prenant toujours plus d'ampleur à cause des crues des affluents. A Beaucaire, le fleuve atteint un débit exceptionnel de 11 500 m<sup>3</sup>/s le 3 décembre à 21 heures.

Ce débit a été validé en juillet 2005 par une conférence de consensus qui a réuni des experts internationaux. Ce débit correspond à une période de retour légèrement supérieure à la crue centennale.

Le retour à « la normale » est plus ou moins rapide selon les secteurs : sur le Rhône moyen, les rivières retrouvent rapidement leur lit habituel (dès le 3 décembre dans la région lyonnaise, vers le 4 décembre plus au sud), tandis qu'en aval de Beaucaire, les eaux stagnent durant des jours, voire des semaines, avant d'être évacuées vers la mer.

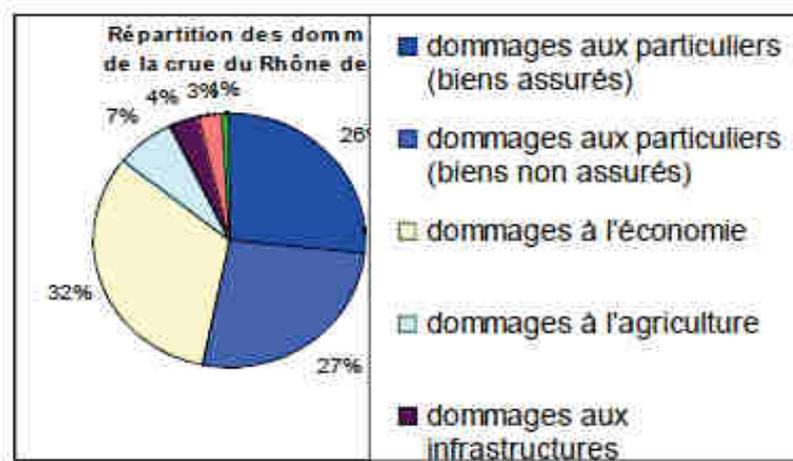
Lors de cet événement, les zones d'expansion de crue sont largement sollicitées et fonctionnent globalement bien en écrétant sensiblement les débits à l'aval. De nombreux territoires situés dans la zone naturellement inondable du Rhône sont préservés grâce à leurs digues de protection, comme en Avignon, où la mise en place rapide des batardeaux et l'absence de dégâts aux digues permettent d'éviter l'inondation du centre ville. En revanche, d'autres ouvrages cèdent ponctuellement sous la pression des flots, provoquant l'inondation de zones à forts enjeux humains et économiques (Arles, Codolet, Laudun-l'Ardoise, Bellegarde).

Les débordements du Rhône et de ses affluents touchent des milliers de personnes, nécessitant la mise en place d'évacuations préventives et des actions de secours d'urgence (hélicoptères...). La rive droite du delta est tout particulièrement touchée sur le secteur Beaucaire-Fourques et la Camargue gardoise du fait de ruptures de digues. Les équipements, les biens et les cultures sont souvent endommagés par le passage des eaux soit à cause de leur vitesse (affluents lyonnais, drômois...) soit au contraire parce qu'elles stagnent durant des jours comme en Arles (Bouches-du-Rhône). Ainsi sur le Gier, la bande d'arrêt d'urgence de l'autoroute A47 est localement emportée. En aval de Viviers (Ardèche), de nombreuses infrastructures ainsi que des équipements publics de protection contre les inondations (digues) sont endommagés. Les lits des rivières subissent également des bouleversements modifiant leur physionomie. Dans les départements du Rhône, de la Drôme et de l'Ardèche, la vitesse des eaux occasionne de nombreuses érosions aux berges de cours d'eau.

Plusieurs zones urbaines comme Arles, Comps, Codolet ou Bellegarde (Gard) sont fortement impactées. En Arles et à Laudun-l'Ardoise (Gard), deux zones industrielles se retrouvent inondées, avec des conséquences très importantes pour les entreprises et l'économie locale.

De nombreuses infrastructures de communication majeures sont coupées à la circulation comme l'A7, l'A47 ou l'A54, cette dernière étant submergée par les eaux du Petit Rhône pendant 11 jours entre Arles et Bellegarde.

Le montant total des dommages occasionnés par les inondations de décembre 2003 s'élève à un milliard d'euros, dont la moitié concerne les particuliers (300 millions d'euros pour les biens assurés et 300 millions d'euros pour les biens non assurés), 370 millions d'euros de dommages aux entreprises, 80 millions d'euros de dommages à l'agriculture, 40 millions d'euros aux infrastructures, 30 millions aux digues, et 10 millions d'euros aux réseaux et aux équipements.



### 2.3.2 Le Gardon

Les crues du Gardon, ou « **gardonnades** », sont connues pour leur soudaineté et leur violence et présentent des configurations très variées suivant la localisation, la dynamique et l'intensité des pluies.

Les crues listées ci-après sont une sélection des crues qui ont marqué les mémoires et engendré les plus importantes catastrophes :

- 21 septembre 1470,
- Septembre 1604,
- 15 septembre 1741
- 3 octobre 1768
- Septembre 1795
- 31 octobre 1840
- 23 septembre 1890
- 22 octobre 1891
- 30 septembre 1900
- 17 octobre 1907
- Octobre 1924 : crue de l'Esquielle
- 30 septembre 1933
- 26 mai 1948 : crue de la Braune et de l'Esquielle
- 11 novembre 1951
- **29-30 septembre et 3-4 octobre 1958 : cette crue était considérée comme la crue de référence jusqu'aux évènements de 2002 (§ 7.2)**
- 30-31 octobre et 5-6 novembre 1963
- 12 septembre 1976
- 22 septembre 1993 : crue de la Droude
- 7 octobre 2001 : crue de la Droude
- **8-9 septembre 2002 (§ 7.3)**

## **Crue de 1958**

L'événement de 1958 était un **épisode typiquement cévenol**. Les crues cévenoles sont généralement produites par des pluies, à caractère orographique, générées par la présence du relief sur lequel viennent buter les masses nuageuses humides. L'air chargé en vapeur d'eau monte alors le long du relief, et la diminution de la pression atmosphérique qui en découle provoque sa détente et donc son refroidissement, ce qui déclenche les précipitations.

Les crues se génèrent dans la partie amont des bassins et se propagent à l'aval, éventuellement aggravées par les apports des bas bassins.

L'événement de 1958 est en fait constitué de deux épisodes, les 29-30 septembre et 3-4 octobre.

**Sur 6 jours, il est tombé plus de 400 mm** avec un maxima enregistré à 583 mm à Malzons et Elze (données Météo France).

L'épisode était centré sur les hauts bassins versants du Vidourle, des Gardons et de la Cèze.

Cet événement a entraîné la mort de 35 personnes dont 21 ont péri dans leur véhicule, s'étant fait surprendre par une montée des eaux très rapide. Parmi les 27 victimes sur les Gardons, 18 se trouvaient dans des véhicules bloqués entre Boucoiran et Saint-Chaptes le soir du 30 septembre.

Les secours ont été mobilisés mais n'ont pu intervenir rapidement étant donné les conditions climatiques et les difficultés d'accès aux zones inondées.

Les pompiers de toutes les casernes du département du Gard se sont mobilisés ainsi que ceux d'Avignon et de Cavaillon. Les compagnies de gendarmerie ont prêté main-forte aux brigades et ont rendu compte de la situation sur le terrain ; 65 CRS d'Uzès ont été dépêchés sur des lieux de sauvetages et plusieurs moyens de sauvetages (barques, zodiac, bateaux, véhicules, fourgon, groupes électrogènes) ont été envoyés en provenance de tous les départements voisins et du Gard. Quatre hélicoptères ont pu procéder à des missions de reconnaissance lorsque la tempête fut terminée. Des vivres de première urgence ont été distribuées dans les communes en plus grande détresse. Des brigades de gendarmerie ont dû patrouiller dans les quartiers évacués pour éviter les pillages. Sur les routes, les forces de l'ordre ont fait face à l'indiscipline des conducteurs qui voulaient absolument forcer le passage sur des ponts pendant submergés.

Plusieurs ponts sont détruits, notamment le pont de Ners, dont une pile cède, entraînant route et rail. Plusieurs routes sont coupées. Le trafic SNCF est interrompu entre Alès et Nîmes (pont détruit).

## **Crue des 8 et 9 septembre 2002**

Les crues torrentielles des 8 et 9 septembre 2002 ont durement frappé les bassins versants du Gardon, du Vidourle, de la Cèze.

Sur les 353 communes que compte le Gard, 299 ont demandé l'état de catastrophe naturelle.

Le bilan humain est de 23 morts dont 22 dans le département du Gard. Il aurait pu être encore plus dramatique si la crue n'était survenue un dimanche, jour de faible activité et si les secours n'avaient montré une grande efficacité.

L'épisode pluvieux

Les perturbations des 8 et 9 septembre 2002 ont affecté un vaste secteur géographique (entre 5000 et 6000 km<sup>2</sup>) réparti sur le département du Gard, l'Est de l'Hérault et l'Ouest du Vaucluse.

Le 8 septembre, un anticyclone s'est positionné sur la Scandinavie et a laissé la France soumise à un flux de sud-ouest perturbé dans lequel un front ondulant a progressé lentement d'Ouest en Est du pays. A l'avant de ce front, des remontées d'air chaud de basses couches de Méditerranée sont rentrées en conflit avec de fortes anomalies d'altitude, et ont engendré la formation d'orages violents, stationnaires et d'une ampleur exceptionnelle sur le Sud-Est du pays du 8 au 9 septembre 2002.

Ces orages présentaient une structure en V, caractéristique des orages méditerranéens. Ces types d'orages concernent généralement des surfaces de 100 à 200 km<sup>2</sup> et génèrent des cumuls à l'épicentre de l'ordre de 400 mm (Nîmes le 3 octobre 1988, l'Avène le 6 octobre 1997, la Droude le 6 octobre 2001).

**Celui de septembre 2002 était hypertrophié en surface (1500 km<sup>2</sup>) et en intensité maximale (680 mm) le long du Gardon entre Anduze et Cardet.**

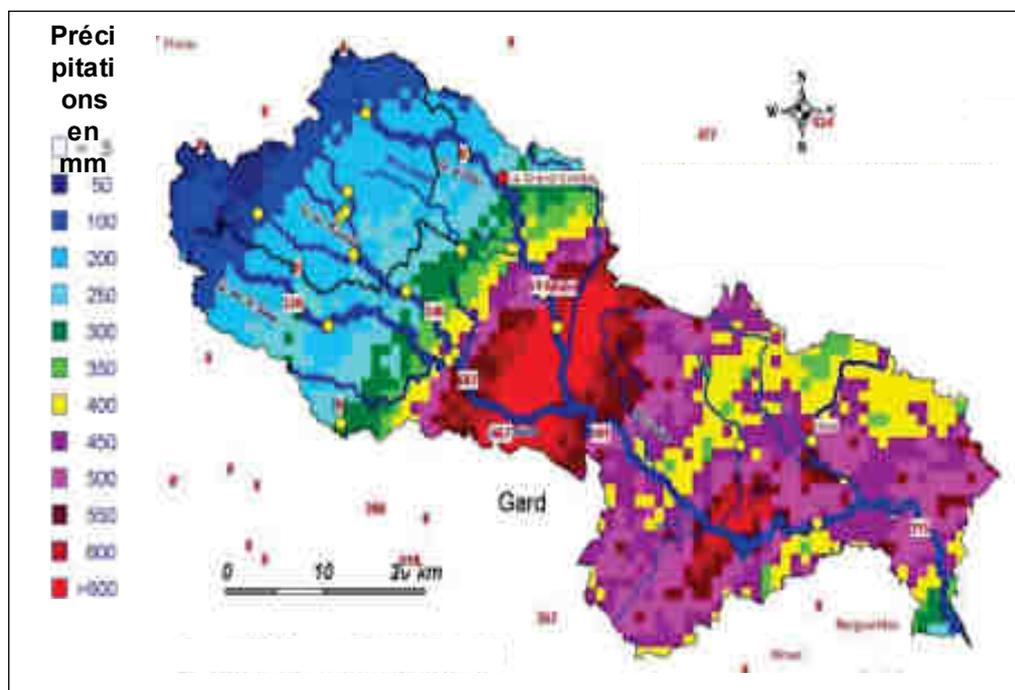
Les **pluviométries intenses**, dépassant souvent les 100 mm/h, ainsi que le **caractère stationnaire** de l'événement, ont conduit à des records de cumuls de pluviométrie, supérieurs de 10 à 50 % aux cumuls pluviométriques dits "centennaux".

La pluie a débuté à 10h le 8 septembre au matin, et durant une trentaine d'heures, cette véritable noria a affecté les garrigues gardoises et les piémonts cévenols ; **les cumuls de précipitations ont dépassé 400 mm sur les 2/3 du département du Gard.**

Le bassin versant du Gardon a été touché presque entièrement, seul l'extrême amont en Lozère a été épargné.

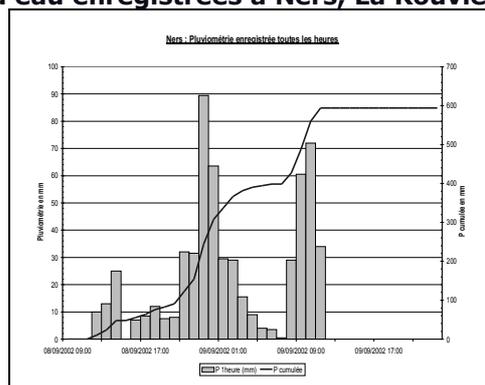
Deux vagues de précipitations intenses se sont succédées sur le Gard. La première sur un axe Lunel-Nîmes jusqu'en fin de journée du 8, puis la seconde plus en amont sur un axe Sauve-Alès dans la matinée du 9. En début d'après-midi, le système convectif s'évacue vers le Vaucluse.

Cumuls de pluie des 8 et 9 septembre 2002 sur le bassin versant des Gardons (Selon les images radar originales et les indications des stations pluviométriques au sol). Sources : Météo France, Rhéa, DIREN Languedoc-Roussillon, DDE



Précipitations maximales enregistrées à divers pas de temps (mm)						
Stations	1h	2 h	6 h	12 h	24 h	Cumul des 08 et 09/09/02
Ners	92	163	277	413	594	594
La Rouvière (sur la Braune)						541
Gajan						550

### Lames d'eau enregistrées à Ners, La Rouvière et Gajan



Source : État des lieux et diagnostic, Partie A, analyse de l'évènement des 8 et 9 septembre 2002, BRL, juin 2003

Si on compare ces valeurs aux valeurs statistiques établies à la station pluviographique de Nîmes Courbessac, l'évènement se situe dans des périodes de retour très rares supérieures à 100 ans aussi bien sur de courtes que sur de longues durées pluviométriques. Mais il convient d'être prudent car il est difficile d'extrapoler des valeurs extrêmes à partir d'un échantillon qui ne dépasse pas 40 ans d'observations.

Par ailleurs, à une échelle régionale (Languedoc Roussillon), un cumul ponctuel de 690 mm (Anduze) a été évalué à une période de retour de 40 ans (cf. analyse de l'épisode pluvieux-Hydrosciences Montpellier pour le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable). Ce cumul se situe à la 5<sup>ème</sup> place dans l'espace méditerranéen entre 1825 et 2002. Des évènements comparables ont été observés en Languedoc Roussillon à plusieurs reprises : l'« aiguat » d'octobre 1940 dans les Pyrénées Orientales, novembre 1999 dans l'Aude. Du point de vue pluviométrique, le caractère exceptionnel de cet évènement est donc à relativiser.

## La crue de référence de septembre 2002

A l'aval du village de Montfrin, le Gardon s'est étendu dans toute la plaine, dévastant les cultures les plus proches du lit mineur et déposant une épaisse couche de limons à l'écart. Localement, les écoulements ont été perturbés par le remblai du TGV malgré de nombreux ouvrages de décharge (mises en vitesse et érosions). Les derniers méandres avant la confluence avec le Rhône ont été shuntés et les berges localement érodées.

A **Comps**, la totalité du village a été inondée et de nombreuses personnes ont dû être hélicoptéées. Les digues ont été submergées et le casier hydraulique formé par le vieux village a été rempli. A la décrue, la hauteur d'eau dans le village était plus importante que celle du Gardon ; plusieurs brèches se sont alors formées, permettant une vidange du casier.



Vue générale de Comps dans la journée du 9 septembre (photo mairie de Comps)



Vidange du casier par la brèche de la route de Remoulins, le 10 septembre dans la matinée (photo mairie de Comps)

Dans la plaine d'**Aramon**, le Gardon inonde toute la plaine de Montfrin le 9 septembre ; en fin de journée, la crue ascendante du Rhône entrave l'évacuation de la crue du Gardon. Le casier hydraulique situé entre Montfrin et Aramon se remplit progressivement, fermé par les coteaux au nord et les digues du Rhône au sud ; dans les points bas de la plaine, le niveau d'eau dépasse 3 mètres. Dans la nuit du 9 au 10, plusieurs brèches se sont formées dans les anciennes digues de protection d'Aramon. La quasi-totalité du village a été brusquement inondée sans possibilité d'évacuation ; le village est resté sous les eaux pendant plusieurs jours et de nombreux dégâts matériels ont été occasionnés.

## 3 Cartographie du risque

### 3.1 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DU RHÔNE

Le Rhône bénéficie d'une somme de connaissances importantes sur son fonctionnement. On citera en premier les travaux de Maurice Pardé (*Le régime du Rhône*, Lyon, 1925) qui représente une référence scientifique incontournable sur le fonctionnement hydrologique du Rhône et sur les paramètres des crues historiques du XIX<sup>ème</sup> siècle et du début du XX<sup>ème</sup>.

