

# PLAN DE PREVENTION DES RISQUES INONDATION HAUT VISTRE, BUFFALON ET MOYEN VISTRE

## *Phase 2 : étude des aléas*

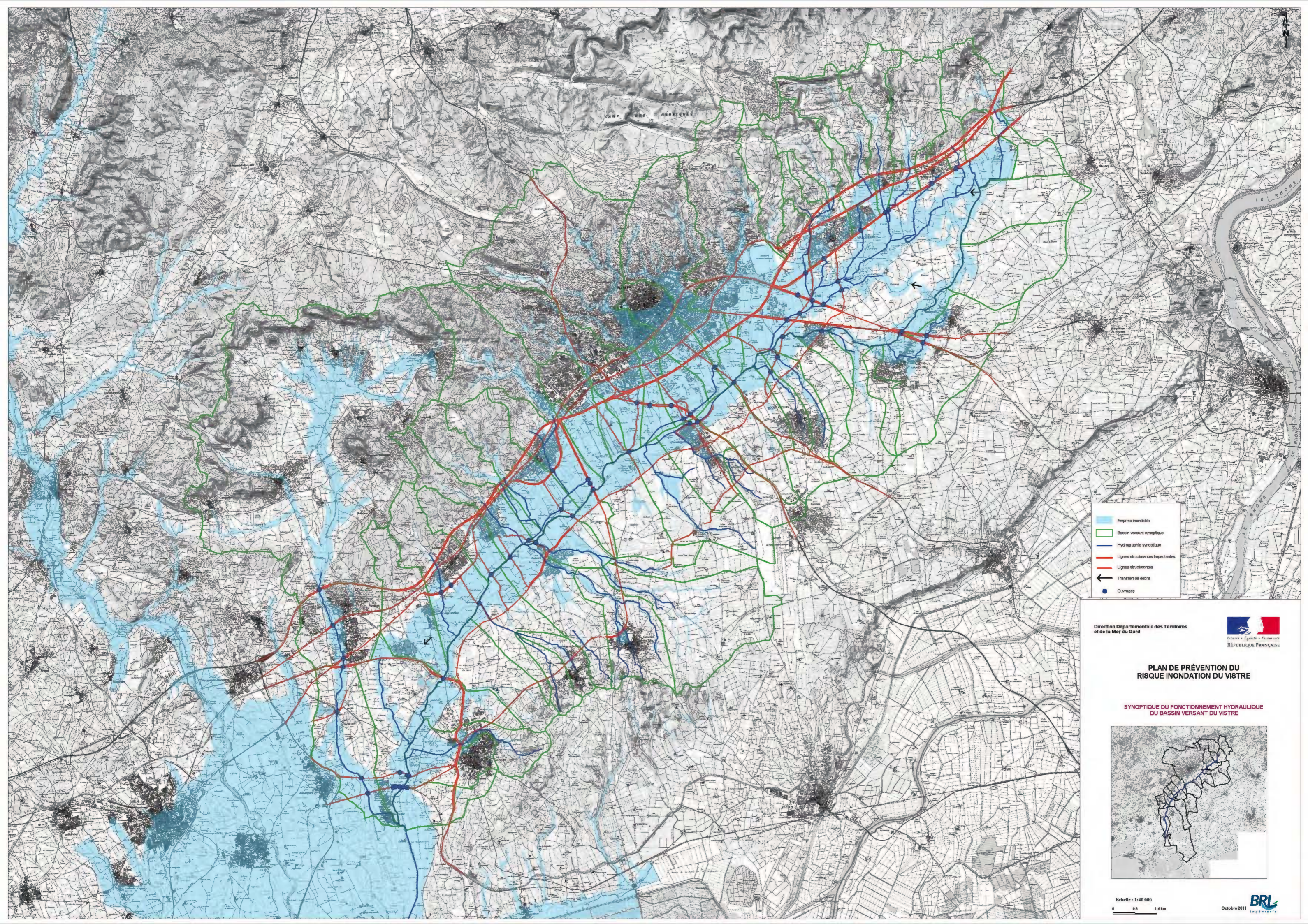
*Janvier 2013*



# PLAN DE PREVENTION DES RISQUES INONDATION HAUT VISTRE, BUFFALON ET MOYEN VISTRE

## *Phase 2 : Etude des aléas*

<b>1. TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MODELISATIONS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Influence des ouvrages « particuliers »</b>	<b>4</b>
2.1.1 Bassins de rétention	4
2.1.2 Infrastructures en remblais	7
<b>2.2 Analyse critique préalable des PHE</b>	<b>8</b>
2.2.1 Collecte et synthèse des PHE	8
2.2.2 Critique préalable des PHE	9
2.2.3 Critique et validation postérieures aux modélisations hydrauliques	9
<b>2.3 Les affluents</b>	<b>10</b>
<b>2.3.1 Description des modèles, résultats et commentaires</b>	<b>10</b>
2.3.1.1 Le Bastide, le Pradinas, le Canabou, le Bartadet, le Serre de la Font, le Perret, le Chivalas	10
2.3.1.2 Le Gara de Paille	24
2.3.1.3 Le Grand Michel	24
2.3.1.4 Le Campagne	26
2.3.1.5 Le Valdebane	28
2.3.1.6 Le Cabassan	30
2.3.1.7 Le Gour et l'Arriasse	32
2.3.1.8 Le Rézil	34
2.3.1.9 La Lone	39
<b>2.3.2 Intégration des résultats des modélisations des études existantes</b>	<b>41</b>
2.3.2.1 Lédenon	41
2.3.2.2 Vauvert	43
2.3.2.3 Milhaud et Bernis	47
2.3.2.4 Le Mirman à Caissargues	54
2.3.2.5 Aubord et Générac	56
<b>2.4 Le modèle de la plaine du Vistre et du Buffalon</b>	<b>58</b>
2.4.1 Hydrogrammes injectés	58
2.4.2 Structure du modèle	60
2.4.3 Condition limite aval	61
2.4.4 Calage sur la crue de 2005	66
2.4.5 Résultats des simulations	74
<b>ANNEXE .....</b>	<b>95</b>
<b>Annexe 1 : résultats des modèles filaires des affluents</b>	<b>96</b>
<b>Annexe 2 : hydrogrammes d'apports injectés dans le modèle « plaine »</b>	<b>97</b>



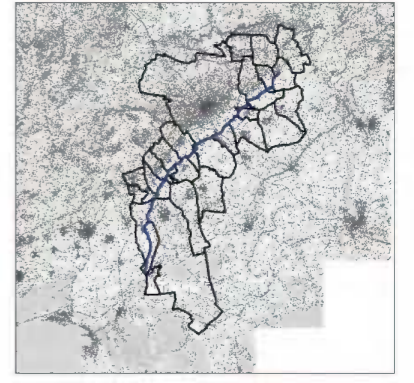
- Emprise inondable
- Bassin versant synoptique
- Hydrographie synoptique
- Lignes structurantes impactantes
- Lignes structurantes
- Transfert de débits
- Ouvrages

Direction Départementale des Territoires  
et de la Mer du Gard



### PLAN DE PRÉVENTION DU RISQUE INONDATION DU VISTRE

#### SYNOPTIQUE DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT DU VISTRE



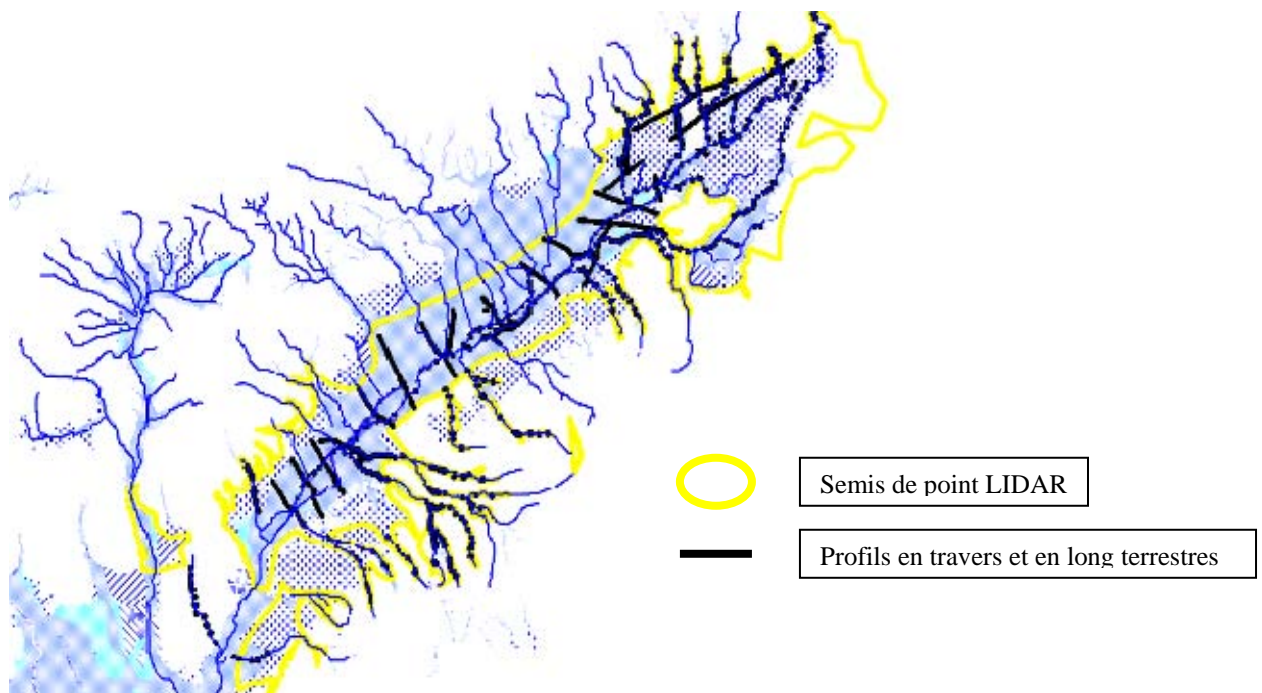
Echelle : 1:40 000  
0 0,8 1,6 km

Octobre 2011  
**BRL**  
Ingénierie

## 1. TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES

Les levés topographiques réalisés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- ▶ Levés terrestres :
  - 466 profils en travers des lits mineurs des cours d'eau,
  - 209 ouvrages de franchissement hydrauliques,
  - 48 km de profils en longs des lignes structurantes,
  - 52 PHE.
- ▶ Levés LIDAR : 160 km<sup>2</sup> de champ majeur des cours d'eau, avec une densité de points de 3 points par m<sup>2</sup> et une précision de + ou – 8 cm.



## 2. MODELISATIONS

La modélisation des écoulements de crue a été mise en œuvre sur le tout le linéaire du Vistre et du Buffalon, et sur tous les affluents compris dans le périmètre d'étude (Cf. phase 1, §1.5), c'est-à-dire tous les affluents en dehors du Rhône, de la Cubelle et des cadereaux de Nîmes.

L'analyse réalisée en phase 1 permet de dégager 2 grands types de fonctionnement hydraulique :

- ▶ Les écoulements de plaine du Vistre et du Buffalon qui subissent un étalement et ralentissement dynamique en champ majeur, et sont modélisés en transitoire dans un modèle « plaine » décrit ci-après,
- ▶ Les écoulements des affluents du Vistre, qui sont soumis à des pentes plus fortes et un moindre étalement des eaux, et sont modélisés en modèles filaires et permanent décrits ci-après.

Les modèles, plaine et affluents, sont construits sur la base des levés topographiques décrits ci-avant, et intègrent tous les ouvrages structurants présents sur les secteurs modélisés. Des précisions doivent toutefois être apportées sur la prise en compte de certains ouvrages (§2.1).

Avant la construction des modèles qui doivent être calés sur les repères de Plus Hautes Eaux (PHE) disponibles, une analyse critique préalable a été menée sur les PHE recensés dans la zone d'étude (§2.2).

## 2.1 INFLUENCE DES OUVRAGES « PARTICULIERS »

Un certain nombre d'ouvrages : bassins de rétention, ouvrages transversaux en remblai, digues longitudinales, sont présents sur le bassin versant du Vistre. Face à ce constat, il est naturel de s'interroger sur l'influence de ces ouvrages sur le fonctionnement hydraulique du Vistre et de ses affluents en période de crue, aussi bien en regard de l'aggravation qu'en regard d'une atténuation des phénomènes.