Ensuite, le Rhône a fait l'objet d'études hydrauliques détaillées dans le cadre de la réalisation des aménagements hydroélectriques de la CNR entre les années 1940 et 1960. Plus récemment, suite aux crues importantes des années 1990, l'étude globale sur le Rhône (1999-2002) avait pour objet d'élaborer une stratégie de gestion du Rhône. Elle comprend les volets hydrologique, hydraulique, transport solide et enjeux qui ont chacun produit des données et des analyses consolidées sur l'ensemble du Rhône français.

L'aléa de référence, a été défini sous la maîtrise d'ouvrage de la DREAL de Bassin Rhône-Alpes en s'appuyant sur les débits et hydrogrammes de la crue historique de 1856 (12.500 mètres cubes à la station de Beaucaire) aux conditions actuelles d'écoulement du Rhône.

La phase de recueil des données sur les événements historiques dont certaines sont reportées sur la carte des aléas, a été élaborée à partir des documents et observations disponibles, certains datant parfois d'une époque où les lits mineurs et majeurs avaient des caractéristiques et des occupations fort différentes. Ces données servent donc de référence historique.

<b>PLUS FORTES CRUES ANNUELLES DU BAS RHONE (Tableau provisoire)</b>															
RANG	TERNAY 1895-2001			VALENCE 1855-2001			VIVIERS 1910-2001			AVIGNON (1845-1994)			BEUCAIRE 1856-1999		
	Date	H en m	Q en m <sup>3</sup> /s	Date	H en m	Q en m <sup>3</sup> /s	Date	H en m	Q en m <sup>3</sup> /s	Date	H en m	Q en m <sup>3</sup> /s	Date	H en m	Q en m <sup>3</sup> /s
1	26/02/1957		5320	31/05/1856	7.00	8300	09/10/1993	4.85	7715	03/12/2003		10700	04/12/2003		11500
2	16/02/1928		5120	01/11/1896	6.11	7400	02/12/2003	4.92	7700	31/05/1856	7.83	10400	31/05/1856	7.95	11640
3	01/01/1955		5075	08/10/1993	5.30	6700	07/01/1994		7588	08/01/1994	7.20	9000	08/01/1994		11006
4	26/11/1944		4850	11/11/1886	5.77	6620	17/11/2002	4.71	7500	14/11/1935	7.32	8710	12/11/1886	7.55	10200
5	02/11/1896		4830	26/11/1944	5.75	6620	21/11/1951		6660	30/09/1900	6.94	8650	10/10/1993		9800
6	25/12/1918		4830	16/11/2002	5.22	6600	14/06/1941		6470	22/11/1951	7.27	8270	14/11/1935	7.68	9600
7	23/03/2001	5.84	4780	17/02/1928	5.66	6480	20/01/1955		6320	10/10/1907	6.83	8270	22/11/1951	7.64	9170
8	27/05/1983		4756	19/01/1955	5.70	6300	27/11/1944		6180	09/10/1993	6.39	8200	21/10/1872	6.87	9080
9	05/01/1936		4700	26/12/1918	5.54	6100	23/03/2001	3.96	6162	12/11/1886	6.55	8125	02/11/1896	7.00	9060
10	12/02/1945		4690	03/01/1883		6040	13/11/1935		6000	02/11/1896	6.64	8115	13/11/1996		8981
11	17/11/2002	5.67	4613	23/03/2001	4.88	6022	18/02/1928		5975	07/12/1910	6.43	7925	30/09/1900	7.08	8940
12	30/12/1923		4570	06/01/1936	5.40	5830	28/02/1957	4.00	5900	21/10/1872	6.26	7820	01/01/1889	6.83	8780
13	10/10/1993	5.73	4417	18/05/1983	4.65	5690	11/12/1954		5860	06/01/1919	6.68	7725	11/11/1976		8690
14	21/01/1910		4380	27/02/1957	5.40	5680	19/05/1983	3.77	5850	19/10/1846	5.80	7440	08/12/1910	7.02	8660
15	17/02/1990	5.65	4354	31/12/1923	5.30	5630	07/01/1936		5800	29/10/1882	6.07	7265	10/11/1907	6.83	8500
16	23/11/1992	5.64	4309	02/12/2003	4.60	5600	13/11/1996		5795	22/12/1958	6.70	7110	29/10/1882	6.60	8390
17	16/01/1899		4230	13/11/1935	5.23	5470	05/01/1919		5770	11/11/1976	6.00	7080	06/01/1919	6.80	8280
18	19/12/1981		4186	05/01/1919	5.19	5450	26/12/1918		5725	15/04/1847	5.37	7040	24/10/1977		8125
19	01/01/1919		4160	28/10/1882	5.18	5440	01/12/1910		5720	09/11/1982	5.70	7010	28/10/1864		8100
20	12/02/1977		4105	07/01/1994	4.48	5380	10/10/1988		5655	08/10/1960		6950	09/11/1982		8025
21	14/11/1935		4100	18/12/1981	4.20	5376	04/05/1977		5480	28/10/1864	5.70	6920	19/12/1997		8020
22	06/11/1939		4090	23/11/1992		5328	23/11/1992		5464	29/11/1944	6.40	6750	08/10/1960	6.98	7960
23	08/01/1982		4045	18/01/1899	5.10	5300	20/11/1950		5460	22/01/1955	6.49	6710	22/12/1958		7920
24	23/02/1999	5.22	4040	11/04/1922	5.07	5280	23/03/1937		5400	03/01/1936	6.39	6570	21/05/1917	6.56	7850
25	28/12/1925		4030	02/06/1877		5235	06/10/1960		5390	12/10/1988		6450	03/01/1936	6.82	7820
26	05/09/1956		3960	20/12/1910	5.06	5220	18/11/1940		5390	22/04/1848	5.25	6445	23/10/1891		7800
27	12/04/1922		3940	01/01/1924		5220	15/02/1945		5375	22/10/1891	5.55	6400	27/02/1978		7800
28	26/02/1995	5.05	3883	15/03/1876	5.02	5200	08/05/1932		5375	09/12/1977	5.67	6360	06/10/1924		7600
29	09/03/1914		3870	17/02/1990		5189	31/12/1923		5375	07/11/1963	6.36	6320	21/10/1855		7550
30	27/11/1950		3840	03/11/1859		5160	17/02/1990		5345	30/10/1853	5.18	6290	04/11/1914		7480
31				01/04/1902		5120	14/03/1931		5340						

ATTENTION Toutes les dates commençant par 01/01 sont incertaines en ce qui concerne le jour et le mois

L'importance relative de ces événements s'évalue en les comparant aux données statistiques qui sont régulièrement exploitées. Sur le Rhône, les stations limnimétriques permettent de connaître les hauteurs d'eau depuis plus de cent ans et les débits sur des périodes variables. Les calculs statistiques effectués sur ces données permettent d'évaluer les probabilités d'occurrence des crues et d'établir les débits des crues caractéristiques.

On qualifie de crue décennale et de crue centennale les crues qui ont respectivement une chance sur 10, et une chance sur 100, d'être atteintes ou dépassées chaque année. Ces crues théoriques sont essentielles pour estimer la rareté de crues historiques constatées.

Station Débit (m <sup>3</sup> /s)	Pouigny	Bognes	Seyssel	Brens	Lagnieu	Perrache	Ternay	Valence	Viviers	Beucaire
<b>Débit de la crue caractéristique décennale (Q10)</b>	1180	1450	1430	1720	1810	3120	4450	5620	6100	8400
<b>Débit de la crue caractéristique centennale (Q100)</b>	1470	1920	1940	2150	2400	4230	6000	7510	8120	11300
<b>Débit de la crue caractéristique exceptionnelle</b>	1800	2375	2450	2570	2970	5310	7310	9370	10100	14160

La doctrine nationale pour l'élaboration des PPRN préconise de prendre en compte un aléa de référence correspondant à plus forte crue historique connue et au minimum à la crue centennale. Ce principe a été décliné dans le contexte rhodanien marqué par les aménagements majeurs réalisés dans les années 1960 et 1970 par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) pour exploiter le potentiel hydroélectrique du fleuve, favoriser la navigation et permettre l'irrigation. Les conditions d'écoulement ont ainsi été fortement modifiées depuis les grandes crues du XIX<sup>ème</sup> siècle. Par conséquent, la doctrine Rhône définit l'aléa de référence en aval de Lyon comme la crue de 1856, ces crues étant modélisées aux conditions actuelles d'écoulement (et avec des conditions de fonctionnement des ouvrages CNR bien identifiées sur les secteurs concernés).

Le modèle hydraulique disponible permettant de calculer les lignes d'eau de crue est celui qui est mis en œuvre et actualisé par la CNR depuis l'entrée du Rhône en France jusqu'au barrage de Vallabrègues. Dans le cadre de la convention d'utilisation partagée de ce modèle entre la CNR et l'Etat, les services de l'Etat (DREAL Rhône-Alpes) procèdent aux modélisations nécessaires pour définir la ligne d'eau de référence. De Beaucaire à la mer, le modèle disponible est celui qui a été mis en œuvre pour le volet hydraulique de l'Etude globale sur le Rhône par le bureau d'étude Egis-Eau.

### **Scénario de crue de référence sur le Rhône de l'aval de Lyon à Beaucaire-Tarascon**

En partant des débits de la crue de 1856 communément admis (Etudes de Maurice Pardé prépondérantes), il s'agit de déterminer la ligne d'eau d'une crue similaire à celle de 1856 qui se produirait aujourd'hui.

La première étape a consisté à affiner le scénario hydrologique de la crue de 1856. En effet, les données de référence pour cette crue sont établies uniquement aux principales stations historiques de Givors, Valence, Viviers et Beaucaire, ainsi que sur les principaux affluents : Arve, Ain, Saône, Isère, Eyrieux, Drôme, Ardèche, Durance. Le scénario de crue correspondant (« Pardé-brut ») a la particularité de comprendre des crues de l'Isère et de la Drôme particulièrement fortes, comparativement à celle d'affluents comme l'Eyrieux, l'Ardèche et la Durance. Par ailleurs, ce scénario ne permet pas de répartir les apports d'autres affluents importants comme le Doux, la Cèze, le Roubion ou même le Gard.

Pour pouvoir calculer la ligne d'eau de cette crue en situation actuelle, un scénario de crue plus complet a donc été reconstitué. Il s'agit d'un scénario de crue équivalent en importance (dit « 1856 Pardé-lissé » par la suite), construit en partant du débit historique de 6100m<sup>3</sup>/s à la confluence Rhône-Saône pour obtenir le débit historique de 12500m<sup>3</sup>/s à Beaucaire :

- en intégrant des débits davantage proportionnels aux débits caractéristiques pour chacun des affluents principaux,
- en proposant une répartition des apports plus équilibrée hydrologiquement que dans le scénario « Pardé-brut ».

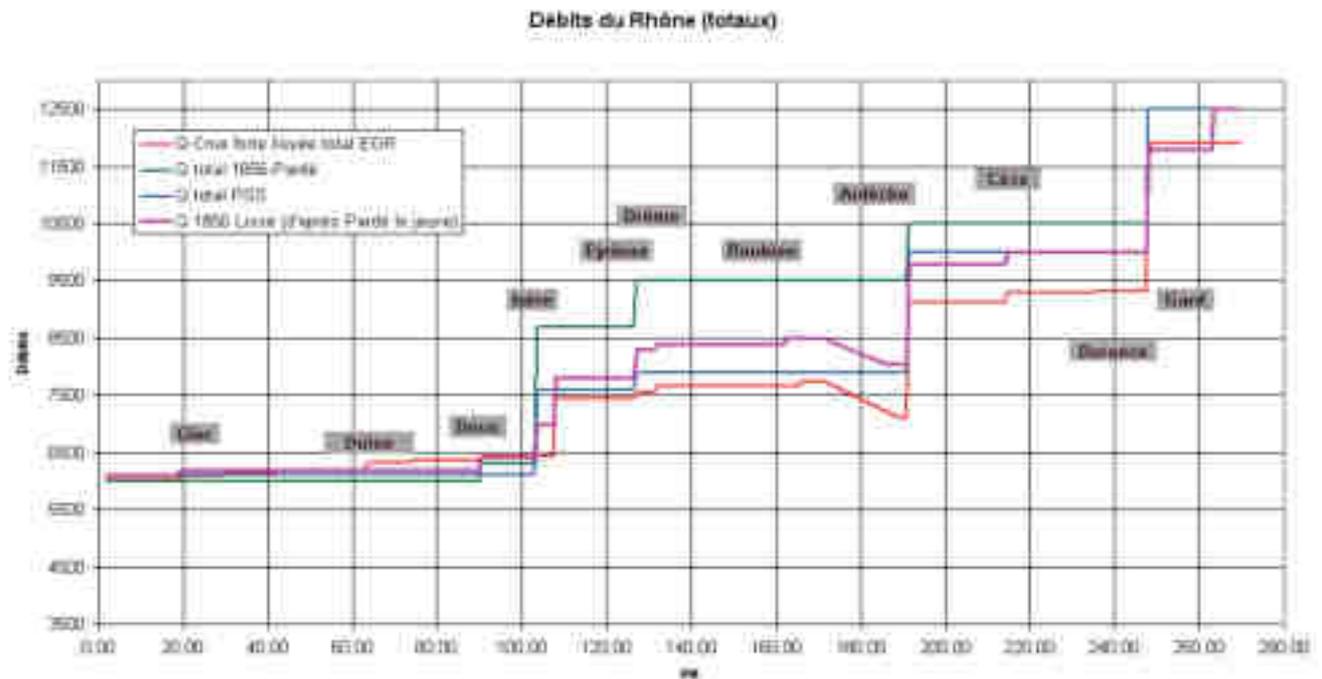
Le tableau et le graphique suivant montrent comment évoluent, d'amont en aval, les débits dans le scénario de crue de référence à chaque confluence d'affluent important avec l'indication de l'apport de ces affluents principaux.

Affluent	Débit des affluents pour les crues d'occurrences 50 ans / 100 ans	Crue de 1856 lissée	
		Evolution du débit du Rhône	Débit total du Rhône *
Saône	2600 / 2800		6100
Gier	190 / -	100	6200
Doux	≈ 500 / -	200	6400
Isère	2800 / 3600	1400	7800
Eyrieux	1700 / 2050	500	8300
Drôme	600 / 750	100	8400

Roubion	≈ 500 / -	100	8500
Ardèche	5200 / 6100	1760	9800
Cèze	2100 / 2500	200	10000
Ouvèze	≈ 500 / -		
Durance	4050 / 5000	1800	11800
Gard	3100 / 3800	700	12500

\* à l'aval de la confluence

Les graphes suivants reprennent ces informations pour le Rhône en aval de Lyon.



La deuxième étape a consisté à déterminer les conditions de fonctionnement des aménagements hydroélectriques de la CNR.

En fonctionnement normal, assuré dans la majorité des épisodes de crue, les débits dérivés dans les canaux usiniers sont proches des débits d'équipement (débits maxima turbinables).

Pour la détermination de l'aléa de référence il apparaît plus judicieux de retenir la moitié du débit d'équipement pour chaque aménagement qui correspond à une hypothèse de fonctionnement réaliste tant du point de vue technique que du point de vue de la prévention, sauf pour l'aménagement de Donzère-Mondragon où le débit du canal usinier est contrôlé par un barrage de garde pour être maintenu à 1500m<sup>3</sup>/s en situation de crue de référence.

	Débit dérivé EGR	Débit dérivé PSS	Débit dérivé scénario de référence 1856	Débit d'équipement (maximum turbinable)
<i>Pierre Bénite</i>	1400	760	800	1400
<i>Vaugris</i>	0	0	0	1400
<i>Péage de Roussillon</i>	770	760	800	1600
<i>Saint Vallier</i>	1620	760	800	1650
<i>Bourg les Valence</i>	1440	760	1150	2300
<i>Beauchastel</i>	1700	950	1050	2100
<i>Logis Neuf</i>	2230	990	1100	2230
<i>Montélimar</i>	1850	990	930	1850
<i>Donzère Mondragon</i>	1500	300	1500	1980
<i>Caderousse</i>	2240	1250	1140	2280
<i>Avignon Sauveterre</i>	5210	4000	4800	2310
<i>Villeneuve</i>				
<i>Vallabrègues</i>	2200	1560	1100	2200

Les résultats de l'Etude Globale Rhône (EGR) qui reposent sur la modélisation d'une large gamme de crues caractéristiques dans les conditions actuelles d'écoulement ont permis d'évaluer la ligne d'eau du Plan des Surfaces Submersibles (PSS) comme donnée répondant à l'objectif de prévention en représentant de manière satisfaisante ce qu'induirait en terme de hauteurs d'eau la crue de 1856 si elle s'écoulait dans le lit actuel du Rhône. Cette ligne d'eau s'applique réglementairement depuis le début des années 1980 pour maintenir le libre écoulement des eaux et préserver les zones d'expansion de crue.

La Commission administrative de bassin a validé en décembre 2007 l'application de cette ligne d'eau PSS sur une grande partie du linéaire du Rhône en aval de Lyon pour représenter l'aléa de référence dès 2009 et elle a préconisé des analyses complémentaires spécifiques sur les linéaires où la ligne d'eau PSS n'était plus représentative des conditions actuelles d'écoulement (carte ci-jointe).

Pour le Rhône aval, ces analyses complémentaires ont concerné :

- Du PK 171 au PK 212 : La ligne d'eau PSS résultait d'un exhaussement du lit du Rhône entre 1856 et le milieu du XXème siècle, situation prévalant au moment des aménagements. Depuis, des extractions importantes et une tendance à l'incision du lit ont provoqué un abaissement du lit dans le secteur de la confluence avec l'Ardèche et en aval. La ligne d'eau PSS représente donc une référence majorante. L'aléa de référence retenu résulte donc d'une nouvelle modélisation du scénario de référence mieux représentative de la situation actuelle qui n'évolue plus significativement depuis l'arrêt des extractions massives.
- Du PK 212 au PK 262 : Sur le secteur correspondant aux aménagements d'Avignon et de Vallabrègues, la ligne d'eau PSS était établie uniquement jusqu'à la confluence de la Durance selon des conditions hydrauliques particulières. La crue de décembre 2003, correspondant à une crue de débit voisin du débit de la crue de 1856, a montré que cette ligne d'eau ne pouvait représenter l'aléa de référence dans les conditions actuelles d'écoulement.

### **Détermination de l'enveloppe de la zone inondable**

Le modèle hydraulique existant sur le Rhône est d'abord construit pour la gestion du lit mineur; il calcule une ligne d'eau en de nombreux profils du lit mineur, et uniquement des niveaux moyens dans les casiers d'inondation. Ces casiers d'inondation sont construits pour représenter correctement les volumes dans le lit majeur, ils ne permettent pas de tracer directement l'enveloppe de la zone inondable.

L'aléa de référence basé sur la ligne d'eau en lit mineur est donc projeté horizontalement sur le lit majeur pour délimiter la zone inondable en utilisant les données topographiques disponibles. Cette projection est réalisée en prenant en compte le fonctionnement hydraulique (intrados ou extrados, largeur de la zone d'expansion), ainsi que les zones partiellement protégées par des ouvrages où l'inondation se produit par remontée depuis un point de débordement situé en aval.

Le mode de projection horizontale constitue une hypothèse relativement majorante, notamment par rapport aux crues de faible durée régulièrement observées, qui se justifie par les objectifs de prévention du PPRi.

### **L'aléa en Camargue**

A la différence de la méthode utilisée pour déterminer l'aléa de référence sur l'essentiel du cours du Rhône à partir des niveaux en lit mineur et de l'analyse des conditions de débordement en lit majeur, en aval de Beaucaire-Tarascon et dans le secteur de Camargue, la configuration du lit majeur du Rhône « en toit », nécessite une méthode adaptée. En effet, l'espace deltaïque est caractérisé par une pente très faible du fleuve et des apports solides importants d'alluvions et de sédiments. Le fleuve forme alors plusieurs méandres que l'intervention de l'homme a tenté de fixer à l'aide d'endiguements, responsables également d'une élévation du lit mineur par rapport au lit majeur.

Cette morphologie explique que toutes les crues importantes se sont accompagnées de ruptures de digues en général imprévues et assez aléatoires générant le déversement de volumes importants dans le delta du Rhône : inondation généralisée du delta en 1856, inondation de la Camargue insulaire et de la Grande Camargue en 1993, inondation de la Camargue insulaire et de la Camargue Gardoise en 1994, inondation de la plaine d'Aramon en 2002, inondation de la Camargue Gardoise et d'Arles en 2003.

Selon la doctrine nationale, l'aléa dans le lit majeur protégé par des digues doit correspondre à une propagation de la crue avec l'effacement complet des digues. Ces digues constituent un seul système de protection opérant pour chacune des rives sur l'ensemble du lit majeur. Dans la configuration « en toit » du delta du Rhône, l'effacement des digues conduit à une situation très particulière : le débit du lit mineur se déverse rapidement en rive droite et en rive gauche à l'entrée du Delta (immédiatement en aval de Beaucaire-Tarascon) et un volume considérable recouvre ce secteur; plus en aval, le niveau du Rhône est très abaissé et il n'y aurait plus que des débordements très limités, notamment en Camargue insulaire. Cette méthode s'avère peu adaptée aux zones de delta.

Pour déterminer l'aléa de référence en prenant en considération le mode de propagation particulier des crues dans le delta du Rhône, la méthode s'appuie sur l'hydrogramme de la crue de 1856 à Beaucaire et sur le modèle à casiers de Beaucaire à la mer, élaboré dans le cadre de l'étude globale Rhône (EGR) et actualisé après la crue de décembre 2003, permettant de simuler la réalité des écoulements actuels. Pour rendre compte des ruptures de digues systématiques en cas de crues sans multiplier à l'infini des scénarios qui seraient propres à chaque ouvrage de protection, l'étude Egis-eau sous maîtrise d'ouvrage de la DIREN de Bassin<sup>1</sup>, consiste à modéliser des ensembles de déversements à partir de la des retours d'expériences historiques sur les brèches constatées sur trois secteurs traités de manière indépendante :

1. secteur A : inondation de la Camargue gardoise,
2. secteur B : inondation de la Camargue insulaire,
3. secteur C : inondation de la rive gauche du Rhône.

Chaque scénario de référence retenu sur chacun des trois secteurs est issu d'une unique modélisation globale et homogène sur le secteur, déversant dans la plaine des volumes d'eau comparable à ceux observables pour une crue de type 1856. Au regard de la complexité du fonctionnement hydraulique et de la multitude de possibilités de brèches qui peuvent se former en cas de crue, plusieurs scénarios ont été testés sur chacun des trois secteurs A, B, et C. Les caractéristiques des brèches (nombre, dimensions, vitesses de rupture) ont été basées sur l'analyse des scénarios historiques. Les niveaux de submersion sont observés à une distance raisonnable des digues pour obtenir un lissage des effets localisés résultant de la position du déversement. Ils sont également alimentés par les déversements linéaires modélisés sur l'ensemble des digues qui n'assurent pas une protection suffisante. Le résultat de cette modélisation a donc fourni pour chacun des casiers identifiés dans le modèle un niveau NGF correspondant au niveau maximal atteint par les eaux pendant la durée du scénario de crue de référence. Ces modélisations permettent de retrouver l'enveloppe historique de la crue de 1856, dont le périmètre est bien connu à partir du Plan des zones inondables (PZI) de 1911. L'étude renseigne, de plus, les niveaux d'eau que l'on constaterait aujourd'hui pour des volumes déversés comparables à ceux de la crue de 1856. La comparaison de ces niveaux de submersion et de la topographie la plus récente fournit les hauteurs d'eau et la classe d'aléa pris en compte dans le PRRi.

La synthèse des résultats sur les trois secteurs A, B et C doit être lue de la manière suivante : « pour chaque point de la zone inondable et dans une configuration particulière - mais réaliste - de

<sup>1</sup> DIREN Rhône-Alpes - Bassin Rhône Méditerranée, *Détermination de l'aléa de référence pour les crues du Rhône en aval de Beaucaire*, rapport d'études Egis-eau, mars 2009.

ruptures de digues, la crue de référence peut provoquer des hauteurs d'eau correspondant à celles indiquées sur la carte d'aléa. » Par contre, une seule crue comparable à la crue de référence ne provoquera pas simultanément en tout point de la carte d'aléa couvrant les trois secteurs de telles hauteurs d'eau. Enfin, les niveaux de submersion calculés sont significativement différents des niveaux de crue en lit mineur – niveaux inférieurs du fait de la configuration de lit en toit - et correspondent mieux aux objectifs de prévention.

L'étude a aussi permis de modéliser les effets de chaque brèche prise isolément. Les résultats sont localement comparables par rapport à ceux correspondant à des brèches multiples, par contre, ils rendent mal compte de la situation globale des écoulements à l'échelle d'un secteur, du fait de l'insuffisance des volumes déversés à travers une seule brèche. Enfin, parmi les différents scénarios à brèches multiples qui ont été modélisés, les résultats sont convergents, à quelques dizaines de centimètres près pour des hauteurs d'eau importantes, de plus d'1m50. En effet, il est à noter que ce sont les volumes déversés plutôt que la localisation des déversements qui ont un impact sur l'aléa.

## **3.2 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA DU GARDON ET DU RIEU**

### **3.2.1 Approche hydrogéomorphologique**

Née de la nécessité de mieux gérer les zones exposées aux aléas d'inondation, la méthode hydrogéomorphologique permet de mettre en évidence des unités géomorphologiques non contestables, façonnées par l'eau, et qui marquent les limites potentielles d'une crue supérieure.

Outre l'exploitation de la documentation existante, la méthode hydrogéomorphologique s'appuie sur les informations tirées de l'étude stéréoscopique des photos aériennes et sur les données de terrain. Ces dernières consistent notamment en l'observation des éléments topographiques, souvent de taille modeste (microtopographie) et en la caractérisation des dépôts (granulométrie, couleur). Il est également intéressant, dans le cas de cours d'eau fortement artificialisés (calibrés, retracés, etc.) de déterminer l'axe d'écoulement des eaux en période de crue grâce à l'identification de leur tracé d'origine. Les délimitations obtenues grâce aux critères géomorphologiques peuvent également être précisées par des éléments de nature anthropique (localisation des habitations, structure du parcellaire, etc.). Enfin, les observations recueillies auprès des riverains donnent des précisions concernant les caractéristiques des crues précédentes.

### **Méthodologie**

La méthode de travail retenue pour cette étude est l'analyse hydrogéomorphologique, qui est une approche naturaliste fondée sur la compréhension du fonctionnement naturel de la dynamique des cours d'eau (érosion, transport, sédimentation) au cours de l'histoire. Elle consiste à étudier finement la morphologie des plaines alluviales et à retrouver sur le terrain les limites physiques associées aux différentes gammes de crues (annuelles, fréquentes, exceptionnelles) qui les ont façonnées. Dans l'élaboration du document, cette analyse géomorphologique appliquée aux espaces alluviaux se prête à être associée aux informations relatives aux crues historiques. L'analyse s'appuie sur l'interprétation géomorphologique d'une couverture stéréoscopique de photographies aériennes (mission IGN 2002\_FR 5554\_P\_17500 au 1/17 500ème) validée par des vérifications de terrain.

Cette étude a été réalisée en conformité avec les principes retenus par les Ministères de l'Équipement et de l'Écologie et du Développement Durable pour la réalisation des Atlas des zones inondables par analyse hydrogéomorphologique, exprimés dans un guide méthodologique publié en 1996, et dans un cahier des charges national détaillé qui constitue aujourd'hui le document de référence pour ce type d'étude. La fiabilité de cette approche et ses limites ont par ailleurs été vérifiées à l'occasion des crues exceptionnelles récentes (Aude 1999, Gard 2002).

La cartographie produite par l'analyse hydrogéomorphologique permet de disposer d'une vision globale et homogène des champs d'inondation sur l'ensemble des secteurs traités en pointant à un premier niveau, les zones les plus vulnérables au regard du bâti et des équipements existants. L'information fournie reste cependant essentiellement qualitative, même si elle est complétée, là où elles existent, par des données historiques.

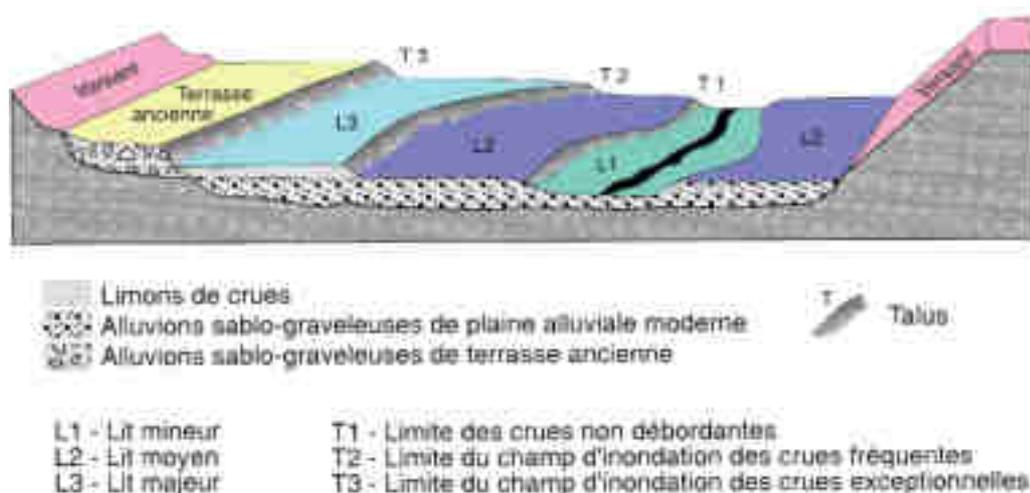
Dans la stratégie de gestion du risque inondation, cette démarche constitue une phase préalable relativement précise mais dont les limites résident clairement dans la quantification de l'aléa (notamment vis-à-vis de la définition de la crue de référence et de la détermination des paramètres hauteur ou vitesse des écoulements). C'est pourquoi, dans les secteurs où les enjeux sont importants notamment en terme d'urbanisation ou d'aménagement, elle nécessite d'être complétée ultérieurement par des approches hydrologiques et hydrauliques.

La cartographie hydrogéomorphologique est basée sur l'identification des unités spatiales homogènes modelées par les différents types de crues au sein de la plaine alluviale.

Cette analyse permet de déterminer par une approche naturaliste éprouvée les différentes composantes d'un cours d'eau :

- Le lit mineur (L1) qui est constitué par le lit ordinaire du cours d'eau, pour le débit d'étiage ou pour les crues fréquentes (crues annuelles : T1)
- Le lit moyen (L2), sous certains climats, on peut identifier un lit moyen. Pour les crues de période de 1 à 10 ans, l'inondation submerge les terres bordant la rivière et s'étend dans le lit moyen. Il correspond à l'espace alluvial ordinairement occupé par la ripisylve, sur lequel s'écoulent les crues moyennes (T2)
- Le lit majeur (L3) qui comprend les zones basses situées de part et d'autre du lit mineur, sur une distance qui va de quelques mètres à plusieurs kilomètres. Sa limite est celle des crues exceptionnelles (T3). On distingue 2 types de zones :
  - o Les zones d'écoulement, au voisinage du lit mineur ou des chenaux de crues, où le courant a une forte vitesse
  - o Les zones d'expansion de crues ou de stockage des eaux, où les vitesses sont faibles. Ce stockage est fondamental, car il permet le laminage de la crue (réduction du débit et de la vitesse de montée des eaux à l'aval).

Hors du lit majeur, le risque d'inondation fluviale est nul (ce qui n'exclut pas le risque d'inondation par ruissellement pluvial, en zone urbanisée notamment). On y différencie sur les cartes les terrasses alluviales anciennes, qui ne participent plus aux crues mais sont le témoin de conditions hydrauliques ou climatiques disparues. Leurs caractéristiques permettent d'y envisager un redéploiement des occupations du sol sensibles hors des zones inondables.



Les lits majeurs des cours d'eau ainsi déterminés, ainsi que les zones de « glaciais » correspondant à des écoulements en nappe, ont été reportés sur l'atlas de la cartographie informative des

phénomènes naturels au 1/10000 dont un exemple est illustré ci après.

### **3.2.2 Aléa du Gardon**

Les PHE relevées en 2002 et celles issues de la modélisation de la crue de référence du Rhône indiquent que ces 2 événements atteignent des cotes très voisines. Dès lors, l'enveloppe et les hauteurs d'eau modélisées de la crue du Rhône sont considérées comme ceux de la crue du Gardon dans ce secteur de confluence.

Ces fiches PHE figurent en annexe du présent rapport.

### **3.2.3 Aléa du Rieu**

L'événement de référence est l'événement centennal. Pour cette occurrence, le modèle hydrologique a été exploité pour déterminer les hydrogrammes de projet centennaux du bassin versant du Rieu au plan d'eau des Moulins et du bassin versant d'un affluent du Rieu qui se jette au niveau du pont au droit du Mas St Jean.

Ce travail, réalisé pour le compte de la commune de Bellegarde par le bureau d'études BRL en 2007. Le PPRi reprend la variante A' de cette étude, dont le rapport définitif d'études est joint en annexe du présent rapport.

## 4 Dispositions réglementaires

A partir du travail d'identification des risques issu du croisement des aléas et des enjeux, le PPRi a vocation à traduire ces éléments en règles visant à :

- interdire certains **projets** ou les autoriser sous réserve de prescription, en délimitant les zones exposées aux risques ou les zones qui ne sont pas directement exposées au risque mais où des aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux,
- définir les **mesures** de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incomber aux particuliers,
- Définir des mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation, ou l'exploitation des constructions, ouvrages, espaces **existants** à la date d'approbation du plan, qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.

Pour ce faire, les objectifs principaux du PPR visent à :

- **Assurer la sécurité des personnes**, en interdisant les implantations humaines dans les zones les plus dangereuses où la sécurité des personnes ne peut être garantie
- **Ne pas augmenter les enjeux exposés**, en limitant strictement l'urbanisation et l'accroissement de la vulnérabilité dans les zones inondables
- **Diminuer les dommages potentiels** en réduisant la vulnérabilité des biens et des activités dans les zones exposées et en aidant à la gestion de crise
- **Préserver les capacités d'écoulement et les champs d'expansion des crues** pour ne pas aggraver les risques dans les zones situées en amont et en aval.

### 4.1 RÈGLES D'URBANISME

#### LES PRINCIPES

Par son volume, son implantation ou du fait des aménagements qui l'accompagnent (remblais, clôtures, ...), **toute opération de construction en zone inondable est de nature à contrarier l'écoulement et l'expansion naturelle des eaux, et à aggraver ainsi les situations à l'amont ou à l'aval.**

De plus, de façon directe ou indirecte, immédiatement ou à terme, **une telle opération tend à augmenter la population vulnérable en zone à risque.** Au delà de ces aspects humains et techniques, la présence de constructions ou d'activités en zone inondable accroît considérablement le coût d'une inondation pris en charge par la collectivité.