### 2.1.1 Bassins de rétention

Les principaux bassins de rétention susceptibles d'avoir un impact significatif sur les débits de référence du bassin versant sont :

- ▶ Les bassins de rétention sur les cadereaux de Nîmes dont la réalisation a débuté suite aux inondations catastrophiques de 1988 dans le cadre du « programme cadereaux »,
- ▶ le bassin de rétention des Plaines sur la commune de Vauvert, réalisé après 2005.

Le laminage des bassins de rétention est considéré comme nul, compte tenu du risque important de défaillance de tels ouvrages (obturation de l'orifice de fuite, vidange totale non effective entre deux événements pluvieux distincts,...) et de leur faible efficacité vis-à-vis d'événements majeurs d'occurrence centennale.

Une exception a été retenue pour le cas particulier du bassin de stockage de la carrière de Caveirac sur la Poudre (communes concernées : Nîmes et Milhaud), dont le volume est très important (4,6 millions de m<sup>3</sup>) et le risque de défaillance quasi nul.

L'écrêtement induit par le stockage dans les bassins de rétention a par contre été pris en compte pour la simulation des événements de calage (septembre 2005 et septembre 2002), lorsque les bassins existaient, comme c'est le cas de plusieurs bassins de Nîmes.

### *Prise en compte des bassins de rétention de la Ville de Nîmes pour les événements historiques*

Source : *Programme CADEREAU – Etude pour un aménagement cohérent et durable des cadereaux – Etape n°1 : Bilan des aménagements réalisés dans le cadre du PPCI – « Sous-étape 1.1.2 Inventaire des travaux réalisés » – Version 5. Février 2008. EGIS Eau BCEOM France pour la Ville de Nîmes.*

Le recensement des ouvrages réalisés couvre la période 1988-2009. Les aménagements réalisés à ce jour sont la conséquence directe de la catastrophe du 3 octobre 1988 (pluie de 420 mm en 7 heures à Mas de Ponge / volume de 14 millions de mètres cubes d'eau transitant dans la zone urbanisée de la Ville). Suite à ces inondations, la Ville de Nîmes a décidé de restructurer le réseau d'assainissement pluvial afin de maîtriser les écoulements des eaux de ruissellement traversant l'agglomération.

**Le Plan de Protection Contre les Inondations (PPCI) de la Ville de Nîmes a défini les aménagements à mettre en œuvre pour protéger l'agglomération contre des pluies d'occurrence quarantennale à l'amont du boulevard Sud et centennale à l'aval.**

A ce jour (2009), le PPCI a permis la réalisation de :

- ▶ 21 bassins écrêteurs de crue (en amont du boulevard Sud),
- ▶ 1 bassin de stockage (Carrière de Caveirac),
- ▶ 2 bassins de dégravement (Engance et Cimetière),
- ▶ 4 bassins de compensation aval (Aérodrome Est, Aérodrome Ouest, Magaille Est, Mas Neuf).

Le tableau ci-après synthétise les caractéristiques des bassins de rétention réalisés dans le cadre du PPCI de la Ville de Nîmes.

Le bassin du Mas de Vigier sur le cadereau de Saint-Cézaire dont l'étude est actuellement en cours dans le cadre du Programme CADEREAU n'a pas été répertorié.

La pluie de projet retenue est la pluie de septembre 2005 recentrée dont la période de retour associée a été qualifiée de quarantennale, ce qui est cohérent avec l'analyse hydrologique menée dans le cadre du PPRi Vistre.

Cadereau concerné	Désignation de l'aménagement	Année(s) de réalisation	Caractéristiques techniques principales		
			Volume (m3)	Hauteur (m)	Surface (ha)
Valladas (4)	Bassin du Grand Serre	2001-2002	77 100	10.50	2.40
	Bassin de Dégravement du Cimetière	2006	2 500	2.15	0.34
	Bassin aérodrome Est	2003-2004	30 500	2.00	7.92
	Bassin aérodrome Ouest	2003-2004	368 000	6.00	13.00
Riquet (1)	Bassin du Valat Riquet	1992	41 000	6.70	1.70
Uzès (5)	Bassin du Tennis (de Calvas) ou Font Rossignol	1999-2000	23 900	7.00	0.76
	Bassin de dégravement d'Engance	1999-2000	1 000	2.00	0.15
	Bassin de l'Oliveraie	1999-2000	101 400	10.30	3.10
	Bassin du Terrain de l'Armée	2003-2004	37 200	7.00	1.54
	Bassin de Magaille Est	2003-2004	60 000	2.50	5.50
Alès (7)	Bassin de Vallon I (ou de la Combe des Oiseaux)	1994	22 000	1.00	1.00
	Bassin du Bois de Mittau Ouest	1999-2000	16 500	7.00	1.20
	Bassin de Roquemaière	1999-2000	70 500	5.60	2.60
	Bassin d'Anduze	2003-2004	58 000	5.00	3.35
	Bassin de Vallon II (ou de la Combe des Oiseaux)	2003-2004	22 000	1.00	1.00
	Bassin du Bois de Mittau Est	2006-2007	10 000	8.20	1.00
	Bassin du Mas Neuf	2006-2007	211 000	3.40	14.20
Camplanier (3)	Bassin de Vacquerolles amont	1991-1992	24 500	2.50	3.60
	Bassin de Vacquerolles aval	1991-1992	54 500	3.50	5.70
	Bassin amont du Pont de la République	1992	28 000	6.00	1.10
Valdegour (4)	Bassin amont de Pierre Blanche	2003-2004	42 000	7.00	1.60
	Bassin amont de Mourre Froid	2004-2005	47 600	8.00	1.50
	Bassin amont des Romarins Nord	2006	11 000	2.95	0.50
	Bassin amont des Romarins Sud	2006	46 000	8.70	2.00
Pondre (3)	Carrière de Caveirac	2002	4 600 000	-	-
	Bassin amont de Canteperdrix	2005-2006	36 000	3.00	2.02
	Bassin aval de Canteperdrix	2005-2006	42 850	2.50	2.18

La modélisation hydrologique des affluents a été effectuée selon la méthode appliquée pour les autres affluents du Vistre en incluant les bassins de rétention existant pour les deux évènements de calage : septembre 2002 et septembre 2005. Les résultats obtenus sont en cohérence avec ceux du Programme Cadereaux.

Ainsi, les résultats obtenus pour les pluies réelles de septembre 2002 et septembre 2005 prennent en compte les aménagements existants à l'époque et sont cohérents avec le Programme Cadereaux.

Concernant les évènements de projet (pluies décennales, cinquantennale et centennale), seule la Carrière de Caveirac a été prise en compte dans la modélisation.

Pour les évènements de projets, les hypothèses hydrologiques sont différentes entre le PPRi Vistre et le Programme Cadereaux (type de pluie et durée de pluie). Les résultats ne sont donc pas directement comparables.

## 2.1.2 Infrastructures en remblais

La présence d'infrastructures en remblais qui font obstacle aux écoulements peut avoir pour incidence :

- ▶ de créer un remous sur la ligne d'eau et éventuellement en fonction de la configuration du site à l'amont, de stocker un volume d'eau suffisant pour écrêter le débit,
- ▶ d'engendrer un risque supplémentaire par rupture ou surverse.

Les infrastructures en remblais dont il faut préciser la prise en compte sont les suivantes :

- ▶ **Les digues du Vistre ou plutôt les levées de terre qui ont été réalisées lors des recalibrages et rectifications le long du lit mineur du Vistre, et que l'on ne peut qualifier de véritables digues** ; leur vocation n'est pas la protection contre les crues ; compte tenu de leur état actuel dégradé et de leur caractère discontinu et non pérenne, ces ouvrages sont considérés comme transparents vis-à-vis des écoulements de crue de manière à intégrer le risque très probable de formation de brèches,
- ▶ **De même, la plupart des remblais, murs, merlons de protection, fréquemment rencontrés en zone urbanisée et en zone agricole**, conformément à la politique de l'État, ne peuvent être considérés comme des ouvrages de protection fiables, et restent donc transparents dans la qualification de l'aléa. En effet les zones situées derrière ces remblais sont des zones soumises à un risque d'inondation par rupture brutale ou submersion du remblai, avec des conséquences catastrophiques quelque soit leur degré de protection théorique.
- ▶ **Les digues de protection des zones habitées**, qui présentent un bon état structurel et un caractère pérenne : il s'agit des digues de Caissargues et du Cailar. Ces digues sont actuellement prises en compte en tant qu'ouvrages structurants protecteurs des lieux habités ; la modalité de prise en compte d'un effacement ou d'éventuelles ruptures n'a pas été examinée à ce jour.
- ▶ **Le canal BRL :**
  - **Ecrêtement à l'amont** : sur les linéaires où le canal est en remblai, et où la transparence hydraulique pour un évènement majeur n'est pas assurée, des stockages importants ont lieu à l'amont du canal ; c'est notamment le cas du secteur de Vauvert où une modélisation des écoulements en transitoire a mis en évidence un écrêtement significatif du débit de pointe lors d'une étude antérieure (Cf. § 2.3.2) ;



- **déversement à l'aval** : les zones inondées par déversement du canal lors de l'évènement de septembre 2005 ont été cartographiées lors des enquêtes menées après l'évènement ; il s'agit d'une information complémentaire qui n'est pas intégrée dans la cartographie des aléas de débordement de cours d'eau.
- ▶ **L'autoroute A9** : sur les linéaires où l'autoroute est en remblai, et où la transparence hydraulique pour un évènement majeur n'est pas assurée, des stockages importants ont lieu à l'amont de la plate forme ; c'est le cas sur de nombreux cours d'eau interceptés par l'A9 entre Bezouze et Vestric. Les écrêtements induits ont été étudiés au cas par cas lors des modélisations (Cf § 2.3.1). La photographie ci-après prise en 2005 sur l'autoroute au droit de l'aire de Marguerittes illustre le manque de transparence de l'infrastructure pour les évènements pluvieux rares dans certains secteurs.



## 2.2 ANALYSE CRITIQUE PREALABLE DES PHE

### 2.2.1 Collecte et synthèse des PHE

Les repères des Plus Hautes eaux (PHE) connus sur le bassin versant ont fait l'objet de plusieurs recensements antérieurs à la présente étude. Les enquêtes réalisées auprès des communes ont permis de les valider et éventuellement d'apporter quelques compléments qualitatifs mais n'ont pas abouti à de nouvelles données. En effet, on dispose des données suivantes :

- ▶ Le recensement et le levé des PHE de la crue de 2005, réalisé par Hydrologik pour la DDE du Gard,
- ▶ Le recensement de PHE de débordement de cours d'eau et de ruissellement de plusieurs crues, réalisé par Hydratec pour le SMBVV, dans le cadre de l'étude pour l'établissement de repères de crues sur le bassin versant : les PHE de débordement ont été nivelées dans le cadre de la campagne topographique de la présente étude par le géomètre Vincens (soit une quarantaine de PHE, sachant qu'une vingtaine d'entre eux n'étaient pas accessible),
- ▶ Le recensement et le levés des PHE de la crue de 1988 sur le Rhône, le Vistre aval et le Razil lors de l'étude générale d'aménagement hydraulique du Vistre-Rhône menée par la DDE30 en 1992 (BCEOM),
- ▶ Le recensement et le levé de PHE identifiées dans le cadre des études RFF pour CNM sur le Vistre (Ingérop), le Rieu et le Campagnolle (Safege).

Les études hydrauliques menées sur Bernis et Milhaud sous maîtrise d'ouvrage communale n'ont pas apporté de repères de PHE supplémentaires.

Les données de PHE ont été collectées et synthétisées dans une base de données SIG.

Un bilan du nombre de PHE recensés pour chaque zone et chaque crue, fourni dans le tableau suivant, met en corrélation la quantité de PHE disponibles et les événements historiques les plus marquants pour chaque zone, identifiés en phase 1 :

	nombre de PHE recensés par crue			
	2005	1988	2002	2003
plaine amont	<b>9</b>	2	1	0
plaine centre	<b>95</b>	1	0	0
plaine aval	<b>31</b>	9	0	0
piémont Garrigues Est	<b>14</b>	9	6	0
piémont Garrigues Ouest	<b>32</b>	1	0	0
Haut Vistre	0	0	<b>7</b>	0
Rhône	4	<b>13</b>	0	0
Costières	<b>42</b>	0	2	<b>9</b>

## 2.2.2 Critique préalable des PHE

La base de données des repères de PHE a été complétée par une analyse critique préalable à la modélisation des écoulements :

- ▶ Repères de PHE qualifiés en ruissellement pluvial ou débordement de cours d'eau, suivant leur localisation dans le champ majeur des cours d'eau,
- ▶ Repères de PHE qualifiés de douteux, incertains ou validés suivant les informations disponibles lors de leur recensement et de leur analyse préalable :
  - Repère douteux : l'information est douteuse car le site n'est pas représentatif de l'écoulement principal (comme une cour intérieure par exemple),
  - Repère incertain : l'information n'est pas précise ou bien il y a un doute sur la représentativité du repère vis-à-vis de l'écoulement principal,
  - Repère validés provisoirement dans l'attente d'une analyse de la cohérence de la cote levée avec les modélisations hydrauliques calées.