#### LA TRADUCTION DE CES PRINCIPES DANS LE PPRi

##### Vis à vis de la mise en danger des personnes

Même en présence d'un système d'alerte (annonce de crue) ou d'une organisation de l'évacuation des populations, le danger aux personnes existe par le risque d'être emporté ou noyé en raison de la hauteur d'eau ou de la vitesse d'écoulement, ainsi que par la durée de l'inondation qui peut conduire à l'isolement de foyers de population.

=> La première priorité de l'État est donc de préserver les vies humaines, en interdisant les nouvelles constructions et extensions d'urbanisation dans les zones d'aléa les plus forts.

## Vis à vis des dégâts aux biens (particuliers, collectivités, entreprises)

Les dégâts occasionnés par les inondations peuvent atteindre des degrés divers, selon que les biens ont été simplement mis en contact avec l'eau (traces d'humidité sur les murs, dépôts de boue) ou qu'ils ont été exposés à des courants ou coulées puissants (destruction partielle ou totale). Les dommages mobiliers sont plus courants, en particulier en sous-sol et rez-de-chaussée. Les activités (industries) et l'économie sont également touchées en cas d'endommagement du matériel, pertes agricoles, arrêt de la production, impossibilité d'être ravitaillé... A titre d'exemple, la seule crue de 2002 s'est traduite dans le Gard par plus de 7200 logements sinistrés dont 1500 inondés par plus de 2m d'eau, 3000 entreprises touchées, plus de 800 M€ de dégâts.

=> La deuxième priorité est donc de réduire le coût des dommages liés à une inondation. Elle se traduit :

- par des mesures de calage de planchers des nouvelles constructions qui pourraient être autorisées dans les secteurs d'aléa moindre,
- par des mesures obligatoires de réduction de la vulnérabilité de certains biens existants.

## Vis à vis de l'augmentation des risques

L'implantation de personnes et de biens dans le champ d'inondation augmente l'exposition aux risques. De plus, l'imperméabilisation des sols due à l'urbanisation favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration et augmente l'intensité des écoulements en réduisant le volume d'expansion des crues.

=> La troisième priorité de l'État est donc de préserver les champs d'expansion de crue de toute nouvelle extension d'urbanisation, quelle que soit la hauteur d'eau de ces terrains inondables non urbanisés.

Les communes de Beaucaire, Bellegarde et Fourques sont aujourd'hui inondables par déversement ou rupture des digues du Rhône pour lesquelles le Symadrem a engagé un lourd programme de confortement et de sécurisation. Ce programme pourrait déboucher sur des travaux dans les prochaines années, et, une fois ces travaux réalisés et validés, modifier l'aléa de manière substantielle puisque la crue de référence n'inonderait plus certaines zones. La prise en compte de cet aléa ne pourra être intégrée dans le PPRi qu'au travers une procédure de révision. Il est utile de préciser que le plan Rhône prévoit qu'en pareil cas, les zones exondées restent tributaires des digues en cas de crue supérieure : leur caractère inondable et inconstructible devra donc être maintenu, sauf des zones de transition en extension de l'urbanisation existante, préalablement identifiées.

Le cas échéant, les enjeux forts pourront inclure des secteurs d'urbanisation future qui constituent un enjeu stratégique ou des zones dont l'aménagement est déjà largement engagé.

En raison du programme de confortement et de sécurisation des digues et conformément à la circulaire du 28/11/2011, des zones de transition (Uo) ont été identifiées pour préparer une future révision évoquée dans le paragraphe précédent. Pour ces seules zones, le caractère inconstructible pourra alors être revu et l'aléa après travaux pourra permettre de lever l'inconstructibilité. Ces zones de transition correspondent à des prolongements de l'aire urbaine actuelle, afin de terminer un développement urbain cohérent.

### Cas particulier pour la commune de Fourques :

Le projet " Villa Aurélia " n'a pas été intégré, par ses proportions et sa déconnexion avec le village, dans les zones Uo qui sont des zones préparatoires à la révision pour donner une respiration à la commune, instituées pour permettre des extensions d'urbanisation limitées après travaux et révision du PPRi. Toutefois, l'intérêt économique et l'opportunité de développement de cette ZAC pourront être évoqués à l'occasion de la future révision, en conservant impérativement la bande de sécurité de 100m le long des digues.

## 4.2 ZONAGE RÉGLEMENTAIRE

L'article L.562-1 du code de l'Environnement définit deux grands types de zones : les zones directement exposées aux risques et les zones non directement exposées.

Les zones directement exposées sont constituées des zones d'aléa fort et des bandes derrière les digues, où un danger aux personnes existe.

Les zones non directement exposées sont constituées d'une part des zones d'aléa modéré et d'autre part des zones situées entre la crue de référence et l'enveloppe du lit majeur du Gardon ou du Rieu ou de la crue du Rhône de 1856, où la probabilité d'inondation est plus faible mais où des aménagements sont susceptibles d'être exposés ou peuvent augmenter le risque sur les zones inondables situées à l'aval.

**Le zonage consiste à croiser l'aléa et les enjeux afin de définir des zones de réglementation notamment en matière d'urbanisme.**

**Le règlement détaille les principes de délimitation de ces zones, qui répondent aux objectifs précités :**

- **la mise en sécurité des personnes, par l'inconstructibilité des zones d'aléa forts**
- **la préservation des champs d'écoulement, par l'inconstructibilité des zones inondables non urbanisées, quel que soit l'aléa**
- **la mise en sécurité des biens, par des prescriptions sur les nouvelles constructions des zones urbanisées d'aléa moindre.**

Une bande de sécurité est systématiquement appliquée le long des digues.

## 4.3 MESURES DE PRÉVENTION, DE PROTECTION ET DE SAUVEGARDE ET RÈGLES DE CONSTRUCTION ET MESURES SUR L'EXISTANT ET DES MESURES SUR L'EXISTANT

Le règlement du PPRi intègre également des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde, et des règles de construction et des mesures sur l'existant, détaillées dans les parties III et IV du règlement.

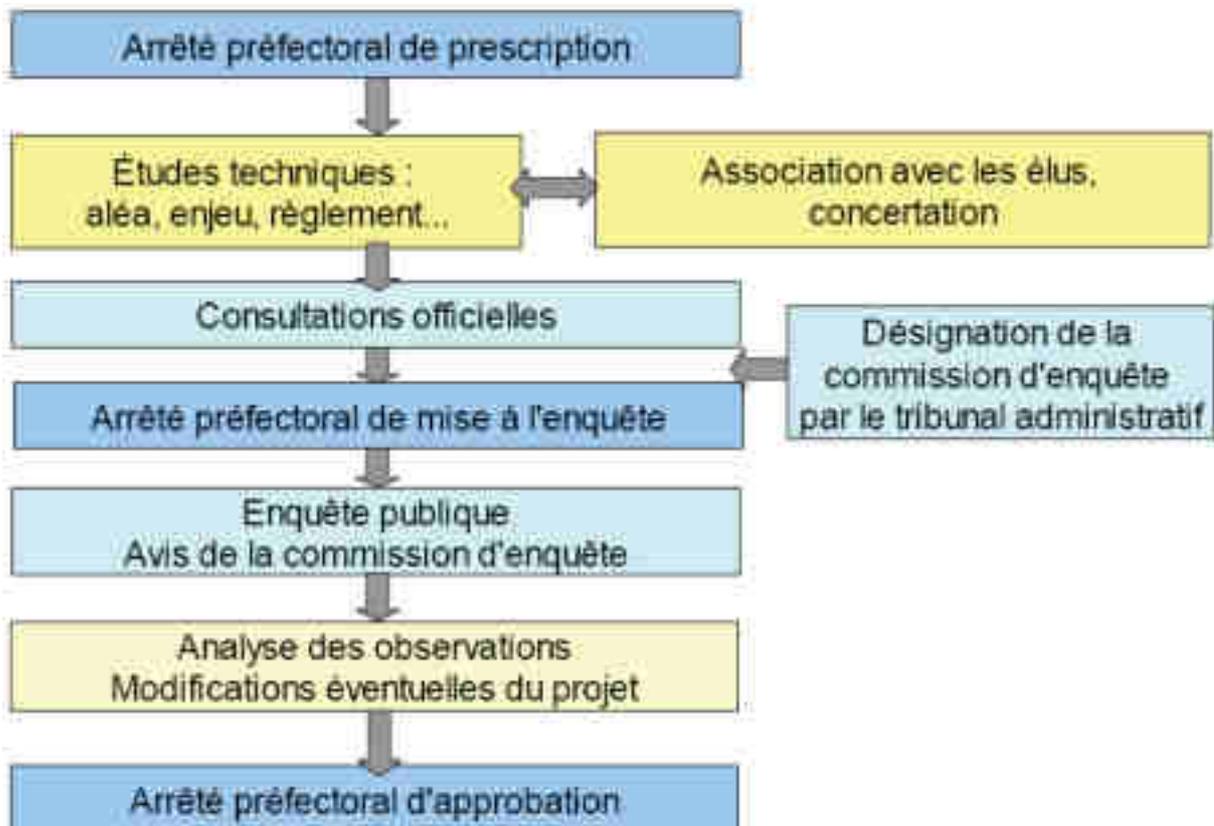
## 5 Déroulement de la procédure

Le schéma ci-dessous indique les principales étapes du PPRI, issues de l'application des articles L562-1 et suivants et R562-1 et suivants du code de l'environnement.

La procédure se décompose comme suit :

- une phase d'études et de concertation,
- une phase administrative de consultation et d'enquête publique

Méthode d'élaboration des PPRI (en jaune les phases techniques, en bleu, les phases administratives)



## 6 ANNEXES

- Fiches PHE Gardons
- Rapport BRL décembre 2007 du RIEU
- Carte d'aléa
- Carte d'enjeux



Direction Départementale de l'Équipement du GARD Service  
d'Annonce des Crues  
Recueil des données des plus hautes eaux 09/09/2002



<b>PHE N°</b>	gav_457	<b>Cours d'eau/bassin</b>	Gardon Aval	<b>Commune</b>	Aramon
<b>Relevé PHE</b>	STRATEGIS		<b>NIV PHE</b>	SCP RICHER	
<b>Hauteur (cm)</b>	260	<b>Par rapport</b>	sol base de la porte en acier		
<b>Commentaire</b>	Phe dans le local des services techniques. Ateliers municipaux 2.55 dans le garage 2.60/bas de la porte en acier à l'arrière du bâtiment				
<b>Position LIHC et NGF</b>	X : 787740.9	Y : 3179633.6	Z Repère : 12.059	Z PHE : 14.659	

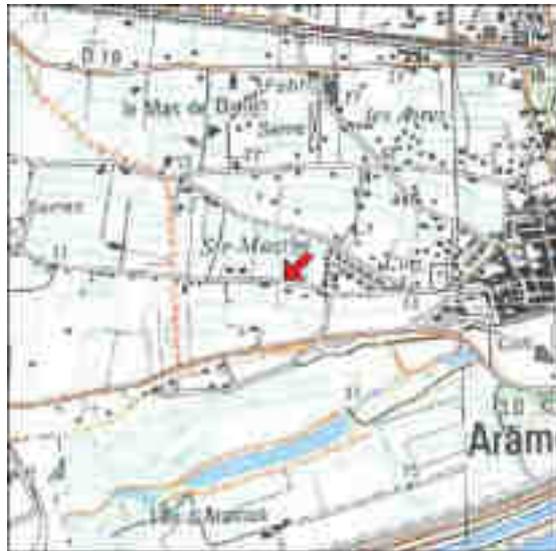




Direction Départementale de l'Équipement du GARD Service  
d'Annonce des Crues  
Recueil des données des plus hautes eaux 09/09/2002



 <b>PHE N°</b>	gav_454	<b>Cours d'eau/bassin</b>	Gardon Aval	<b>Commune</b>	Aramon
<b>Relevé PHE</b>	STRATEGIS		<b>NIV PHE</b>	SCP RICHER	
<b>Hauteur (cm)</b>	315	<b>Par rapport</b>	au sol à gauche de la fenêtre		
<b>Commentaire</b>	Chemin du mas Neuf en face de la batisse CGE PHE sur la façade de la villa				
<b>Position LIHC et NGF</b>	X : 787527.45	Y : 3179345.89	Z Repère : 11.508	Z PHE : 14.658	







Direction Départementale de l'Équipement du GARD Service  
d'Annonce des Crues  
Recueil des données des plus hautes eaux 09/09/2002



 <b>PHE N°</b>	gav_453	<b>Cours d'eau/bassin</b>	Gardon Aval	<b>Commune</b>	Aramon
<b>Relevé PHE</b>	STRATEGIS		<b>NIV PHE</b>	SCP RICHER	
<b>Hauteur (cm)</b>	258	<b>Par rapport</b>	au sol beton		
<b>Commentaire</b>	à l'intérieur de la bâtisse "CGE" PHE visible et prise à l'aplomb de la 3eme tuile. Chemin du Mas Neuf N°453 "La respelido"				
<b>Position LIHC et NGF</b>	X : 787521.48	Y : 3179346.77	Z Repère : 12.03	Z PHE : 14.61	



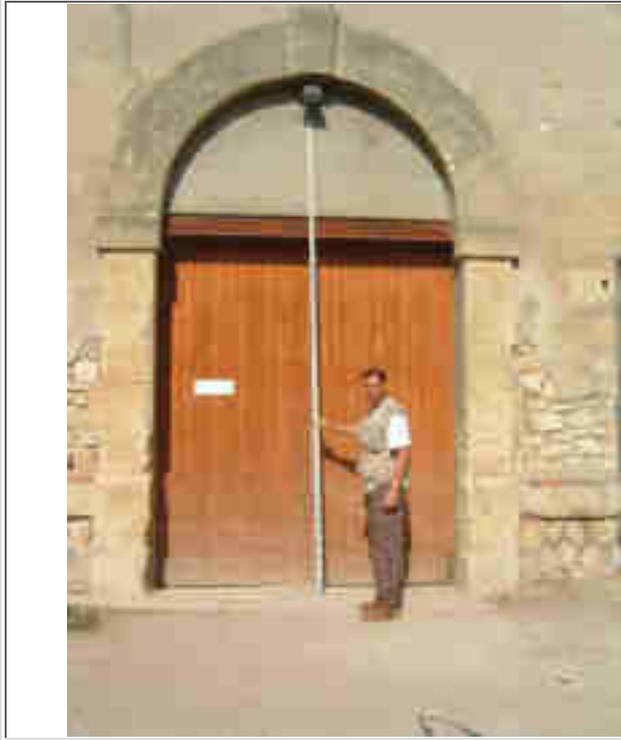


Direction Départementale de l'Équipement du GARD Service  
d'Annonce des Crues  
Recueil des données des plus hautes eaux 09/09/2002



 <b>PHE N°</b>	gav_459	<b>Cours d'eau/bassin</b>	Gardon Aval	<b>Commune</b>	Aramon
<b>Relevé PHE</b>	STRATEGIS		<b>NIV PHE</b>	SCP RICHER	
<b>Hauteur (cm)</b>	358	<b>Par rapport</b>	sol devant la porte		
<b>Commentaire</b>	au N°158 PHE à peine visible au dessus de la porte				
<b>Position LIHC et NGF</b>	X : 788016.23	Y : 3179949.67	Z Repère : 11.084	Z PHE : 14.664	



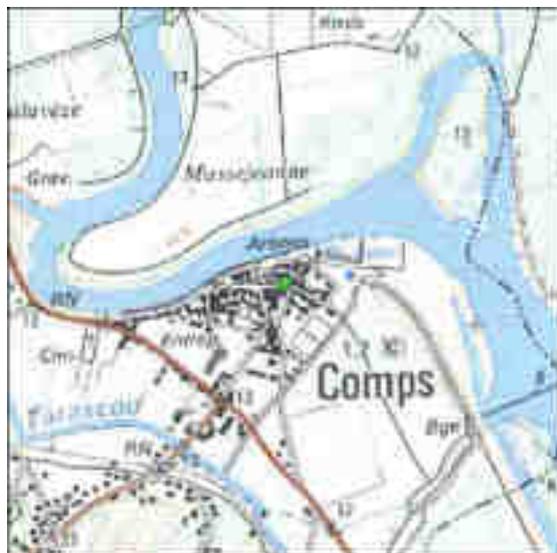




**DIREN Languedoc Roussillon, DIREN PACA**  
**Recueil des données de plus hautes eaux. Crue**  
**du Rhône décembre 2003.**

**HYDROLOGIK**  
**INGENIERIE**  
[www.hydrologiking.com](http://www.hydrologiking.com)

 <b>PHE N°</b>	PHE_852	<b>Origine de la donnée</b>	Relevé DDE30, Saisie SIG Hydrologik
<b>Hauteur (cm)</b>	255	<b>Par rapport</b>	niveau 2eme marche
<b>Commentaire</b>	18 rue du château NGF=14.403m		
<b>Z Repère : 0</b>	Z PHE mNGF: 14.403		

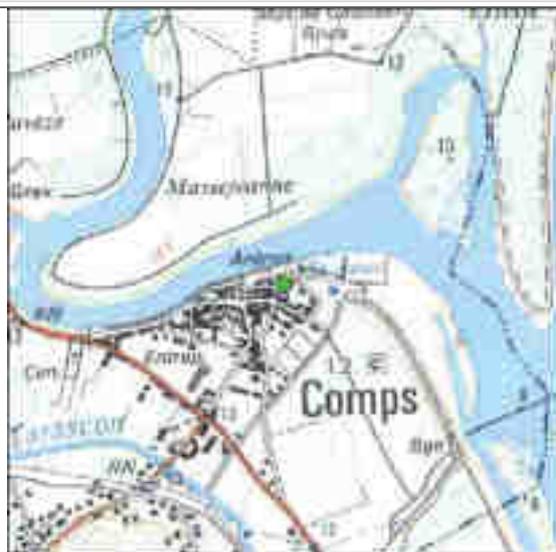




**DIREN Languedoc Roussillon, DIREN PACA**  
**Recueil des données de plus hautes eaux. Crue**  
**du Rhône décembre 2003.**

**HYDROLOGIK**  
**INGENIERIE**  
[www.hydrologiking.com](http://www.hydrologiking.com)

 <b>PHE N°</b>	PHE_847	<b>Origine de la donnée</b>	Relevé DDE30, Saisie SIG Hydrologik
<b>Hauteur (cm)</b>	0	<b>Par rapport</b>	bas du panneau vert
<b>Commentaire</b>	Niveau sur l'école André Massip, à la base du panneau "Groupe scolaire"		
<b>Z Repère : 0</b>	Z PHE mNGF: 14.412		





Direction Départementale de l'Équipement du GARD Service  
d'Annonce des Crues  
Recueil des données des plus hautes eaux 09/09/2002



 <b>PHE N°</b>	gav_33	<b>Cours d'eau/bassin</b>	Gardon Aval	<b>Commune</b>	COMPS
<b>Relevé PHE</b>	STRATEGIS		<b>NIV PHE</b>	SCP RICHER	
<b>Hauteur (cm)</b>	205	<b>Par rapport</b>	sol		
<b>Commentaire</b>	4 ème fenêtre				
<b>Position LIHC et NGF</b>	X : 782087.91	Y : 3175020.19	Z Repère : 12.621	Z PHE : 14.671	





**VILLE DE BELLEGARDE**

# **CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DU RIEU DE BELLEGARDE DEPUIS LE PLAN D'EAU DES MOULINS JUSQU'AU CANAL DU RHONE A SETE**

Edition définitive

*Décembre 2007*

# CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DU RIEU DE BELLEGARDE DEPUIS LE PLAN D'EAU DES MOULINS JUSQU'AU CANAL DU RHONE A SETE

<b>1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANALYSE HYDROLOGIQUE – 2 EPISODES HISTORIQUES MARQUANTS .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 L'épisode pluvieux des 20 et 21 octobre 1999</b>	<b>2</b>
2.1.1 La répartition spatiale de la pluie	2
2.1.2 La répartition temporelle de la pluie	2
2.1.3 Le role des gravières de Sautebraut	4
2.1.4 Les observations dans le bourg de Bellegarde	4
2.1.5 Commentaires	4
<b>2.2 Les épisodes pluvieux des 6 et 8 septembre 2005</b>	<b>5</b>
2.2.1 La répartition spatiale de la pluie	5
2.2.2 La répartition temporelle de la pluie	7
2.2.3 Le role des gravières de Sautebraut	8
2.2.4 Au niveau du bourg de Bellegarde	8
2.2.5 Commentaires	8
<b>3. ANALYSE HYDROLOGIQUE - CRUE DE REFERENCE.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Les données pluviométriques</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Les aménagements sur le bassin versant du Rieu</b>	<b>11</b>
<b>3.3 Hydrogrammes de projet</b>	<b>11</b>
<b>4. MODELISATION HYDRAULIQUE.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Construction du modèle hydraulique</b>	<b>13</b>
4.1.1 Choix du modèle mathématique et représentation des écoulements	13
4.1.2 Construction du modèle	14
<b>4.2 Vérification de la validité du modèle sur l'épisode d'octobre 1999</b>	<b>16</b>
<b>4.3 Exploitation du modèle hydraulique</b>	<b>18</b>
4.3.1 Capacité du lit mineur, débit de débordement	18
4.3.2 Cartographie des zones inondables	21

<b>ANNEXES .....</b>	<b>22</b>
<b>Annexe 1 : Calage de la modélisation sur l'événement de 1999</b>	<b>23</b>
<b>Annexe 2 : Cartographies des isohauteurs dans les 3 configurations simulées</b>	<b>24</b>

## 1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La commune de Bellegarde (en particulier le bourg) est soumise à un risque d'inondation important, qu'il provienne des débordements du Rieu ou du Rhône. Parmi les inondations liées au Rieu, on peut citer, au cours du 20ème siècle, les épisodes de 1909, 1920, 1958, 1973, 1977 et 1999 puis plus récemment : septembre 2003 et septembre 2005.

Face à ce risque, la commune de Bellegarde s'est engagée depuis de nombreuses années dans une politique active de gestion des inondations sur le territoire communal.

Une des particularités hydrauliques du bassin versant du Rieu est son exutoire. En effet, ce cours d'eau se jette dans le contre canal du canal du Rhône à Sète qui offre une capacité hydraulique très limitée au regard des débits de crue pouvant être générés par le bassin versant du Rieu.

La protection de Bellegarde contre les inondations mise en œuvre par la commune depuis plusieurs années est donc basée sur le principe de la rétention et de l'écrêtement des crues comme exposé dans le « schéma de protection contre les inondations de Bellegarde »- (BRLi 2001).

Des dispositifs de rétention existent déjà (comme les gravières de Sautebraut et Broussan) ou sont envisagés sur différents sous bassins versants du Rieu. Ces aménagements ont (ou auront) un effet sensible sur la formation des crues du Rieu et sur les débits et volumes pouvant arriver au niveau du bourg de Bellegarde.

D'autre part, la commune de Bellegarde est actuellement en phase d'élaboration du PLU. Dans ce cadre, elle a le souci de prendre en compte, dans son futur document d'urbanisme, le risque inondation actuel en intégrant les aménagements réalisés sur le bassin versant.

Les seuls éléments de connaissance du risque inondation (pris en compte dans le POS actuel) sont des observations de niveaux atteints lors des crues passées. Ces crues historiques sont à priori inférieures à la crue centennale qui sert de référence dans les documents réglementaires type PPRi et les observations de crue sont antérieures à la mise en service des importants bassins de rétention que constituent les gravières amont.

Il apparaît donc indispensable dans le cadre de l'élaboration du PLU de pouvoir disposer d'une cartographie de l'aléa inondation lié à une crue centennale du Rieu dans la configuration actuelle du bassin versant.

L'étude proposée poursuit cet objectif : cartographier l'aléa inondation du Rieu de Bellegarde à la traversée de la zone urbaine de manière à prendre en compte le risque inondation dans ce futur document d'urbanisme.

## 2. ANALYSE HYDROLOGIQUE – 2 EPISODES HISTORIQUES MARQUANTS

Afin de pouvoir comparer la crue théorique centennale (sur laquelle est basée la cartographie de l'aléa au chapitre 4.3.2) avec des événements réels passés vécus par la commune, il est proposé dans ce chapitre, une analyse de 2 événements marquants que sont les épisodes d'octobre 1999 et septembre 2005.

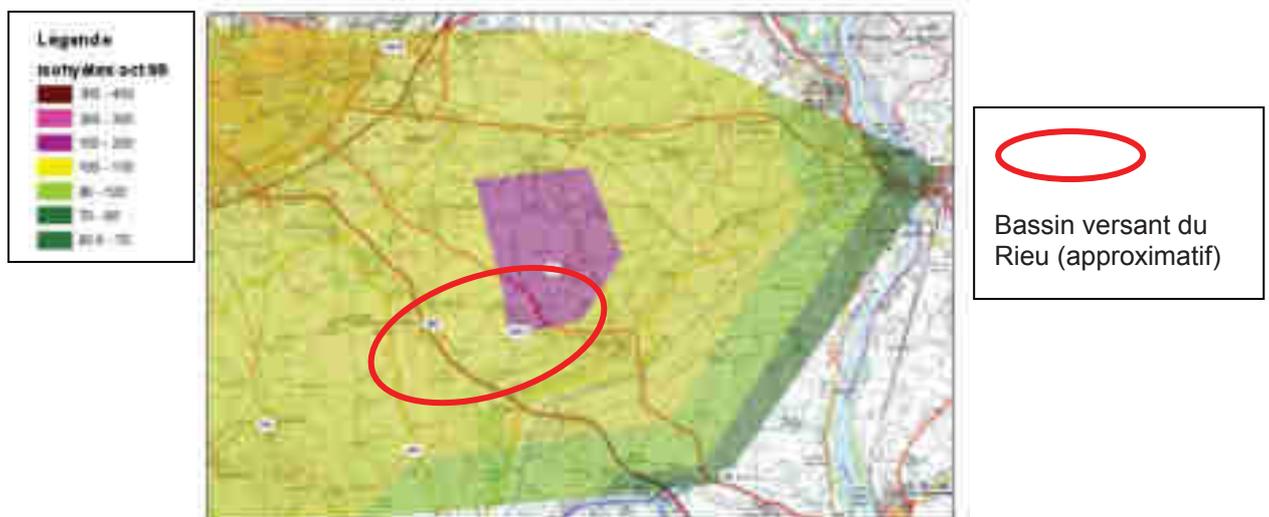
### 2.1 L'EPISODE PLUVIEUX DES 20 ET 21 OCTOBRE 1999

#### 2.1.1 La répartition spatiale de la pluie

Tableau 1 : Hauteur de pluie tombée du 20 octobre 1999 à 8h00 au 21 octobre 1999 à 8h00

Station pluviométrique	Pluie (mm)	Station pluviométrique	Pluie (mm)
Bellegarde- Mas de l'Amarine	171.0	Meynes	124.0
Bellegarde- Mas de Balandran	149.5	Saint-Gilles- Mas d'Asport	101.0
Fourques	70.0	Vauvert	120.0
Générac	141.0	Vestric	128.0
Nîmes Courbessac	122.8	Tarascon	63.4
Nîmes Mas de Ponge	116.3	Aéroport de Garons	109.0

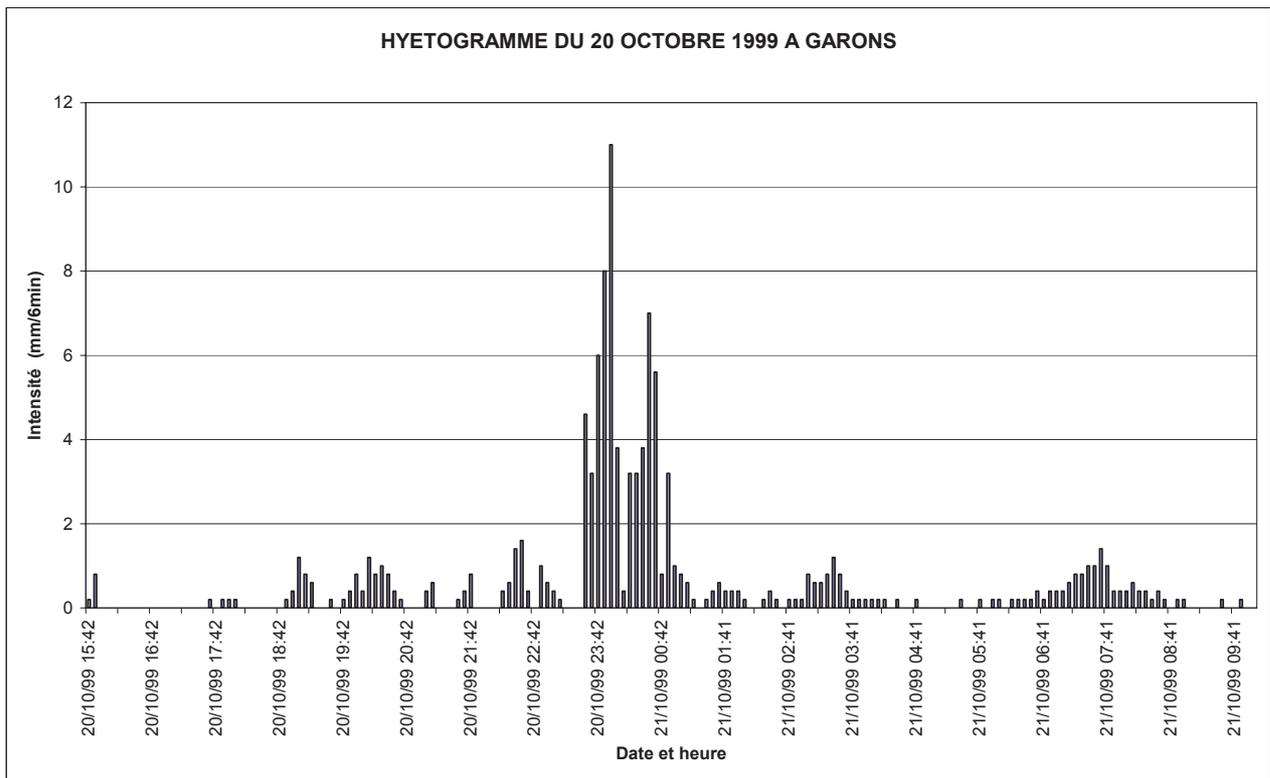
Ce tableau montre que les précipitations n'ont pas été homogènes, puisque les hauteurs cumulées varient de 101 à 171 mm sur les postes environnant.



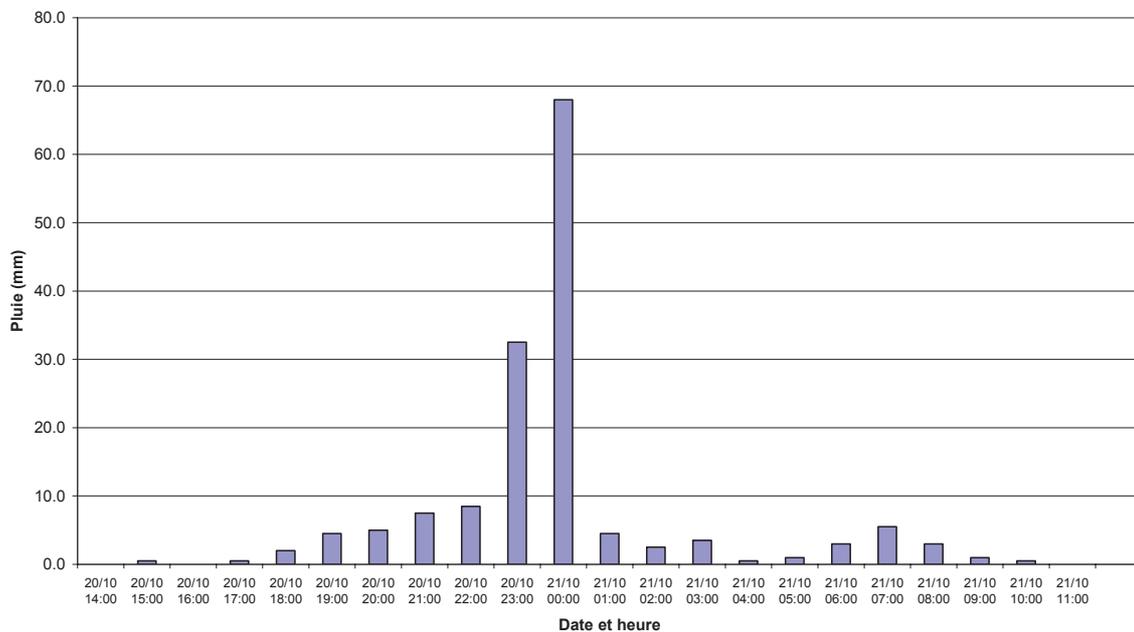
#### 2.1.2 La répartition temporelle de la pluie

Le graphique suivant correspond à l'enregistrement en continu à Garons, traduit sous forme d'un hyétogramme (histogramme des intensités) par pas de temps de 6 minutes :

Figure 1 : HyétoGramme relevé à Garons- aérodrome



HyétoGramme du 20 octobre 1999 à Bellegarde - Balandran



L'essentiel de la pluie a été concentré sur 2 h. Le maximum pluviométrique sur 1h a été de 52 mm à Garons et 68mm/h à Balandran. Le maximum pluviométrique sur 2h est de l'ordre de 65 mm à Garons et 90 mm/h à Balandran.

### 2.1.3 Le role des gravières de Sautebraut

Les informations relatives à la variation du niveau d'eau dans les gravières fournies par Lafarge permettent d'estimer le volume total entré dans les gravières à 850 000 m<sup>3</sup>. Cependant, à l'époque de cette crue, la configuration des gravières était sensiblement différente de ce qu'elle est aujourd'hui. Le bassin R4 n'existait pas. Une partie des eaux de crue du Rieu rejoignaient le bassin R1 par un chenal de dérivation de capacité limitée. Même si un volume non négligeable a pu atteindre la gravière, le débit maximal détourné vers la gravière n'a probablement pas dépassé 20 à 25 m<sup>3</sup>/s (débit dans le chenal de dérivation existant à l'époque).

Au moment de la pointe de crue, il est probable qu'une partie du débit maximal provenant de l'amont n'a pas pu être intercepté par les gravières et s'est donc dirigé vers le bourg de Bellegarde.

### 2.1.4 Les observations dans le bourg de Bellegarde

Différents quartiers de Bellegarde ont été inondés. Les hauteurs d'eau observées atteignent 30 à 60 cm dans les zones urbanisées et 70 à 80 cm sur les terrains les plus bas (au sud du bourg) en bordure du canal.

### 2.1.5 Commentaires

Selon la carte des isohyètes, il apparaît que le secteur le plus arrosé a été la partie aval du bassin versant : le maximum a été observé au mas de l'Amarine. Les ruissellements provenant de cette partie aval du bassin n'ont pu et ne peuvent, encore aujourd'hui, être intercepté par les gravières. Compte tenu de la proximité entre ces versants et le bourg, les ruissellements arrivent très vite dans le bourg.