Les repères estimés douteux n'ont pas été utilisés pour le calage des modèles.

## 2.2.3 Critique et validation postérieures aux modélisations hydrauliques

Après les phases de calage des modélisations hydrauliques présentées ci-après, tous les PHE du Vistre et de ses affluents modélisés ont ensuite été à nouveau examinés au regard des résultats des modèles calés, puis classés en fonction de leur représentativité des écoulements de crue en validés ou douteux.

Les données de PHE (incluant la validation) sont intégrées dans un SIG et leurs fiches descriptives (avec photo) font l'objet d'un lien « hotlink ».

## 2.3 LES AFFLUENTS

### 2.3.1 Description des modèles, résultats et commentaires

La modélisation des écoulements de crue des affluents a été réalisée à l'aide du logiciel ISIS en mode filaire et en régime permanent pour la plupart, à l'exception du secteur de Marguerittes-Saint Gervasy-Bezouze et d'Uchaud.

Les débits de pointe de référence calculés en phase 1 sont simulés. Des calculs intermédiaires entre 2 points de calculs hydrologiques ont pu être nécessaires afin de mieux répartir les injections de débits en cas d'apports diffus ; ils ont été généralement estimés avec la formule de Myers :  $Q1/Q2=(S1/S2)^{0.75}$  avec QN : débit au point N et SN : superficie du bassin versant au point N.

Les résultats détaillés sont fournis en annexe 1.

#### Condition limite aval pour la crue centennale des affluents du Vistre

Elle a été fixée à la cote normale de l'eau en limite des modèles ; en effet, les temps de réaction des affluents étant plus courts de celui du Vistre, la concomitance des pointes est peu probable.

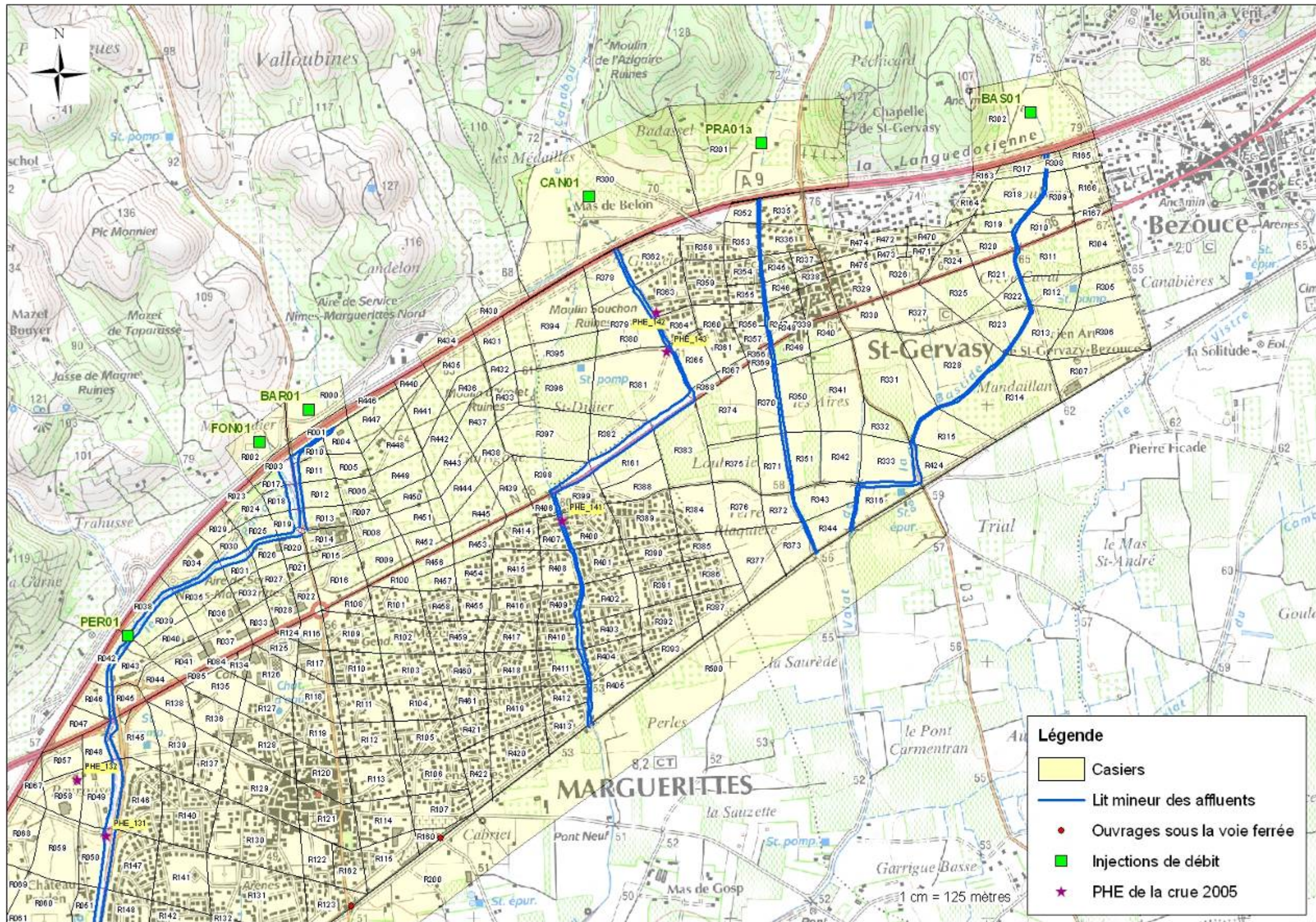
#### **2.3.1.1 Le Bastide, le Pradinas, le Canabou, le Bartadet, le Serre de la Font, le Perret, le Chivalas**

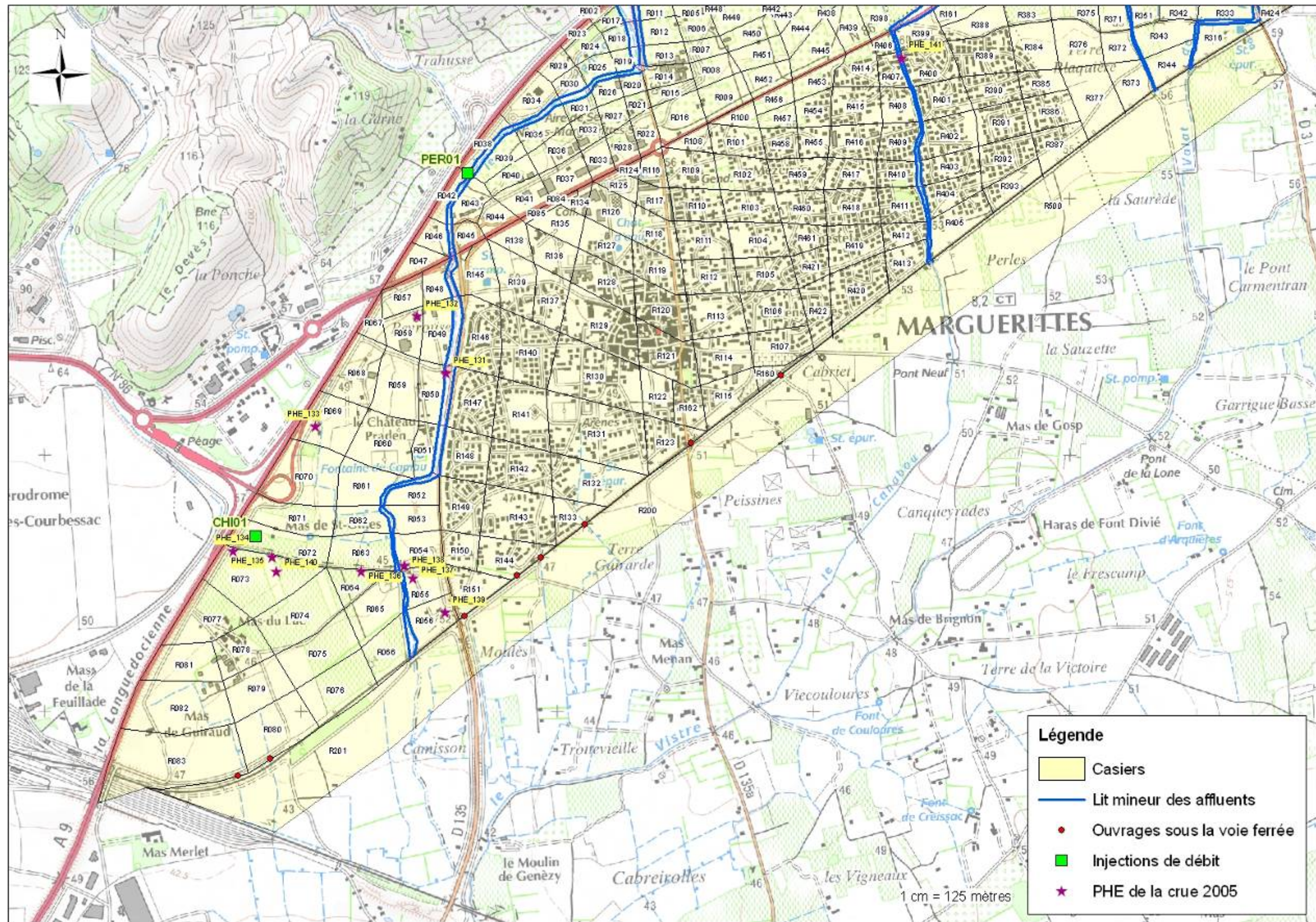
Les affluents en rive droite du Haut Vistre sur les communes de Bezouze, Saint-Gervasy et Marguerittes ont fait l'objet d'une modélisation pseudo-bidimensionnelle à casiers. En effet, sur les secteurs situés en aval de l'autoroute A9, la pente du lit majeur est transversale à celle du lit mineur, traduisant le caractère multidirectionnel des écoulements en cas de débordements des cours d'eau.

Un modèle mixte casiers/lits mineurs a donc été construit, intégrant les champs d'inondation et les lits mineurs des ruisseaux : Bastide, Pradinas, Canabou, Bartadet, Serre de la Font, Perret, Chivalas ».

Les simulations ont été effectuées en régime transitoire et retraduisent les phénomènes de stockage, notamment ceux identifiés à l'amont de l'autoroute.

Les cartes pages suivantes présentent la structure du modèle à casiers. On y a fait apparaître les lits mineurs des affluents, la structure des casiers, les ouvrages sous la voie ferrée qui constituent les sorties du modèle, les zones d'injection des débits amont, et les PHE de la crue 2005 qui a servi pour le calage du modèle.



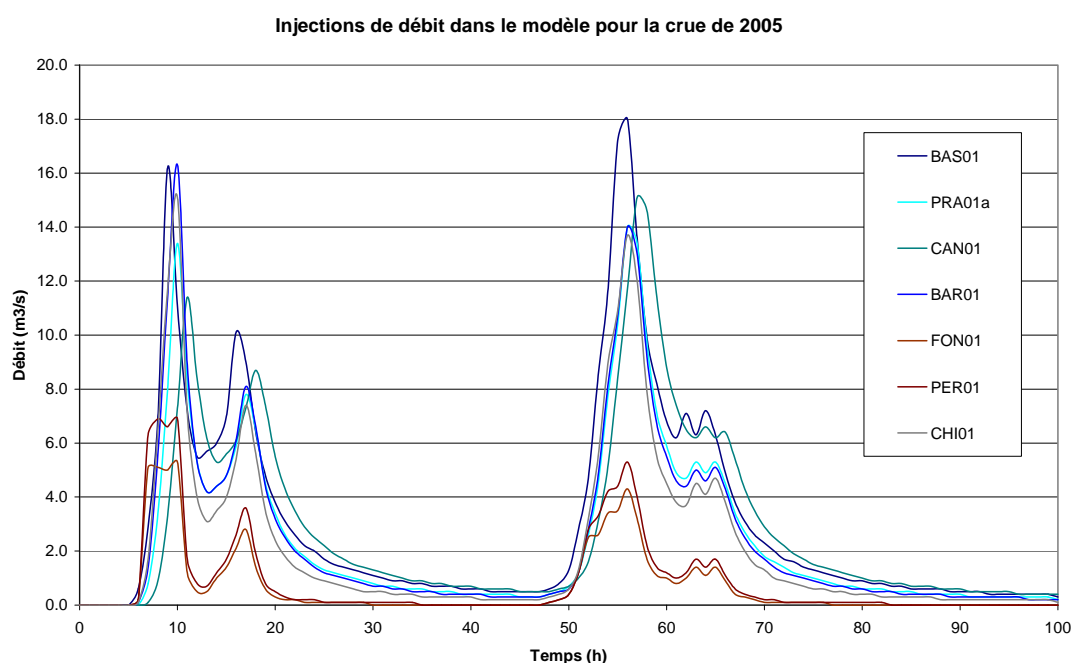


## Calage du modèle avec la crue 2005

### Conditions limites amont

Les hydrogrammes issus des calculs hydrologiques sont injectés dans le modèle, à l'amont de l'autoroute A9 lorsqu'elle est en remblai, ce qui permet d'intégrer les éventuels effets de stockage.

Le graphique et le tableau ci-après présentent les hydrogrammes injectés dans le modèle et les débits de pointe correspondant (les apports intermédiaires ayant également été injectés sous forme d'hydrogrammes au prorata des superficies de bassin versant).



Nom de l'affluent	Nom de l'injection	Débit max (m <sup>3</sup> /s)
Le Bastide	BAS01	18
Le Pradinas	PRA01a	14
Le Canabou	CAN01	15.1
Le Bartadet	BAR01	16.3
Le Serre de la Font	FON01	5.3
Le Perret	PER01	6.9
Le Chivalas	CHI01	15.1

### Conditions limites aval

Les conditions limite aval sont les cotes de la crue de 2005 du modèle « plaine » du Vistre.

## Analyse des PHE

Lors de la crue 2005, treize PHE ont été recensées sur la zone de Marguerittes et Saint Gervazy. Parmi ces 13 PHE :

- ▶ Six d'entre elles ne sont pas utilisables pour caler notre modèle. Il s'agit de PHE levées sur des secteurs concernés par le ruissellement pluvial,
- ▶ Trois d'entre elles ont été jugées douteuses et sont gardées dans l'analyse à titre qualitatif (commentaires dans le tableau)
- ▶ Une PHE n'est pas cotée, mais comporte un commentaire intéressant : « l'eau n'est pas entrée dans la maison mais tout autour était inondé »

Affluent ou lieu de la PHE	Identifiant PHE	Cote de la PHE observée	Critique de la PHE	Cote calculée	Ecart entre cote calculée et cote observée	Commentaires
Bartadet	PHE_131	47.73	validé	47.73	0.00	
Bartadet	PHE_137	45.18	validé	45.12	-0.05	
Bartadet	PHE_138	45.41	validé	45.38	-0.03	
Bartadet	PHE_139	0.00	qualitatif	/	/	Cote PHE nulle, commentaire intéressant
Canabou	PHE_141	58.80	qualitatif	/	/	Témoignage contradictoire
Canabou	PHE_142	63.75	qualitatif	/	/	Nivellement incohérent avec l'observation
Canabou	PHE_143	62.90	qualitatif	/	/	Nivellement incohérent avec l'observation

Le calage est considéré correct compte tenu des informations disponibles.

## Résultats obtenus sur la crue 2005

Les résultats de la simulation de la crue 2005 sont illustrés sur les cartes suivantes et commentés ci-après.

Au Nord des communes, au droit des injections de débit dans le modèle, l'autoroute A9 en remblai peut définir une zone de stockage importante à l'amont susceptible d'écarter les crues. Le comportement de l'A9 vis-à-vis des écoulements est de 3 types :

- ▶ L'autoroute est transparente aux écoulements (l'ouvrage permet de transiter tout le débit)
- ▶ L'autoroute écrête les hydrogrammes, une partie est stockée à l'amont de celle-ci
- ▶ L'autoroute écrête les hydrogrammes mais une partie du débit déverse par-dessus celle-ci

Le tableau suivant permet de comprendre le fonctionnement hydraulique de l'A9 aux différents points d'injections :

Nom de l'injection	Débit de pointe de l'hydrogramme injecté (m <sup>3</sup> /s)	Débit qui transite dans le lit mineur par l'ouvrage sous l'A9	Débit qui déverse par-dessus l'A9
BAS01	18	17	0
PRA01a	14	11	3
CAN01	15.1	15	0
BAR01	16.3	6	10
FON01	5.3	1	4

Au Sud des communes, en sortie du modèle, la voie ferrée en remblai se comporte également comme un obstacle aux écoulements. Des débordements par-dessus la voie ferrée ont lieu en différents endroits :

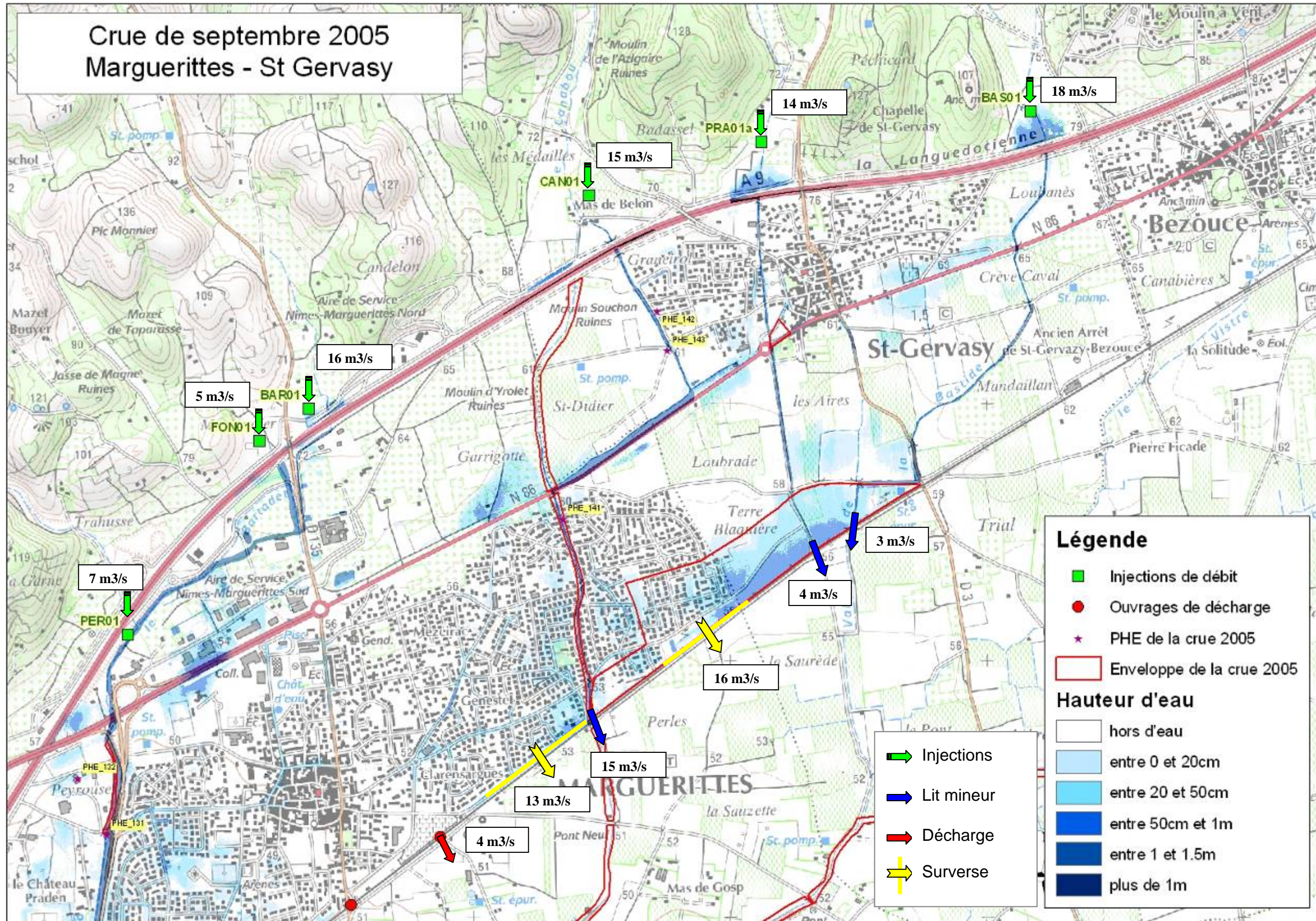
- ▶ 16 m<sup>3</sup>/s déversent au niveau de Terre Blaquière, au droit des lotissements les plus à l'Est de Marguerittes
- ▶ 13 m<sup>3</sup>/s déversent par-dessus la voie ferrée en rive droite du Canabou,
- ▶ Un léger débordement de 2 m<sup>3</sup>/s se produit en rive droite du Bartadet, dans le secteur de Mas de Guiraud.

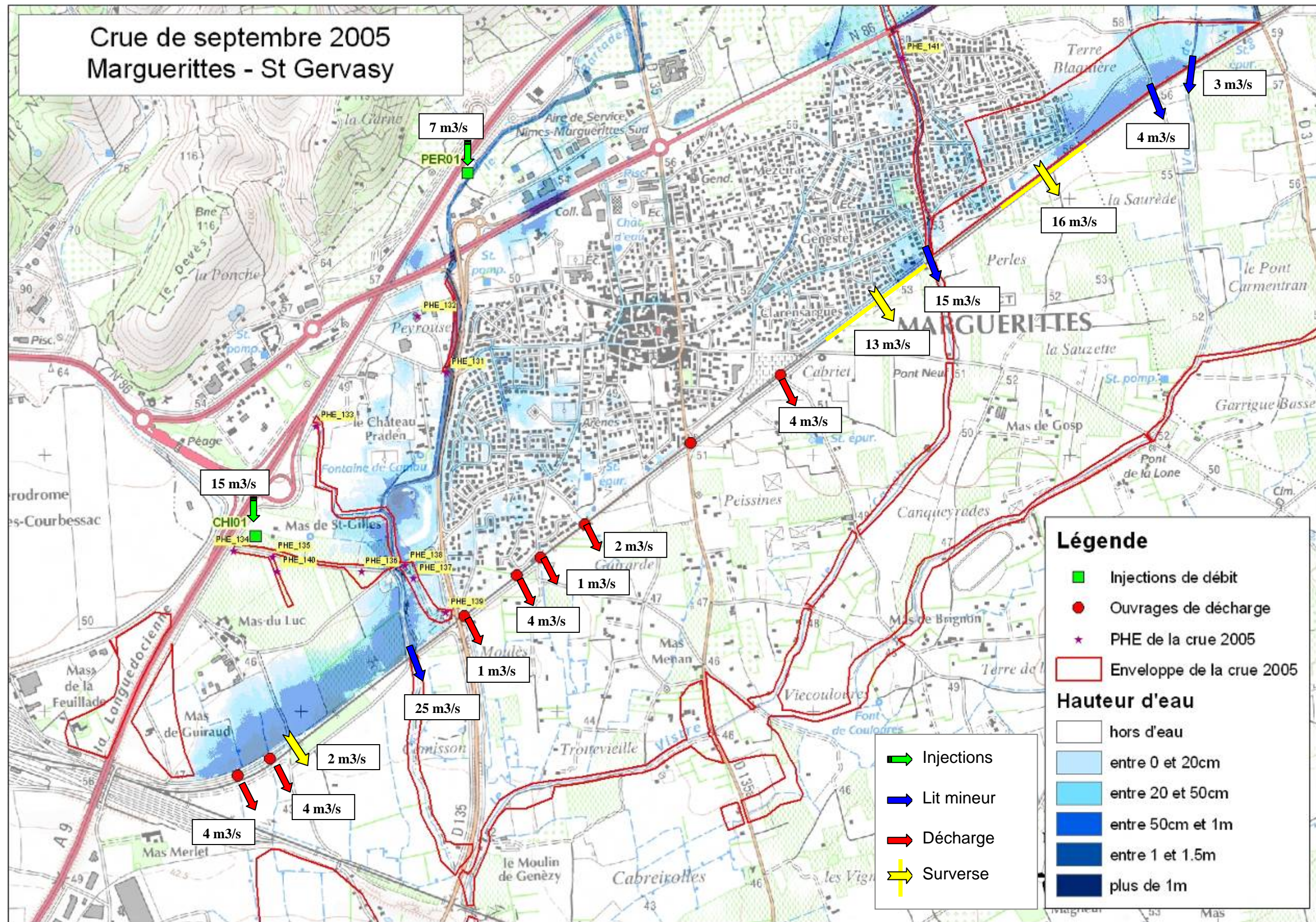
A St Gervasy et à Marguerittes, le Bastide, le Pradinas et le Canabou présentent des zones d'accumulation le long de la RN86, en direction de l'Ouest, qui sont décrites dans les témoignages recueillis lors des enquêtes de terrain.