De plus, les hyétoigrammes montrent que l'événement pluviométrique a été concentré sur moins de 2h (entre la moitié et les 2/3 de la pluie sont tombés en 2h) ce qui correspond à une durée critique vis-à-vis des temps de réponse des bassins versants aval tels que l'Amarine ou Sauzette.

On peut estimer que :

- Le bassin versant amont a reçu environ 65 mm en 2h
- le bassin versant aval du Rieu a reçu entre 100 et 120 mm en 2h.

Les dégâts observés dans le bourg sont probablement en grande partie liés aux apports du bassin aval.

#### NOTA :

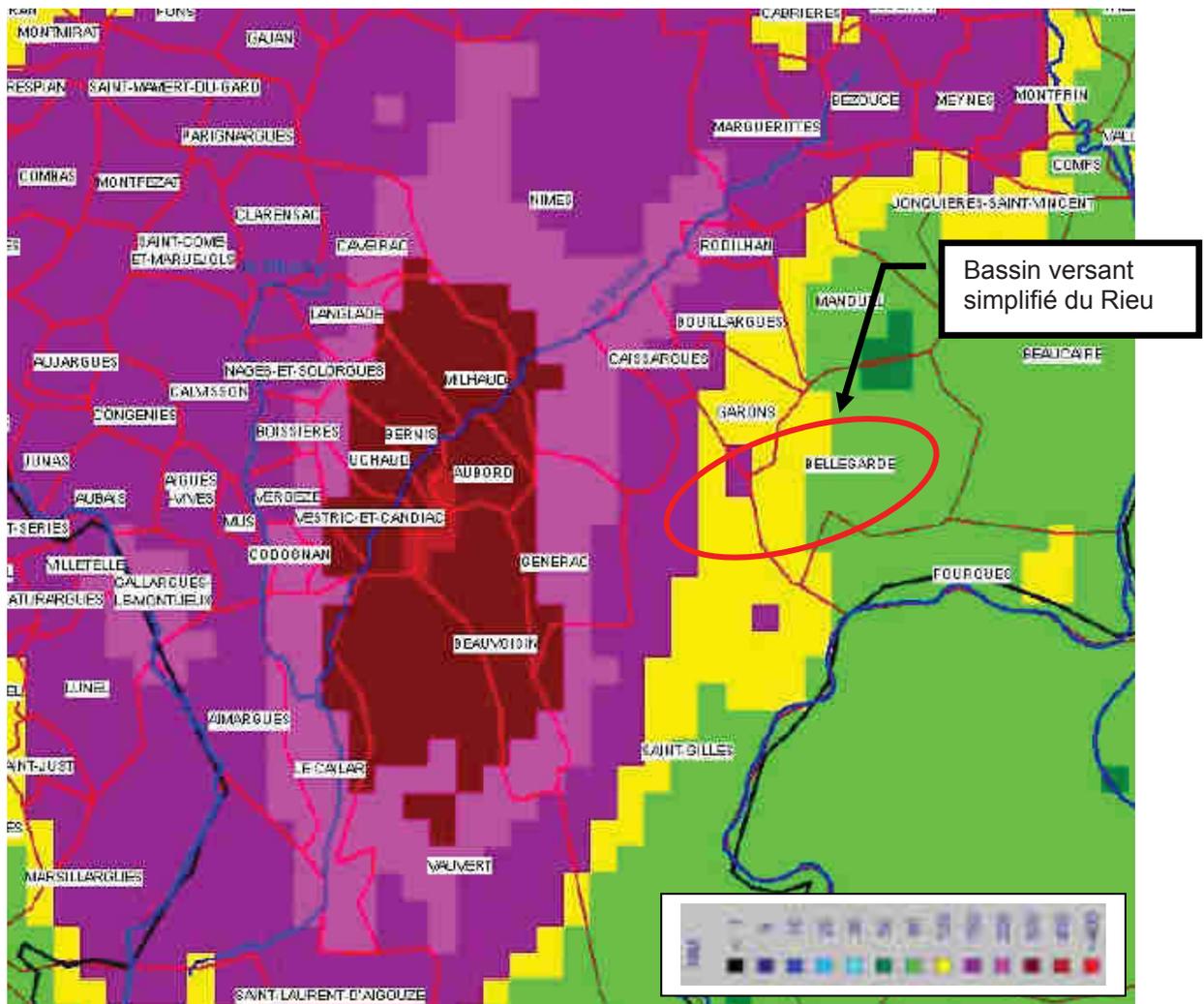
Il est à signaler que les aménagements qui sont envisagés sur le secteur de Coste Rouge seront destinés à réduire les apports en crue des 2 affluents que sont le ruisseau de l'Amarine et celui de Sauzette dont les apports ont été très importants lors de cet événement historique d'octobre 1999.

## 2.2 LES EPISODES PLUVIEUX DES 6 ET 8 SEPTEMBRE 2005

### 2.2.1 La répartition spatiale de la pluie

Ce sont deux épisodes orageux qui se sont succédés ; les journées du mardi 6 et jeudi 8 septembre ont concentré l'essentiel des précipitations.

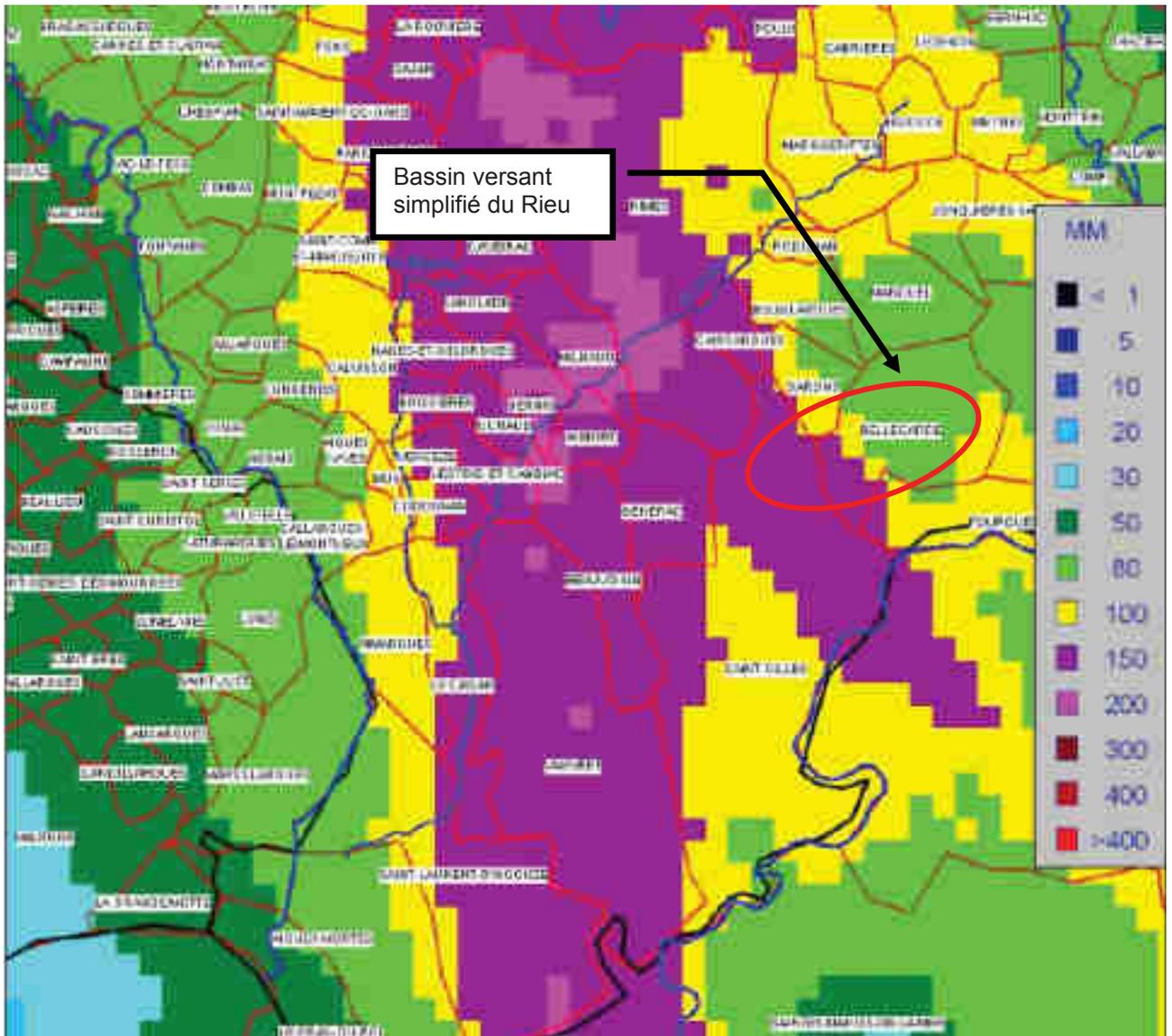
Stations le 6/09/2005	Nîmes Courbessac	Nîmes-Kennedy	Nîmes Garons	Mas d'Asport St Gilles	Gallargues le Montueux	Bernis	Générac
Total Pluie (mm)	215.1 mm, 30 ans	274 mm, >50 ans, <100 ans	163 mm, >10ans	136.5 mm, <10ans	211.5 mm, 30ans	325 mm, < 100 ans	260 mm, > 50 ans



Cumul pluviométrique 6 septembre 2005- MF-Rhéal-SAC30

Le **second épisode** s'est déroulé le jeudi 8 septembre sur l'ensemble de la journée avec un pic en début d'après midi.

Stations le 8/09/2005	Nîmes Courbessac	Nîmes-Kennedy	Nîmes Garons	Mas d'Asport St Gilles	Gallargues le Montueux	Bernis	Générac
Total	134.1 mm, < 10 ans	218 mm, < 50 ans	197.4 mm	186.5 mm	74 mm	203 mm 10 à 50 ans	188 mm 10 à 50 ans



Cumul pluviométrique 8 septembre 2005- MF-Rhéal-SAC30

## 2.2.2 La répartition temporelle de la pluie

Le premier épisode (6 septembre) s'est déplacé d'Ouest en Est, il a duré environ 12 heures de midi à minuit. Il est tombé entre 100 et 335 mm sur le bassin versant du Vistre et des Costières. Le noyau de l'épisode a été centré sur Bernis. C'est en début d'après midi, que l'épisode a été le plus intense avec 50 à 70 mm en une heure.

Stations le 6/09/2005	Nîmes Courbessac	Nîmes-Kennedy	Nîmes Garons	Mas d'Asport St Gilles	Gallargues le Montueux	Bernis	Générac
Max sur 1 heure	50.6 mm, < 10 ans	96 mm, entre 50 et 100 ans	63.2 mm	54.5 mm < 10 ans	77 mm	98 mm, entre 50 et 100 ans	94 mm, entre 50 et 100 ans
Max sur 2 heures	92 mm, 10 ans		68 mm	56.5 mm	105.5 mm		
Max sur 3 heures	114.6 mm, 10 ans		91.6 mm	74.5 mm	126 mm		
Max sur 6 heures	167.4 mm, 15 ans	219 mm, entre 50 et 100 ans	109.4 mm	83.5 mm	130.5 mm	270 mm, 100 ans	198 mm, 40 ans
<b>Total</b>	<b>215.1 mm, 30 ans</b>	<b>274 mm, entre 50 ans et 100 ans</b>	<b>163 mm, &gt;10ans</b>	<b>136.5 mm, &lt;10ans</b>	<b>211.5 mm, 30ans</b>	<b>325 mm, &lt; 100 ans</b>	<b>260 mm, &gt; 50 ans</b>

L'analyse menée par le SAC (Service d'annonce de crue de Nîmes- DDE) annonce des périodes de retour particulièrement rares sur Bernis (entre 50 et 100 ans sur 1 h, et plus de 100 ans de 6h à 24 h) et assez rares sur Générac (60 à 80 ans sur 12 et 24h) et Nîmes (entre 50 ans et 80 ans de 6 h à 24 h).

Le secteur le plus arrosé est compris entre Générac et Vauvert avec 163 mm à Garons, 136.5 mm au Mas d'Asport, 260 mm à Générac et 183 mm au Cailar.

**Concernant le second épisode** le maximum a été enregistré à Nîmes- Kennedy avec 227 mm. Cet épisode a été beaucoup moins intense que le précédent.

Stations le 8/09/2005	Nîmes Courbessac	Nîmes-Kennedy	Nîmes Garons	Mas d'Asport St Gilles	Gallargues le Montueux	Bernis	Générac
Max sur 1 heure	25.1 mm, < 10 ans	40.5 mm, < 10 ans	35 mm	34.5 mm	17.5 mm	38 mm < 10 ans	48 mm < 10 ans
Max sur 2 heures	37.6 mm, < 10 ans		69.4 mm	68.5 mm	20.5 mm		
Max sur 3 heures	57 mm, < 10 ans		102.8 mm	93.5 mm	28.5 mm		
Max sur 6 heures	89.5 mm, < 10 ans		154 mm	142 mm	49 mm		
<b>Total</b>	<b>134.1 mm, &lt; 10 ans</b>	<b>218 mm, &lt; 50 ans</b>	<b>197.4 mm</b>	<b>186.5 mm</b>	<b>74 mm</b>	<b>203 mm 10 à 50 ans</b>	<b>188 mm 10 à 50 ans</b>

Sur les courtes durées (quelques heures), cet événement est assez courant. Sur 12 à 24 heures, il est un peu plus rare avec une précipitation d'environ 180- 200 mm et une période de retour de 10 à 20 ans, d'après les relevés effectués à la station météorologique de Nîmes- Courbessac sur la période 1964-2001.

### 2.2.3 Le role des gravières de Sautebraut

Le 6 septembre, la gravière de Sautebraut n'a été que très peu sollicitée.

Le 8 septembre, le seuil principal d'entrée dans les gravières est entré en fonctionnement puis la brèche volontaire créée par la commune en aval du seuil a permis de détourner une grande partie de la crue du bassin amont du Rieu.

Le volume stocké dans la gravière a été estimé par la commune à 1 million de m<sup>3</sup>.

### 2.2.4 Au niveau du bourg de Bellegarde

Le 6 septembre, la gestion des ouvrages du plan d'eau des Moulins a permis de réguler le débit transitant dans le canal de contournement de la ville. Le 8 septembre, la gestion du plan d'eau des moulins ne suffisait pas à contenir les apports d'eau du Rieu. On peut penser que sans l'action menée au niveau de la gravière de Sautebraut, le plan d'eau des Moulins aurait déversé.

Le 6 comme le 8, le canal de contournement de Bellegarde a atteint son maximum mais sans débordement notable.

### 2.2.5 Commentaires

Selon la carte des isohyètes, il apparaît que le secteur le plus arrosé a été la partie amont du bassin versant ce qui explique probablement la grande efficacité qu'a pu avoir l'action menée au niveau des gravières.

Globalement sur l'étendue complète de l'orage, le 2<sup>ème</sup> épisode a été moins intense cependant, par rapport au bassin versant du Rieu, les images radar montre que le cumul pluviométrique lié au 2<sup>ème</sup> événement a été plus important que le 1<sup>er</sup>. A ceci est venu s'ajouter, sur le 2<sup>ème</sup> événement, le niveau relativement élevé de saturation des sols (du au premier épisode). On peut donc penser que la proportion de pluie ruisselée par rapport à la pluie totale a été supérieure sur l'événement du 8 par rapport au 6/09.

Sur l'épisode du 6/09, on peut estimer que :

- Le bassin versant amont a reçu environ 60 mm en 2h, 100 mm en 6h
- le bassin versant aval du Rieu a reçu environ 30% de moins que l'amont.

Sur l'épisode du 8/09, on peut estimer que :

- Le bassin versant amont a reçu environ 70 mm en 2h, 155 mm en 6h
- le bassin versant aval du Rieu a reçu d'environ la moitié de celle tombé sur l'amont.

Le fait que les crues aient pu être contenues dans les gravières et qu'il n'ait pas été observé de débordement dans le bourg s'explique par la configuration des gravières (R4 existant en 2005) et l'action menée par la commune mais aussi par le fait que la pluviométrie sur l'aval du bassin versant (non contrôlable par les gravières) a été nettement moins importante qu'en octobre 1999.

### 3. ANALYSE HYDROLOGIQUE - CRUE DE REFERENCE

L'objet de la présente étude est la cartographie de l'aléa inondation du Rieu dans sa partie aval pour une crue centennale théorique. Il est donc nécessaire d'estimer l'hydrogramme de crue correspondant.

Le présent chapitre rappelle brièvement les données pluviométriques des 2 épisodes historiques analysés puis expose l'hydrogramme de crue centennale utilisé par la suite dans la modélisation hydraulique.

#### 3.1 LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

RAPPEL DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES SUR LES 2 CRUES HISTORIQUES :

	Pluie octobre 1999		Pluie 6 septembre 2005		Pluie 8 septembre 2005	
	Sur 2h	Sur 6h	Sur 2h	Sur 6h	Sur 2h	Sur 6h
Secteur amont	65 mm		60 mm	100 mm	70 mm	155 mm
Secteur aval	100 à 120 mm		40 mm	70 mm	35 mm	80 mm

Pour mémoire, la pluie qui s'est abattue sur Bernis en 2005 a atteint 98 mm en 1h et 270 mm en 6h soit un épisode tout à fait comparable à celui considéré pour le calcul de la crue centennale théorique.