Au niveau de Terre Blaquière, au droit des lotissements à l'amont de la voie ferrée, à l'Est de Marguerittes, on peut observer la bonne cohérence entre la zone inondable obtenue et l'enveloppe de la crue 2005 observée.

La zone d'activités au Nord de Marguerittes reçoit les débordements du Bartadet qui surverse sur l'autoroute ; l'eau vient s'accumuler sur la RN86 et transite vers l'aval au droit des stades.





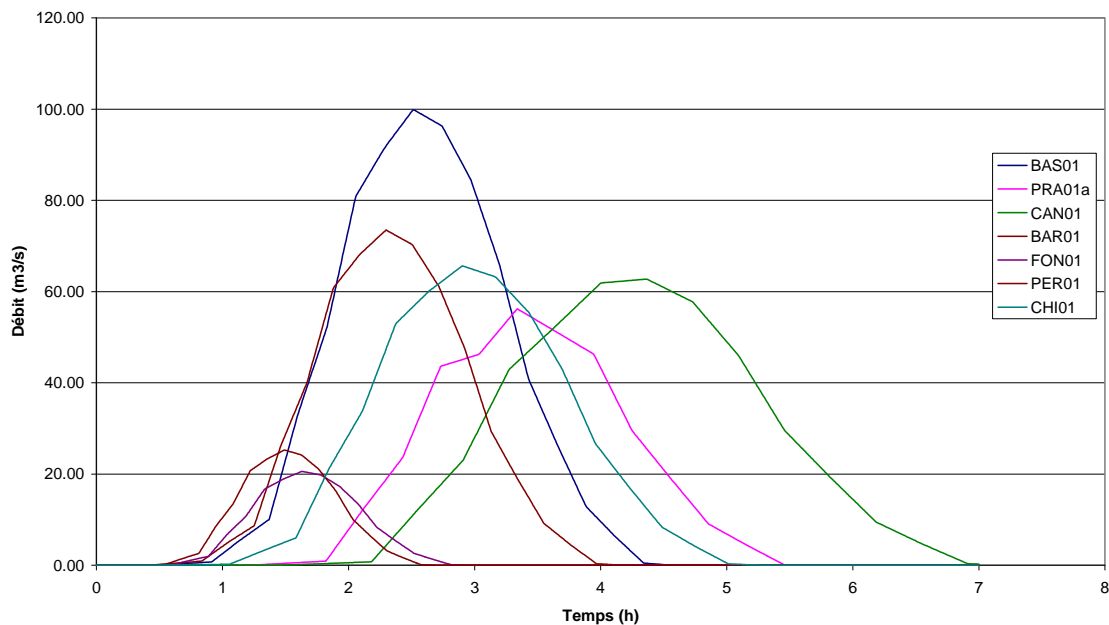


## Crue centennale

### Conditions limites amont

Le graphique et le tableau ci-après présentent les hydrogrammes injectés dans le modèle et les débits de pointe correspondant (les apports intermédiaires ayant également été injectés sous forme d'hydrogrammes au prorata des superficies de bassin versant).

Injections de débit dans le modèle pour la crue centennale



Nom de l'affluent	Nom de l'injection	Débit max (m <sup>3</sup> /s)
Le Bastide	BAS01	99.8
Le Pradinas	PRA01a	56
Le Canabou	CAN01	63
Le Bartadet	BAR01	73.5
Le Serre de la Font	FON01	20.6
Le Perret	PER01	25.2
Le Chivalas	CHI01	65.6

### Conditions limites aval

Les conditions limite aval sont les cotes de la crue centennale du modèle « plaine » du Vistre. Les tests de sensibilité ont montré que la variation de la condition aval entre la crue centennale du Vistre et la cote normale des lits mineurs, était très peu impactante sur les écoulements du modèle.

### Résultats sur la crue centennale

Les résultats de la crue centennale sont illustrés sur les cartes pages suivantes et commentés ci-après.

Par rapport à la crue de septembre 2005, la crue centennale accentue fortement les phénomènes observés, et génère notamment des écoulements en nappe, plus ou moins concentrés dans les rues, à la traversée des zones urbanisées.

Le tableau suivant permet de comprendre le rôle écrêteur de l'A9 aux différents points d'injections :

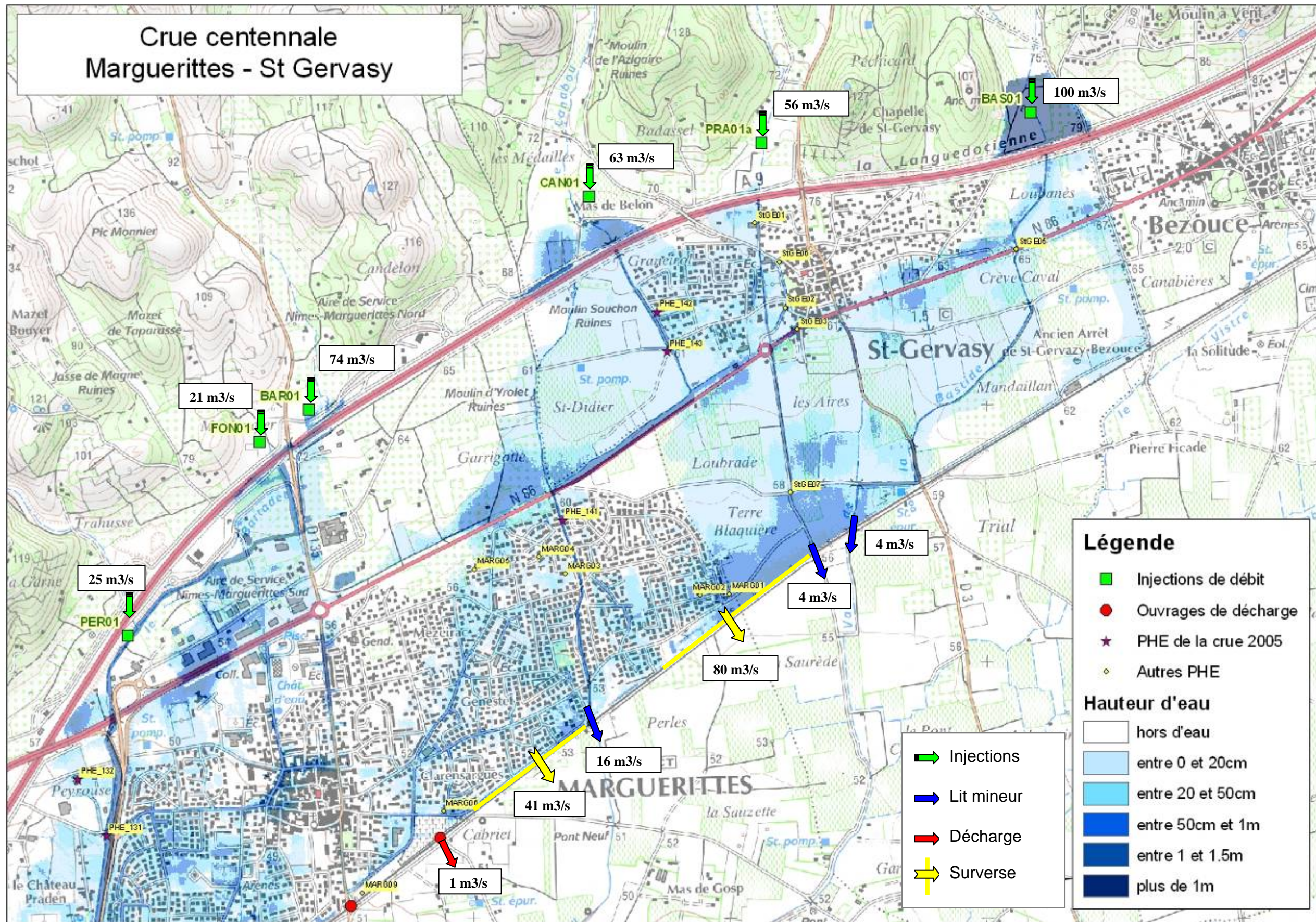
Nom de l'injection	Débit de pointe de l'hydrogramme injecté (m <sup>3</sup> /s)	Débit qui transite dans le lit mineur par l'ouvrage sous l'A9	Débit qui déverse par-dessus l'A9
BAS01	100	61	0
PRA01a	56	5	51
CAN01	63	34	28
BAR01	74	6	68
FON01	21	1	20

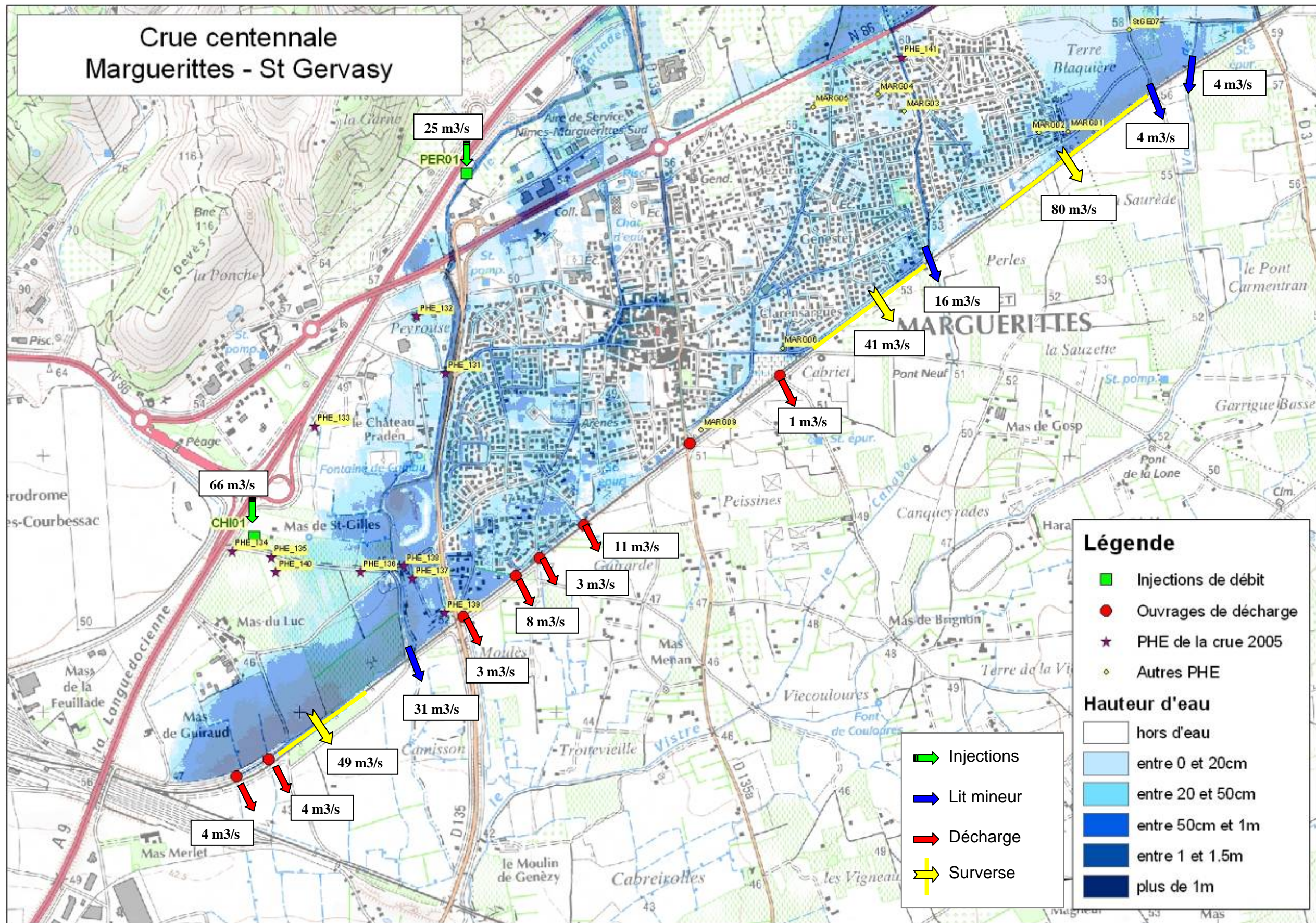
On peut noter que le Bastide est fortement écrêté par l'A9 car il n'y a aucun débordement par-dessus l'autoroute sur cette zone.

Les déversements sur l'autoroute sont très importants et leur répartition sur les casiers aval a été retraduite à un niveau de précision compatible avec les objectifs du PPRi, mais les facteurs impactant sont nombreux : configuration de la plate forme autoroutière (réseau pluvial, présence de nombreux obstacles structurants type GBA, ...).

Les débordements à l'aval par-dessus la voie ferrée sont plus importants :

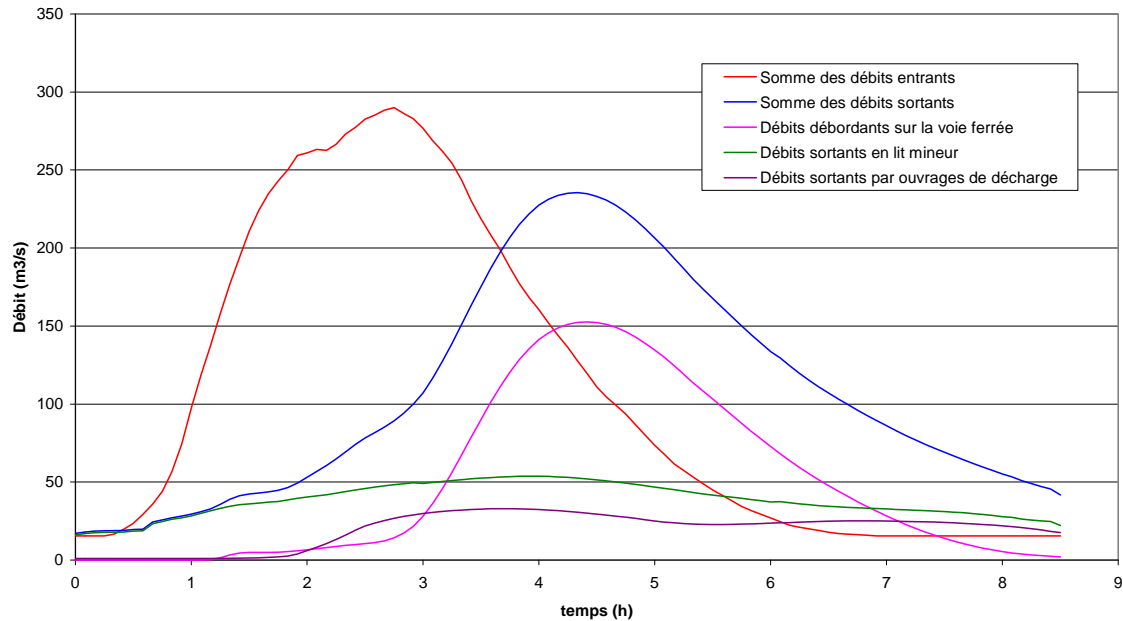
- ▶ 80 m<sup>3</sup>/s déversent au niveau de Terre Blaquièrè,
- ▶ 41 m<sup>3</sup>/s déversent en rive droite du Canabou
- ▶ 49 m<sup>3</sup>/s déversent en rive droite du Bartadet.





## Analyse de l'amortissement de la crue centennale entre l'A9 et la voie ferrée

Bilan des débits entrants et sortants du modèle de Marguerittes



L'analyse des débits donne la répartition suivante :

Débit calculé	Q (m <sup>3</sup> /s)
Total débits entrants	290
Total débits sortants, dont :	236
- Débits sortants en lit mineur	54
- Débits sortants par ouvrages de décharge	33
- Débits débordant sur la voie ferrée	153

L'amortissement de la pointe de la crue centennale entre l'A9 et la voie ferrée est d'environ 20%.

### Analyse de la cohérence avec les autres PHE

Sur le secteur modélisé, treize PHE ont été recensées lors des crues de 1988 et 2002. Elles sont visibles sur les cartes précédentes de la zone inondable de la crue centennale. Ces 13 PHE ont été analysées pour vérifier la cohérence avec la crue centennale. Toutes s'avèrent cohérentes, sauf la PHE « MARG09 » à cause d'un positionnement géographique erroné.

CRUE	Affluent ou lieu de la PHE	Identifiant PHE	Commentaire
1988	Canabou	MARG03	cohérence avec centennale
1988	Canabou	MARG04	cohérence avec centennale
1988	Canabou	MARG05	cohérence avec centennale
1988	Canabou	MARG06	cohérence avec centennale
1988	Le Canabou	MARG09	PHE de 1988 1 m plus haute que la centennale, car retraduisant les ruissellements provenant du centre du village
1988	Le Goujac	StGE01	cohérence avec centennale
1988	Le Goujac	StGE06	cohérence avec centennale
2002	Le Goujac	MARG01	cohérence avec centennale
2002	Le Goujac	MARG02	cohérence avec centennale
2002	Le Goujac	StGE02	pas de fiche de PHE - cohérent
2002	Le Goujac	StGE03	cohérence avec centennale
2002	Le Goujac	StGE07	pas de fiche de PHE - cohérent
2002 et 2005	Fossé de la Bastide	StGE05	pas de fiche de PHE - cohérent

La PHE MARG09 de 1988, située 1 m plus haut que la crue centennale, correspond à des phénomènes de ruissellement pluvial qui se rajoutent aux débordements du Bartadet et du Canabou et qui ne sont pas retraduits par le modèle. En ce qui concerne la capacité d'évacuation de l'ouvrage sous la voie ferrée au droit de ce repère, elle est très faible car il s'agit d'un passage routier en "trémie" ou "siphon" et elle peut être négligée compte tenu des faibles débits arrivant sur cette zone dans le modèle (l'eau remplit le point bas sans passer sur la route plus haute située à l'aval). Si la cote est plus haute d'1 m, alors l'eau peut passer sur la route à l'aval, mais pas sur la départementale, seulement sur la voie communale longeant la voie ferrée. Les débits qui passent par le siphon sont alors très faibles et pris en charge par le réseau de fossés routiers existants dans le secteur sans que les désordres ne puissent être considérés comme du débordement de cours d'eau.



### **2.3.1.2 Le Gara de Paille**

Le modèle filaire du Gara de Paille (affluent en rive gauche du Vistre) s'étend sur la commune de Bouillargues depuis 200 m en amont de la RD346 jusqu'au CD135 (limite modèle « plaine »), soit un linéaire d'environ 1800 m.

La condition aval retenue au droit du CD135 est une condition de cote normale.

Le ruisseau du Gara de Paille draine et longe la partie Ouest du centre-bourg de Bouillargues.

Pour la crue centennale, le débit de pointe atteint 19 m<sup>3</sup>/s en sortie du centre urbain et 34 m<sup>3</sup>/s au droit du CD135. Sur l'amont (centre urbain), le cours d'eau est entièrement artificialisé et ne déborde quasiment pas du fait de son large dimensionnement. Sur l'aval, le cours d'eau retrouve son thalweg naturel avec une configuration de lit mineur en toit et on observe un débordement marqué une centaine de mètres en amont de la RD257 jusqu'au CD135 au niveau du lieu-dit « Gara de Paille ».

Aucune PHE n'a été recensée dans le secteur lors des dernières fortes pluies (2002 et 2005). Les limites de la crue 2005 observée montrent des zones inondées plus importantes que celles obtenues par le modèle en rive gauche. Ces observations retraduisent peut être des phénomènes de ruissellement pluvial difficiles à différencier sur le terrain des débordements directs du cours d'eau.

### **2.3.1.3 Le Grand Michel**

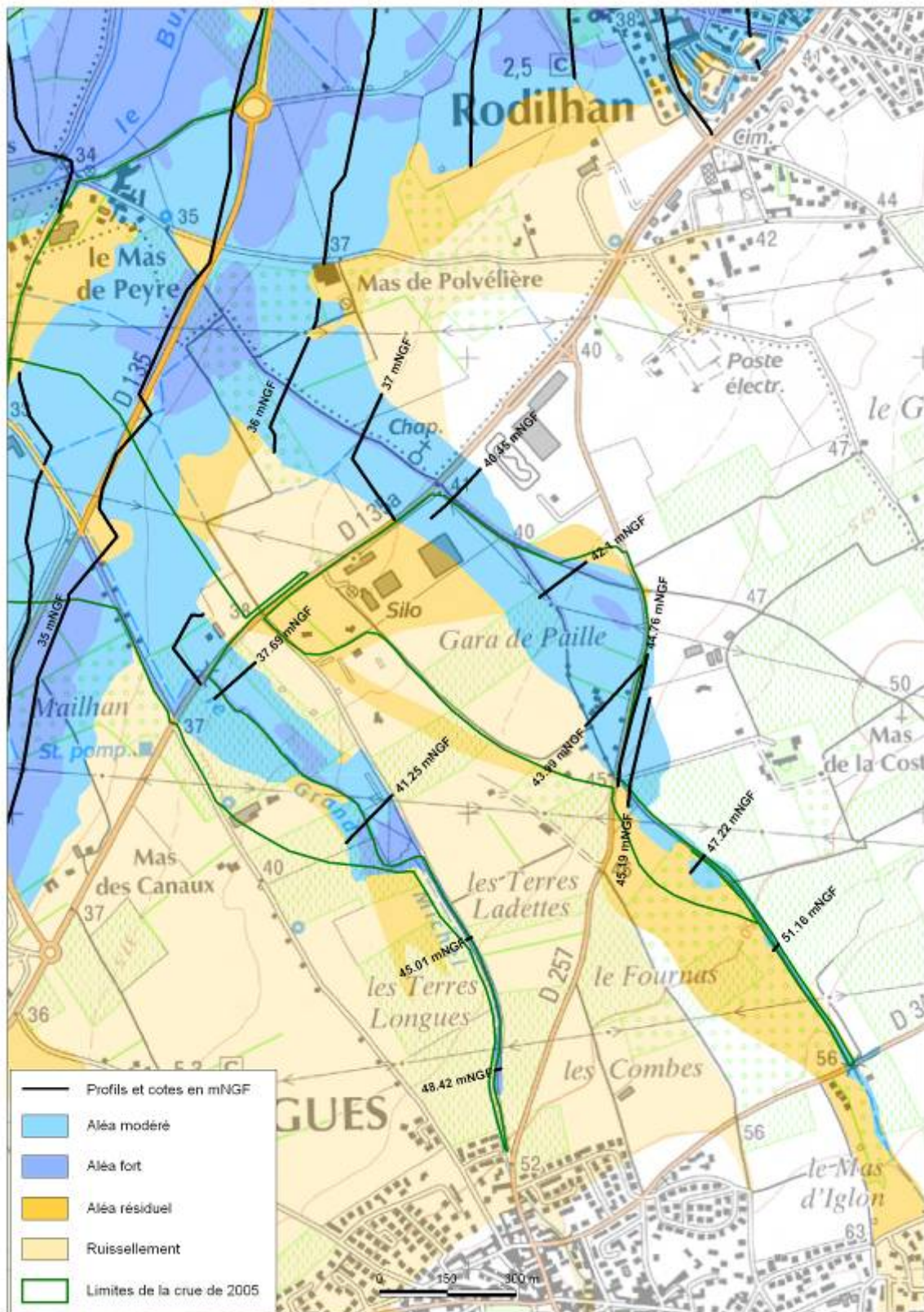
Le modèle filaire du Grand Michel (affluent en rive gauche du Vistre) s'étend sur la commune de Bouillargues depuis 150 m en amont de la RD257 jusqu'au CD135 (limite modèle « plaine »), soit un linéaire d'environ 1300 m.

La condition aval retenue au droit du CD135 est une condition de cote normale.

Le ruisseau du Grand Michel draine le centre-bourg de Bouillargues.

Pour la crue centennale, le débit de pointe atteint 22 m<sup>3</sup>/s en sortie du centre urbain et 36 m<sup>3</sup>/s au droit du CD135. Sur l'aval du centre urbain, le cours d'eau retrouve son thalweg naturel avec une configuration de lit mineur en toit et on observe un débordement marqué sur les 500 m en amont du CD135 à l'aval du lieu-dit « Terres Ladettes ».

Aucune PHE n'a été recensée dans le secteur lors des dernières fortes pluies (2002 et 2005). Les limites de la crue 2005 observée montrent des zones inondées plus importantes que celles obtenues par le modèle en rive gauche. Ces observations retraduisent peut être des phénomènes de ruissellement pluvial difficiles à différencier sur le terrain des débordements directs du cours d'eau.