#### PLUIE THEORIQUE CENTENNALE

Les valeurs pluviométriques statistiques sont celles de la station de Nimes Courbessac données dans le tableau ci-dessous :

		Statistiques pluviométriques - Nimes Courbessac									
		0.1	0.25	0.5	1	2	3	6	12	24	
Période de retour (an)	durée (h)	2	11	18	24	34	46	56	59	70	82
	5	15	24	34	48	68	84	91	106	124	
	10	17	28	40	59	85	106	118	137	159	
	20	19	32	47	70	103	130	150	174	201	
	40	21	36	54	81	123	157	189	218	251	
	50	21	37	56	85	130	166	204	234	269	
	100	23	41	63	98	153	198	254	291	334	

L'épisode pluviométrique centennal considéré dans la présente étude est un épisode de durée totale 6h (de 254 mm) avec une période intense de 1h (98 mm). A noter qu'il présente des caractéristiques proches de l'événement réel de 2005 à Bernis.

## 3.2 LES AMENAGEMENTS SUR LE BASSIN VERSANT DU RIEU

Les études antérieures réalisées sur le bassin versant du Rieu ont permis de proposer des aménagements permettant de réduire le risque d'inondation sur la commune. Il s'agit, en particulier des principaux aménagements suivants :

- L'utilisation des gravières de Sautebraut comme bassin de rétention pour intercepter la crue du Rieu produite par le bassin versant amont. Un tel dispositif intercepte 1/3 du bassin versant du Rieu à Bellegarde et va permettre de réduire de l'ordre de 30% le débit de pointe centennal à Bellegarde (en cas d'épisode orageux d'intensité homogène sur tout le bassin versant).

Il faut rappeler que, pour que le site de rétention de Sautebraut soit complètement opérationnel, il sera nécessaire de compléter le système d'entonnement actuel (seuil de dérivation) par la mise en place d'un merlon associé à un vannage à l'aval du déversoir principal d'entrée dans les gravières (ouvrage existant et permettant déjà de dériver une part importante des débits de crues non débordantes) mais aussi de réaliser des ouvrages complémentaires de liaison entre les bassins afin que l'ensemble du volume disponible dans les gravières puisse être mobilisé en cas de crue.

L'aménagement complet du système de rétention de Sautebraut pourrait être opérationnel à court terme, manquant à ce jour le merlon, le vannage et les ouvrages complémentaires de liaison interbassins. La réalisation de ces aménagements est envisagée début 2008.

- L'interception des eaux de crue des ruisseaux de Coste-Rouge, de l'Amarine et de Sauzette pour les stocker dans les bassins des gravières de Coste-Rouge. Cet aménagement intercepterait au maximum 1/4 du bassin versant total du Rieu à Bellegarde et viendrait compléter le dispositif énoncé ci-dessus. L'aménagement complet du site de Coste Rouge est envisagé à moyen terme cependant un aménagement partiel est envisageable dès 2008 : il s'agit d'intercepter dans la gravière une partie des crues de l'Amarine et Sauzette afin d'utiliser au mieux le volume actuellement offert par la gravière et qui, dans la situation actuelle, n'est pas sollicité pour l'amortissement des crues.

Ces différentes phases d'aménagement du bassin versant ont conduit à proposer 3 configurations qui font l'objet de la modélisation et de la cartographie de l'aléa présentées dans les chapitres suivants.

## 3.3 HYDROGRAMMES DE PROJET

Le modèle hydrologique (transformation pluie-débit) réalisé à l'aide du logiciel CANOE dans le cadre des études antérieures sur l'ensemble du bassin versant du Rieu a été utilisé, dans le cadre de la présente étude, afin de définir les hydrogrammes de projet dans les différentes configurations étudiées.

### CRUE DE REFERENCE DANS 3 CONFIGURATIONS D'AMENAGEMENT DU BASSIN VERSANT

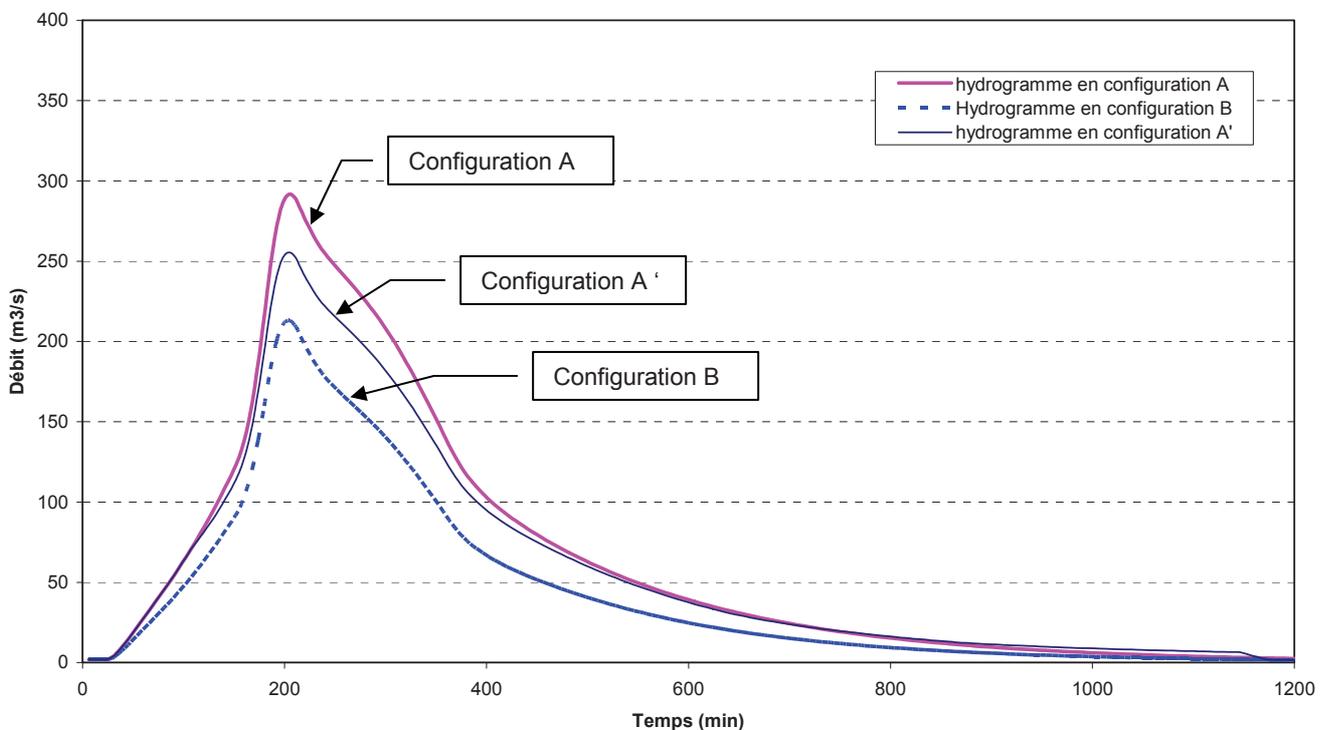
L'événement de référence est l'événement centennal. Pour cette occurrence, le modèle hydrologique a été exploité pour déterminer les hydrogrammes de projet centennaux du bassin versant du Rieu au plan d'eau des Moulins et du bassin versant d'un affluent du Rieu qui se jette au niveau du pont au droit du Mas St Jean. Pour les deux points de calculs, les hydrogrammes de crue ont été calculés dans les 3 configurations ci-dessous :

- Configuration A : Hydrogramme du bassin versant en tenant compte de l'écrêtement par les gravières de Sautebraut, en état final d'aménagement (vannage, merlon et ouvrages de liaison achevés),
- Configuration A' : Hydrogramme du bassin versant en tenant compte de l'écrêtement par les gravières de Sautebraut, en état final d'aménagement (vannage, merlon et ouvrages de liaison achevés) et écrêtement partiel de l'Amarine et Sauzette par les gravières de Coste Rouge en état actuel d'exploitation (chenaux de dérivation sur les deux cours d'eau, volume disponible dans les gravières de 575 000 m<sup>3</sup>)
- Configuration B : Hydrogramme du bassin versant en tenant compte de l'écrêtement par les gravières de Sautebraut et de Coste Rouge.

Les hydrogrammes des 3 configurations sont représentés sur les graphiques suivants.

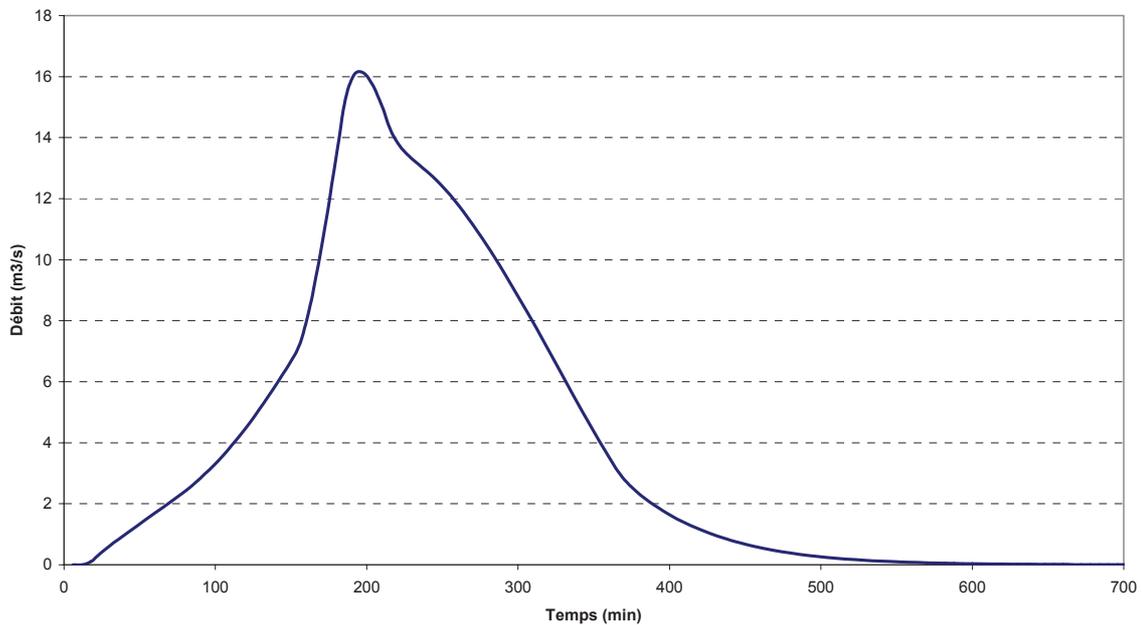
#### Rieu au plan d'eau des Moulins

Hydrogrammes de la crue centennale du Rieu au plan d'eau des Moulins



## Affluent du Mas St Jean

Hydrogramme centennial de l'affluent au droit du Mas Saint Jean



## 4. MODELISATION HYDRAULIQUE

### 4.1 CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

#### 4.1.1 Choix du modèle mathématique et représentation des écoulements

##### 4.1.1.1 Type de modèle

Le modèle hydraulique doit être conçu avec l'objectif de reproduire la complexité des écoulements liée à :

- la configuration de la vallée : vallée étroite en aval immédiat du plan d'eau des Moulins puis élargissement jusqu'au canal du Rhône à Sète
- la présence du canal de contournement du Rieu dont la capacité est supérieure à celle du Rieu naturel
- la présence d'ouvrages : ponts pouvant être en charge voire submergés, seuils, endiguements.

Afin de tenir compte au mieux des points cités ci-dessus, il a été mis en œuvre un modèle mixte (profils en travers et casiers) maillés qui permet de représenter les différents axes d'écoulements et qui intègre des unités hydrauliques spécifiques destinés à représenter les différents ouvrages : pont (méthode de Bardley), seuil, digues, etc....

#### 4.1.1.2 Présentation du logiciel

ISIS est un logiciel de simulation hydraulique des écoulements en rivière ou canaux développé par HALCROW et WALLINGFORD. Basé sur la résolution des équations de Barré de St Venant, il est particulièrement adapté à l'étude des réseaux complexes maillés ou ramifiés et à la simulation des champs d'inondation en régime permanent ou transitoire.

Il rend également bien compte des écoulements dans les secteurs endigués et propose au droit des singularités des méthodes de calcul performantes :

- méthode de Bradley de l'USPBR pour le calcul du remous des ponts,
- équations de seuils et déversoirs divers : mince, épais, rectangulaire, parabolique...

La modélisation du lit majeur proposée sous forme d'une structure à casier permet de se rapprocher d'une modélisation bidimensionnelle, on parle dans ce cas de représentation pseudo bidimensionnelle et il est alors possible de rendre compte d'écoulements selon différents axes.

### 4.1.2 Construction du modèle

#### 4.1.2.1 Définition de la structure

Le lit mineur du Rieu est représenté par 27 profils en travers au droit desquels ISIS résout les équations de barré de Saint Venant. La dénomination des profils (ou labels) suit la nomenclature P001 à P027 de l'amont vers l'aval.

Tous les ouvrages impactant la ligne d'eau et présents dans le lit mineur ont été modélisés.

Label	Ouvrage
P003	Pont en amont des terrains de tennis
P004	Seuil en aval de la défluence entre le Rieu et l'ancien Rieu
P007	Pont de la RN113
P010	Pont de la rue des Calandres
P013	Pont au droit du Mas St Jean
P014	Pont au droit du carrefour entre la RD38 et le chemin communal n°38 de Saint-Gilles à Beaucaire
P017	Pont en amont du pont de la déchetterie

P018	Pont de la déchetterie
P022	Pont de la voie communale n°13 dit de Rond
P025	Pont en amont du pont de la RD38
P026	Pont de la RD38
P027	Cadre assurant la liaison du Rieu avec le contre canal du canal du Rhône à Sète

Le lit majeur est représenté par 196 casiers reliés entre eux et avec le lit mineur par :

- Des lois de seuil (noyés ou non) pour les déversements hors du lit mineur, par-dessus les digues du cours d'eau (il est à noter que ces dernières ont été modélisées à partir des profils en long réalisés spécifiquement pour cette étude) ; A noter que les calculs sont réalisés à géométrie constante c'est-à-dire en particulier sans rupture d'endiguement.
- Des lois d'écoulement normal (Manning-Strickler) pour les écoulements en lit majeur.
- Des lois de seuil ou des ouvrages de franchissement spécifiques pour les passages sur/sous des remblais routiers (en particulier pour la RN113 en remblai et 3 ouvrages sous la route nationale).

#### 4.1.2.2 Condition aux limites

Les conditions aux limites définissent les débits entrant et le niveau aval.

##### CONDITIONS LIMITES AMONT

Il s'agit des hydrogrammes de crue déterminés dans l'analyse hydrologique :

- L'apport d'eau issu du bassin versant en amont de Bellegarde est injecté à l'entrée du modèle, juste en aval du plan d'eau des Moulins.
- L'apport d'eau issu de la zone Le Paradis est injecté dans le modèle au niveau du profil P013 au droit du Mas Saint Jean.

##### CONDITION LIMITE AVAL

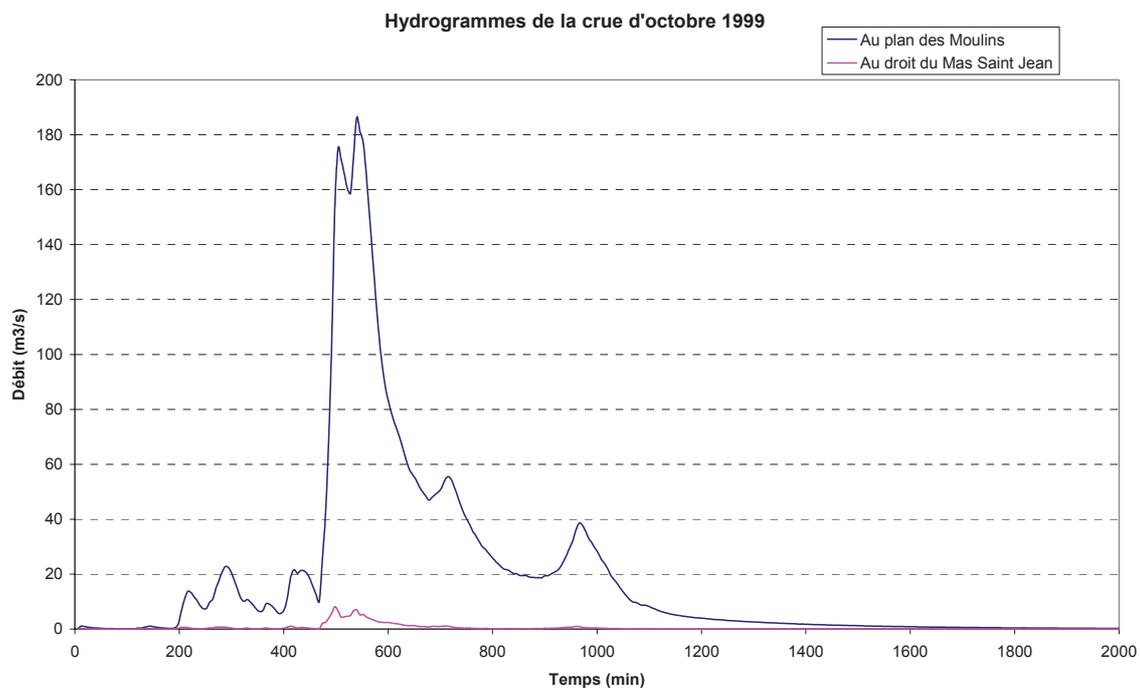
La condition limite aval est constituée par le niveau du canal du Rhône à Sète au droit de l'ouvrage de décharge du Rieu dans le canal. Les calculs ont été effectués en considérant le niveau du canal en situation normale c'est-à-dire hors crue du Rhône. D'après les observations de terrain, il a été considéré qu'en période normale de fonctionnement hydraulique, l'ouvrage entre le Rieu et le canal est rempli à mi-hauteur.