### **2.3.1.4 Le Campagne**

Le modèle filaire du ruisseau de Campagne (affluent en rive gauche du Vistre) s'étend sur la commune de Nîmes depuis 1200 m en amont du canal de Campagne jusqu'à la Combe de la Tuilerie, soit un linéaire d'environ 2100 m.

En aval de la Combe de la Tuilerie, le thalweg a une configuration de lit en toit. Cette zone présente un fonctionnement hydraulique complexe, caractérisé par des écoulements diffus et des limites de bassin versant floues ; ce fonctionnement est dû à la faiblesse des pentes, aux aménagements agricoles, et à l'absence d'axes d'écoulement marqués de type voiries ou fossés : un ruissellement en nappe se met en place cartographié par l'approche hydrogéomorphologique. Dans ce secteur, l'approche par une modélisation filaire n'est pas adaptée et il n'a pas été possible de définir de cotes de référence.

La condition aval retenue est une condition de cote normale.

Pour la crue centennale, le débit de pointe atteint 32 m<sup>3</sup>/s au niveau du Parc de Saint-Cloud, 43 m<sup>3</sup>/s au droit du canal de Campagne et 59 m<sup>3</sup>/s à l'exutoire de la Combe de la Tuilerie où l'on observe les débordements les plus marqués.

Aucune PHE ni limite de crue observée n'est disponible dans le secteur.



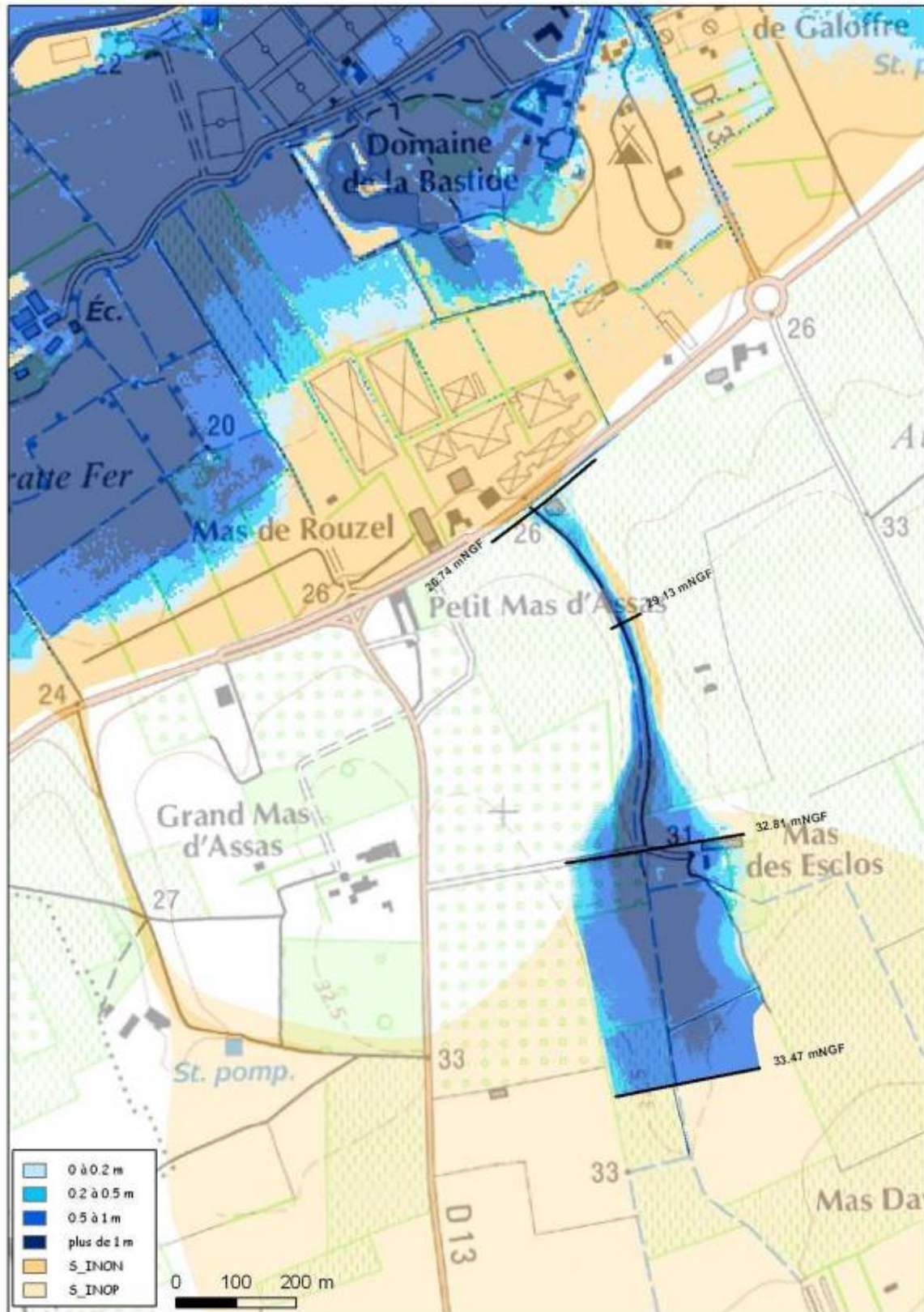
### **2.3.1.5 Le Valdebane**

Le modèle filaire du Valdebane (affluent en rive gauche du Vistre) s'étend sur la commune de Nîmes sur un linéaire d'environ 1000 m à l'amont du CD135.

Sur l'amont du bassin (amont de la zone modélisée), le thalweg a une configuration de lit en toit. Cette zone présente un fonctionnement hydraulique complexe, caractérisé par des écoulements diffus et donne lieu à un écoulement en nappe cartographié par l'approche hydrogéomorphologique. Dans ce secteur, il n'a pas été possible de définir de cotes de référence.

Sur la partie aval (zone modélisée), dans le secteur du lieu-dit « Mas des Esclots », on distingue une zone de concentration des eaux de ruissellement. Pour la crue centennale, le débit de pointe potentiel atteint  $69 \text{ m}^3/\text{s}$  au droit du CD135. Les débordements sont importants, puis s'estompent vers l'aval (lieu-dit « Petit Mas d'Assas ») du fait que le thalweg retrouve une configuration avec une combe très marquée. La condition aval retenue est une condition de cote normale.

Aucune PHE ni limite de crue observée n'est disponible dans le secteur.

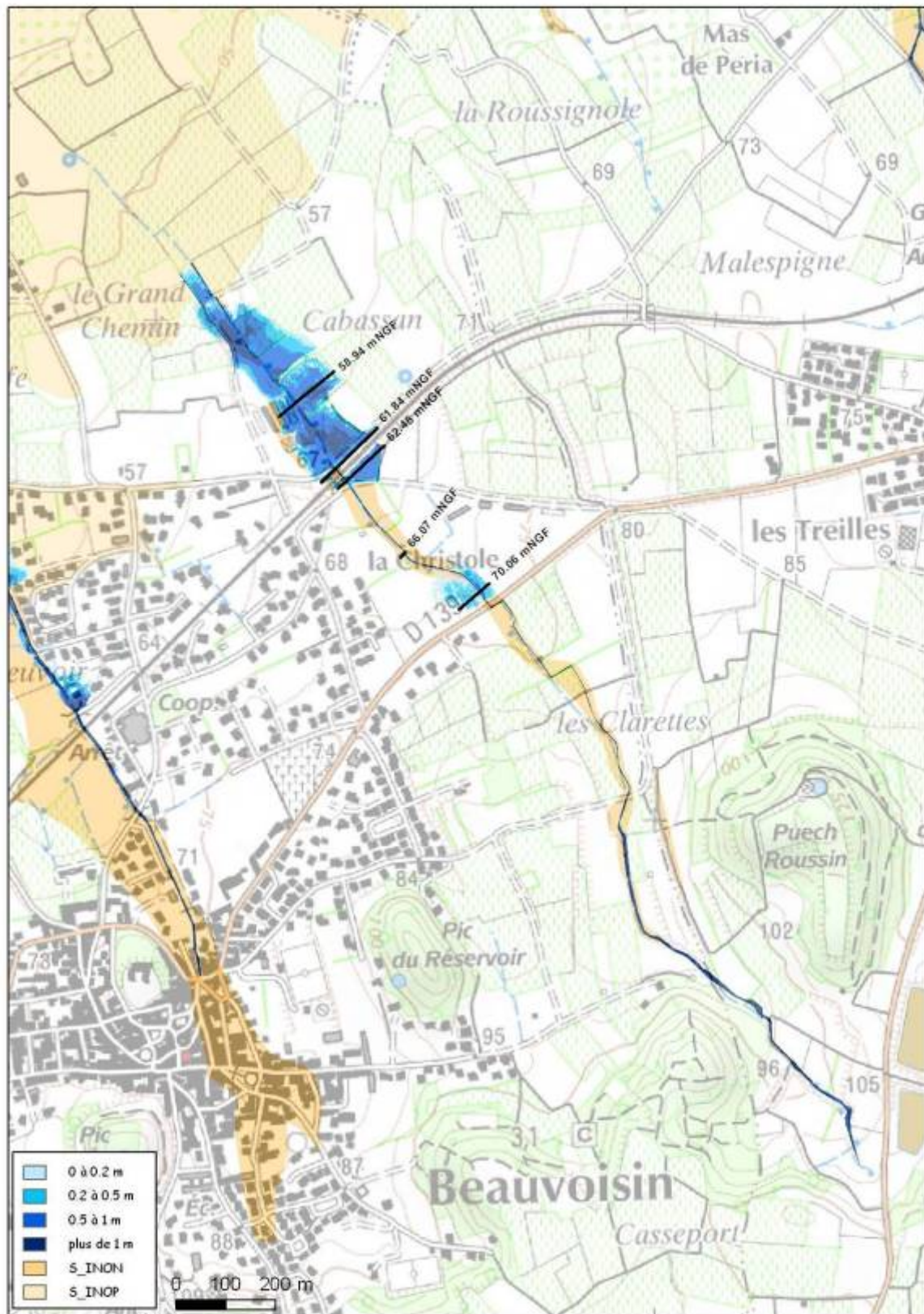


### **2.3.1.6 Le Cabassan**

Le Cabassan (affluent en rive gauche du Vistre) prend sa source sur la commune de Beauvoisin avec un thalweg très marqué qui se perd en aval sur la commune d'Aubord pour rejoindre la plaine du Vistre par un écoulement en nappe.

Sur la partie amont du cours d'eau, sur la commune de Beauvoisin (secteur avec thalweg marqué), un modèle filaire a été mis en place et s'étend sur un linéaire de 900 m environ. Sur ce secteur, les débordements principaux sont constatés entre la voie SNCF et le lieu-dit « Le Grand Chemin » pour un débit de pointe centennal au droit de la voie SNCF estimé à 24 m<sup>3</sup>/s. On ne dispose pas de PHE ni de limite de crue observée sur ce secteur.

La partie aval du cours d'eau a été traitée dans le cadre de l'étude du schéma d'aménagement hydraulique de protection des zones habitées contre les inondations des communes d'Aubord et de Générac (BRLi, 2010). Un modèle 2D a été mis en place sur la zone d'écoulement en nappe afin d'appréhender au mieux l'organisation des écoulements sur le secteur et un modèle à casiers a été mis en place sur le centre urbain d'Aubord où les écoulements en provenance du Cabassan se mêlent aux débordements en rive gauche du Rieu. Ces deux modèles ont été calés sur les PHE disponibles sur le secteur. Les résultats sont présentés au paragraphe 2.3.2.





### 2.3.1.7 Le Gour et l'Arriasse

Le modèle filaire du Gour et de son affluent en rive droite l'Arriasse (affluent en rive gauche du Vistre) sur la commune de Beauvoisin s'étend sur un linéaire d'environ 2700 m depuis le centre-bourg de Beauvoisin (quelques centaines de mètres en amont de la voie SNCF) jusqu'à la confluence entre les deux cours d'eau.

Les débits de pointe centennaux du Gour et de l'Arriasse sont respectivement de 40 et 35 m<sup>3</sup>/s à la voie SNCF ; 53 et 38 m<sup>3</sup>/s à l'amont immédiat de la confluence.

La condition aval retenue est une condition de cote normale.