## 4.2 VERIFICATION DE LA VALIDITE DU MODELE SUR L'EPISODE D'OCTOBRE 1999

La crue d'octobre 1999 est la seule crue pour laquelle nous disposons des relevés de plus hautes eaux.

Lors de l'étude précédente « Définition d'actions pour la protection et la prévention des inondations du Rieu de Bellegarde » menée par BRLingénierie en décembre 2001, une reconnaissance de terrain et une enquête spécifique auprès des riverains ont été établies et permettent de disposer de relevés de hauteurs d'eau atteintes lors de l'évènement des 20 et 21 octobre 1999.

Cette épisode de crue a donc été utilisé pour la validation du modèle hydraulique. A partir des données pluviométriques, il a été reconstitué un hyétogramme de l'évènement (répartition temporelle de la pluie). Le modèle hydrologique a ensuite été exploité pour reconstituer l'hydrogramme de la crue d'octobre 1999 au plan d'eau des Moulins et au pont au droit du Mas St Jean. Celui-ci est présenté ci-après.



Le calage hydraulique du modèle consiste ensuite à définir les coefficients de rugosité (Strickler) en lit mineur et en lit majeur à l'aide de relevés de laisses de crues précédentes.

Afin de caler le modèle hydraulique, l'évènement d'octobre 1999 a donc été simulé à partir de l'hydrogramme de crue reconstitué et décrit dans l'analyse hydrologique.

Les informations de hauteurs d'eau observées ont été utilisées afin d'ajuster les coefficients de rugosité K en lit majeur et en particuliers en zones urbaines où les écoulements sont ralentis par la présence des habitations.

Le tableau suivant récapitule les laisses de crue observées et les hauteurs d'eau calculées par modélisation hydraulique. En annexe 1, sont fournies les informations de la crue de 1999 et les niveaux d'eau calculés.

Localisation	Hauteur d'eau observée	Hauteur d'eau calculée
<b>Secteur Nord Ouest du village</b>		
Champion	30 à 40 cm	36 cm
<b>Secteur Nord Est du village</b>		
Rue des Olivettes	50 à 60 cm	57 cm
Station de relevage	1 m	89 cm
<b>Secteur Sud, Sud-Ouest du village</b>		
Parcelle 1716 près de la rue des Alisiers	60 cm	57 cm
Dans la carrière Torte	1.50 m	66 cm
Dans la Moutouse	1.50 m	59 cm
Chemin départemental n°38 à la sortie ouest du village	Route = limite d'inondation	Route = limite d'inondation
RD n°38 au niveau de los Cuurejos	Route = limite d'inondation	Route = limite d'inondation

Les coefficients de Strickler K retenus sont les suivant :

	Zone urbanisée dense	Zone urbanisée moyennement dense	Zone urbanisée lotissement	Zone naturelle
Coefficient de Strickler	3	5	7	10

Les résultats du calcul sont globalement cohérents avec les observations à l'exception des secteurs plats de la carrière Torte et de la Moutouse. On peut cependant penser que sur ces 2 secteurs, les témoignages sont erronés car il a probablement été difficile d'estimer les hauteurs d'eau compte tenu de la configuration des lieux et d'autre part les niveaux observés sont incohérents entre eux :

Si il y avait eu 1.50 m d'eau dans ces zones, le niveau NGF aurait été de 2.50 m pour la Moutouse et 2.80 m pour la Torte. Or, les niveaux des routes qui entoure ces zones, qui sont indiqués comme des limites de la zone inondée, sont à 2.1 m pour la RD38 (proche de la Torte) et à 2 m pour la route communale n°38 proche de la Moutouse. Il y a donc contradiction. Il a donc été considéré qu'il était plus évident de déterminer une limite d'inondation qu'une hauteur d'eau dans une zone naturelle plate. Nous avons donc privilégié le niveau des routes pour la vérification de la validité du modèle.

## 4.3 EXPLOITATION DU MODELE HYDRAULIQUE

### 4.3.1 Capacité du lit mineur, débit de débordement

#### 4.3.1.1 Analyse du profil en long topographique des berges

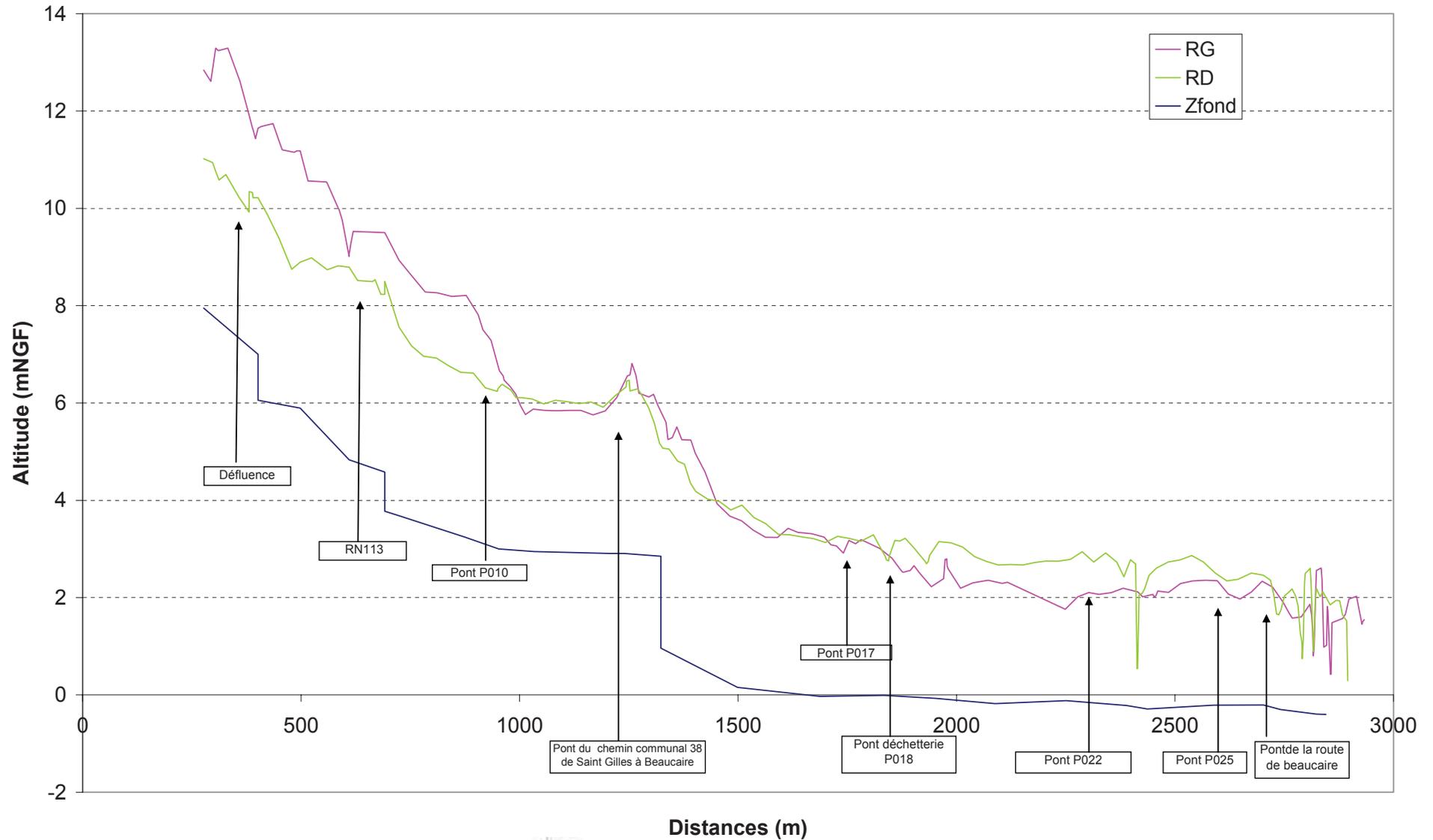
Le profil en long des berges du Rieu est représenté sur le graphique de la page suivante.

Le Rieu est endigué du plan d'eau des Moulins jusqu'au canal du Rhône à Sète. Du plan d'eau des Moulins jusqu'au pont du chemin communal de Saint Gilles à Beaucaire, le terrain naturel en rive gauche est nettement plus haut qu'en rive droite interdisant tout débordement en rive gauche.

D'une manière générale, du plan des Moulins jusqu'au pont du chemin communal de Saint Gilles à Beaucaire, la rive gauche est nettement plus élevée que la rive droite. Du ce pont jusqu'à celui de la déchetterie, elles sont à la même côte. En aval de la déchetterie, la rive droite se trouve plus haute que la gauche.

Le pont du chemin communal constitue le point de discontinuité du niveau des berges. Les crêtes de digues sont irrégulières par endroit avec une discontinuité en aval de la défluence avec l'ancien Rieu. Enfin, tout le long des berges, il existe des points bas ponctuels de 30 à 50cm inférieurs à la cote moyenne de la berge.

### Profil en long des berges



### 4.3.1.2 Capacité du lit mineur

Des simulations ont été effectuées en régime permanent avec une plage de débit allant de 10 à 60 m<sup>3</sup>/s. Au niveau de chaque profil en travers représentant le lit mineur des cours d'eau, il est possible de définir le débit conduisant aux premiers débordements sur la rive gauche et droite.

Les capacités hydrauliques du lit mineur ont été cartographiées par tranches de 10 m<sup>3</sup>/s sur chaque profil en travers. Une carte des capacités par profils en travers se trouve en annexe.

On remarque l'existence de trois grands tronçons :

- Du plan d'eau des Moulins jusqu'au pont situé au droit du Champion, le lit mineur a sa plus grande capacité (50-60 m<sup>3</sup>/s).
- Du pont du Champion (P003) jusqu'au pont du chemin communal 38 de Saint Gilles à Beaucaire (P014), la capacité moyenne du cours d'eau est 30-40 m<sup>3</sup>/s. On constate toutefois une diminution de la capacité au niveau de la défluence (profil P0147) et du pont P010 de la rue des Calandres. La capacité passe pour les deux points ci-dessus de 30-40 m<sup>3</sup>/s à 20-30 m<sup>3</sup>/s. Ceci est dû à la présence du seuil au niveau de la défluence et à la présence du pont P010 qui en réhaussant la ligne d'eau réduit le débit transitant dans le lit avant débordement. Ponctuellement, la capacité du lit augmente en aval de la RN113 et entre les ponts P013 et P014.
- Du pont du chemin communal 38 de Saint Gilles à Beaucaire (P014) au canal du Rhône à Sète, la capacité du lit est faible. Elle est de 10-20 m<sup>3</sup>/s voire inférieure à 10 m<sup>3</sup>/s par endroit. Ceci s'explique en grande partie par la contrainte aval que représente l'exutoire dans le contre canal du Rhône du Sète plus que par la capacité intrinsèque du chenal.

### 4.3.2 Cartographie des zones inondables

A partir des résultats de la modélisation hydraulique, 3 cartographies des isohauteurs d'eau ont été réalisées pour :

- La configuration A : crue centennale en tenant compte de l'écrêtement par les gravières de Sautebraut (dans leur état final d'aménagement, c'est-à-dire permettant l'interception quasi-totale de la crue du Rieu en amont du site des gravières),
- La configuration A' : crue centennale en tenant compte de l'écrêtement par les gravières de Sautebraut (dans leur état final d'aménagement, c'est-à-dire permettant l'interception quasi-totale de la crue du Rieu en amont du site des gravières) et écrêtement partiel de l'Amarine et Sauzette par les gravières de Coste Rouge en état actuel d'exploitation (chenaux de dérivation sur les deux cours d'eau, volume disponible dans les gravières de 575 000 m<sup>3</sup>). Cette configuration correspond à un aménagement du bassin versant envisagé à très court terme (2008).
- La configuration B : crue centennale en tenant compte de l'écrêtement par les gravières de Sautebraut et de Coste Rouge (interception quasi-totale de la crue amont du Rieu et des crues des ruisseaux de l'Amarine, Coste Rouge et Sauzette).

Ces cartographies sont proposées en annexe 2.

Elles font apparaître la limite de la zone inondable accompagnée de la limite des isohauteurs 50cm et les vitesses moyennes d'écoulement (représentées par des flèches rouges orientés dans l'axe principal d'écoulement et dont la longueur est proportionnelle à la valeur de la vitesse moyenne).

# ANNEXES

# **Annexe 1 : Calage de la modélisation sur l'événement de 1999**



## **Annexe 2 : Cartographies des isohauteurs dans les 3 configurations simulées**



COMMUNE DE BELLEGARDE

CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DU  
RIEU DE BELLEGARDE DEPUIS LE PLAN D'EAU  
DES MOULINS JUSQU'AU CANAL DU RHÔNE  
A SETE

Crue centennale - isohauteur d'eau  
Configuration A: après aménagement complet  
des gravières de Sautebraut et aménagement  
partiel de Coste Rouge

Octobre 2007

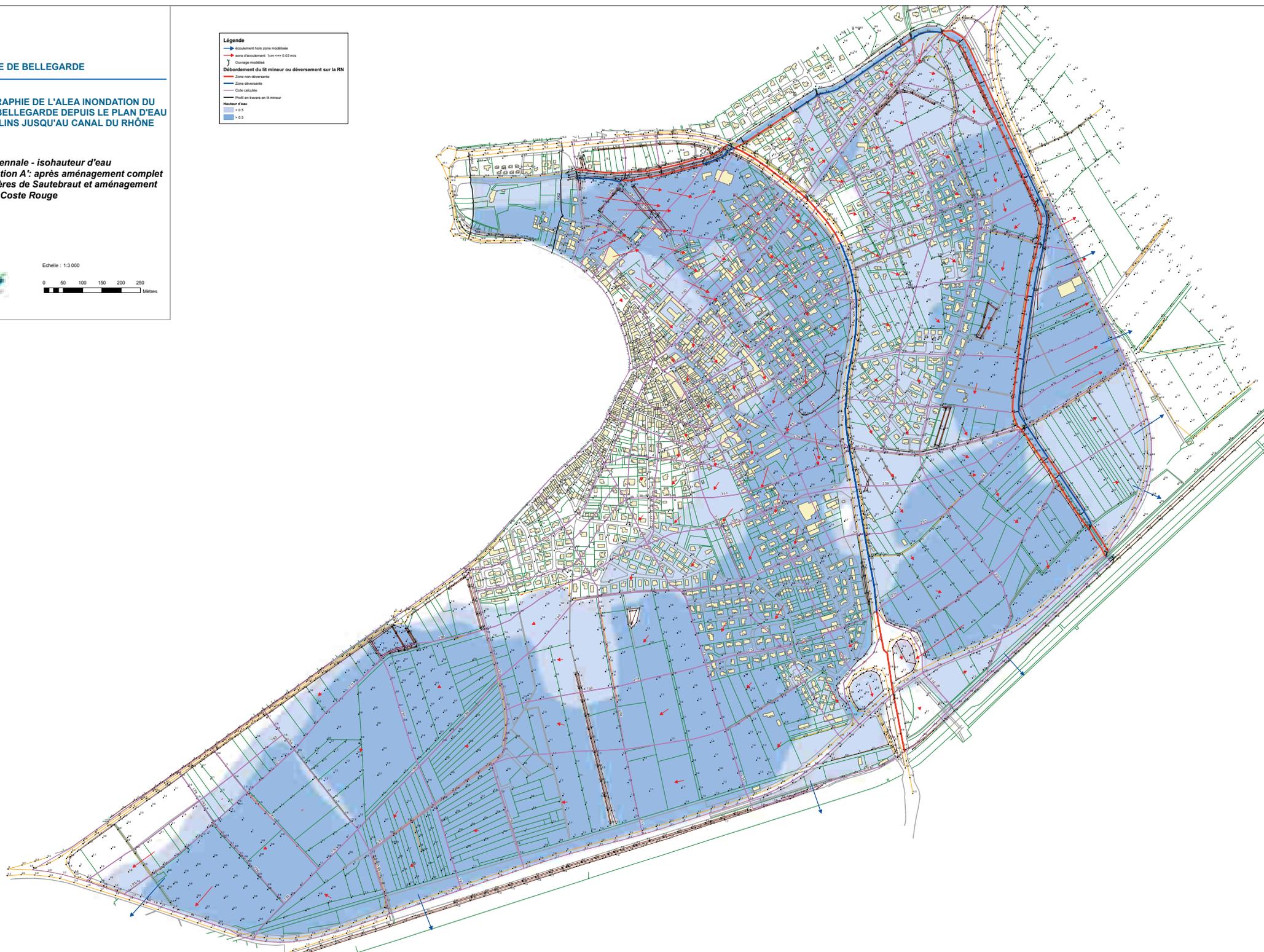


Echelle : 1:3 000



**Légende**

- évacuation hors zone modélisée
- sens d'écoulement: ton <math>v < 0.25 \text{ m/s}</math>
- Ouvrage modélisé
- ↳ Débordement du lit mineur ou déversement sur la RN
- Zone non déversante
- Zone déversante
- Cote calculée
- Profil en travers en lit mineur
- Hauteur d'eau:
  - <math>< 0.5</math>
  - > 0.5



**CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION DU RIEU DE BELLEGARDE DEPUIS LE PLAN D'EAU DES MOULINS JUSQU'AU CANAL DU RHÔNE A SETE**

*Crue centennale - isohauteur d'eau  
Configuration: après aménagement complet  
des gravières de Sautebraut et de Coste Rouge*

Septembre 2007



Echelle : 1:3.000



**Légende**

- Accueil hors zone inondable
- Sens d'écoulement
- Contour inondable
- Cote verticale
- Profil en travers en 11 minutes

**Débordement du lit mineur ou déversement sur la RN**

- Zone non déversant
- Zone déversante

**Hauteur d'eau**

- + 0.5 m
- + 0.3 m