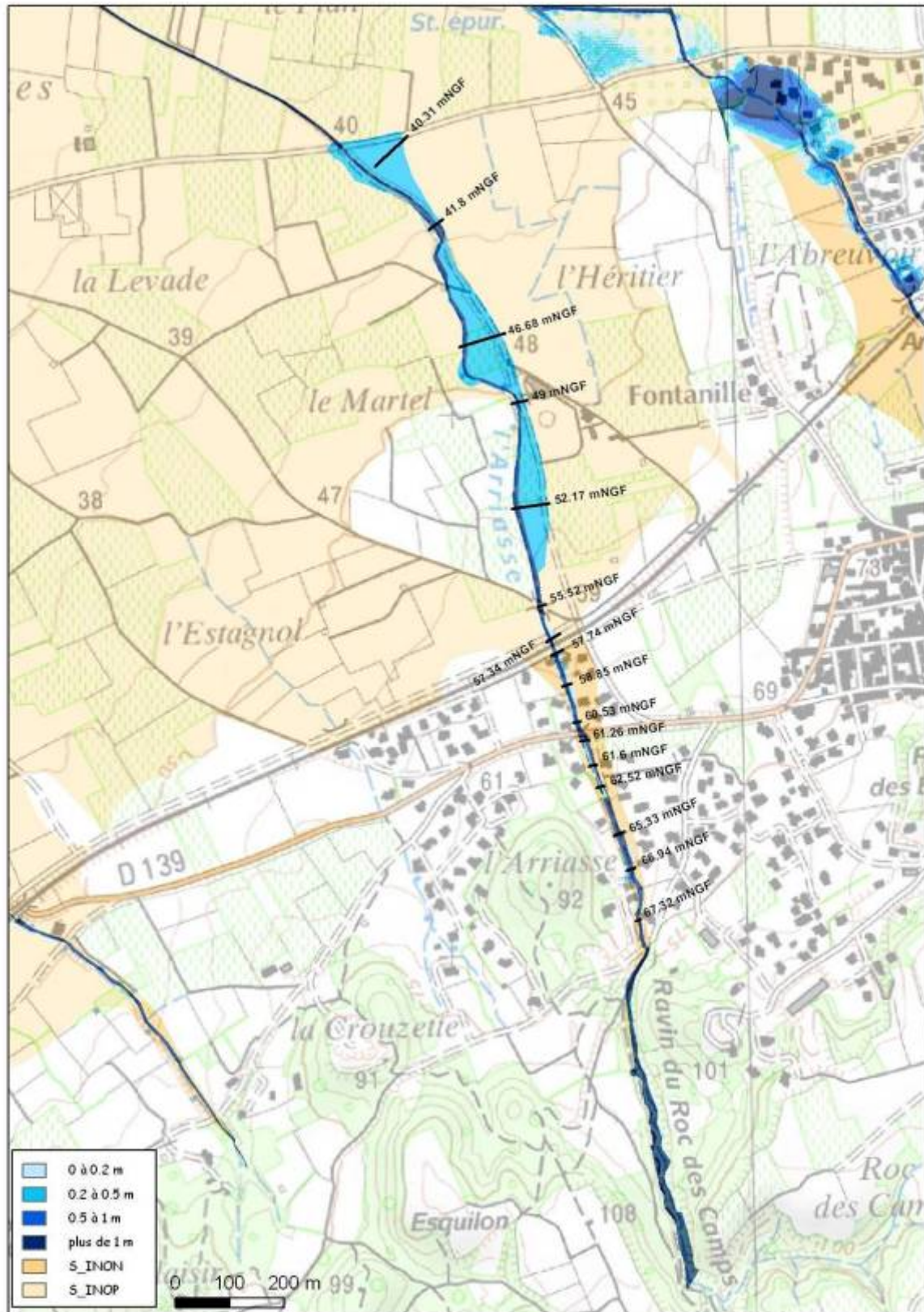
Aucune PHE ni limite de crue observée ne sont disponibles dans le secteur modélisé.

A l'amont de la voie SNCF, l'étendue de la zone inondable n'excède pas 10 m de large, les écoulements se trouvant contenus dans les chemins adjacents (chemin « creux »).

A l'aval de la voie SNCF, concernant l'Arriasse, les débordements sont conséquents en rive droite dans le secteur faisant face au lieu-dit « Les Martels » mais avec des hauteurs d'eau n'excédant pas 20 cm sauf sur le chemin communal (chemin « creux »). Concernant le Gour, des débordements sont également constatés en rive droite et en rive gauche avec des hauteurs d'eau supérieures à 1 m dans le secteur entre les lieux-dits « La Baffe » au Nord et « L'Abreuvoir » au Sud.

En aval de la confluence, le thalweg a une configuration de lit en toit. Cette zone présente un fonctionnement hydraulique complexe, caractérisé par des écoulements diffus et des limites de bassin versant floues ; ce fonctionnement est du à la faiblesse des pentes, aux aménagements agricoles, et à l'absence d'axes d'écoulement marqués de type voiries ou fossés : un ruissellement en nappe se met en place cartographié par l'approche hydrogéomorphologique. Dans ce secteur, il n'a pas été possible de définir de cotes de référence.



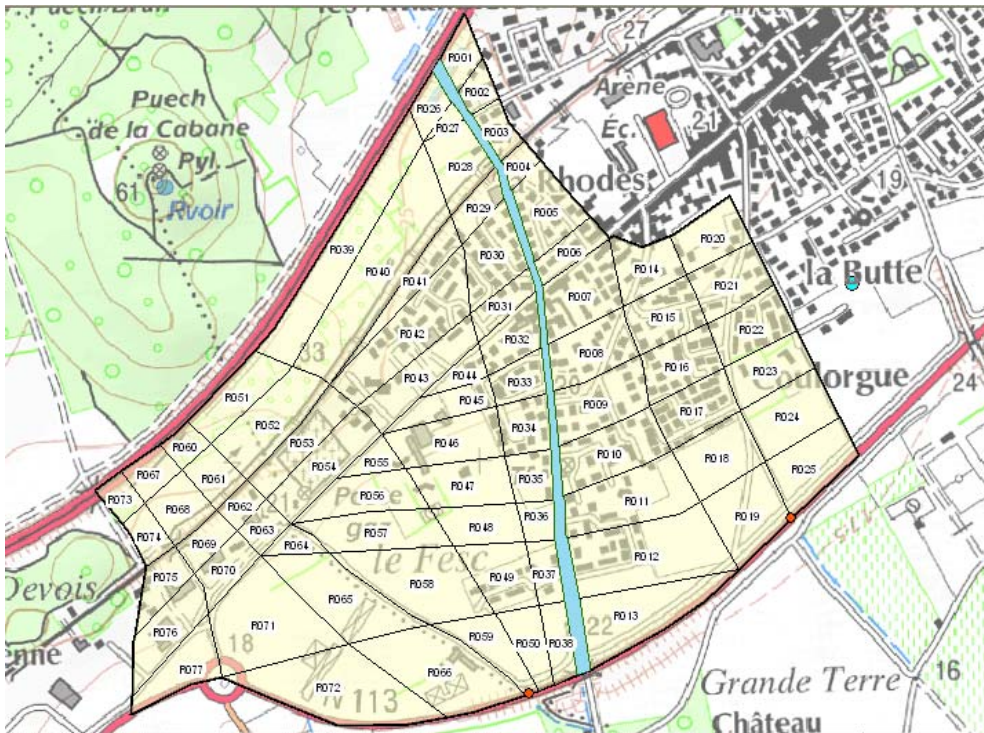


### 2.3.1.8 Le Rézil

Pour la modélisation du Rézil sur la commune d'Uchaud, un modèle mixte casiers/lit mineur filaire a été construit, intégrant les champs d'inondation et le lit mineur du ruisseau du Rézil.

Les simulations ont été effectuées en régime transitoire et retraduisent les phénomènes de stockage, notamment ceux identifiés à l'amont de l'autoroute.

Le modèle du Rézil s'étend depuis l'A9 jusqu'à la RN86 (limite du modèle « plaine du Vistre »), soit un linéaire d'environ 1100 m.

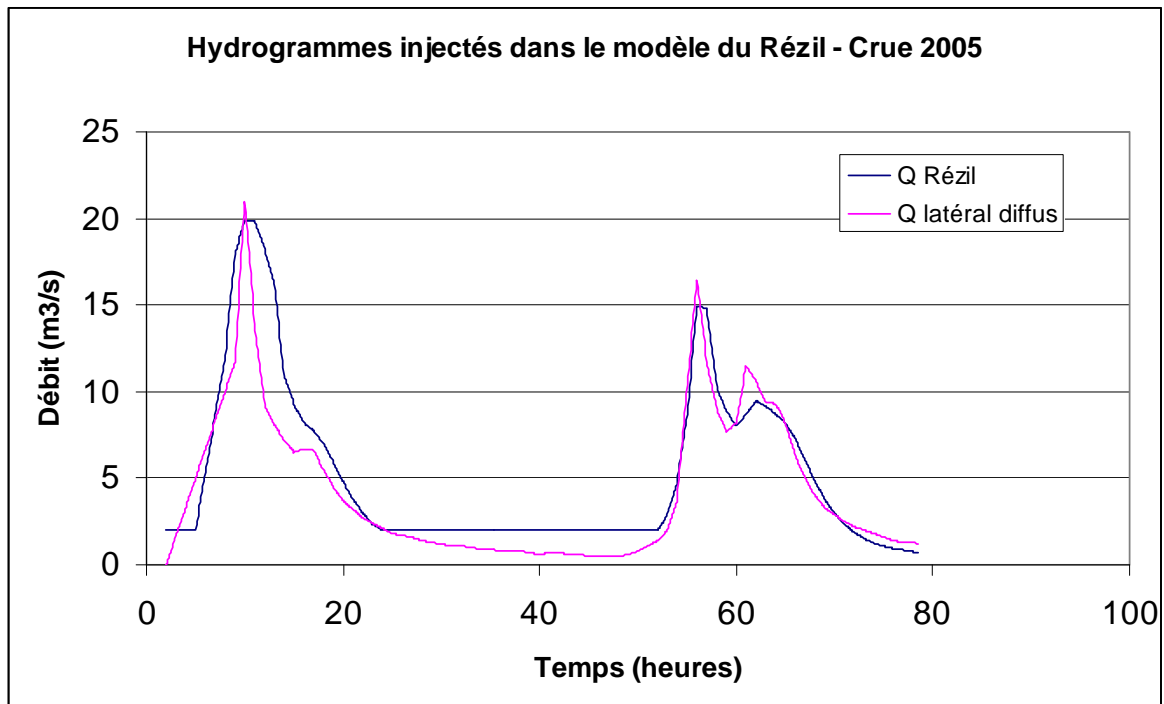


Calage sur la crue 2005

#### Condition limite amont

Les écoulements sont interceptés par l'autoroute A9, dont la configuration en remblai représente un obstacle important vis-à-vis des écoulements. L'ouvrage de franchissement est une buse-arche de 3,8 m<sup>2</sup> de section. L'écrêtement du au stockage des eaux à l'amont de la buse a été estimé :

- ▶ Le volume de rétention estimé d'après la topographie LIDAR est de 400 000 m<sup>3</sup> environ avant déversement sur la voie,
- ▶ Le débit centennal est écrêté de 92 m<sup>3</sup>/s à 23 m<sup>3</sup>/s, soit un taux d'écrêtement de la crue centennale de 75%. Cette atténuation est suffisamment significative pour être prise en considération, d'autant que le risque d'obturation du passage sous voie, compte tenu de ses dimensions, est relativement faible. Pour la crue 2005, l'écrêtement est de 34 à 20 m<sup>3</sup>/s.



### Condition limite aval

La condition aval retenue est une condition de cote normale.

Deux ouvrages de décharge sous la RN113 sont modélisés avec une cote normale comme condition aval. Par ailleurs, le modèle permet les débordements par-dessus la RN113, en faisant l'hypothèse qu'en cas de débordements, la route fonctionnerait comme un seuil dénoyé.

### Analyse des PHE

Plusieurs PHE ont été recensées sur le secteur lors de l'évènement de septembre 2005 et ont permis le calage du modèle. Le tableau ci-dessous présente les écarts entre les PHE observées et les PHE issues des simulations hydrauliques au droit des profils en travers.

PHE	Profil	Cote observée [mNGF]	Cote simulée [mNFG]	Ecart simulée / observée (m)	Commentaires
PHE_089	Z015am	24.50	24.47	-0.03	
PHE_090	Z012am	22.08	21.90	-0.18	
PHE_095	Z010am	19.27	19.47	0.20	
UCHA02	Z007am	18.85 17.41	17.94	-0.91 +0.53	PHE considérée douteuse corrigée par le SMBVV, mais approximative

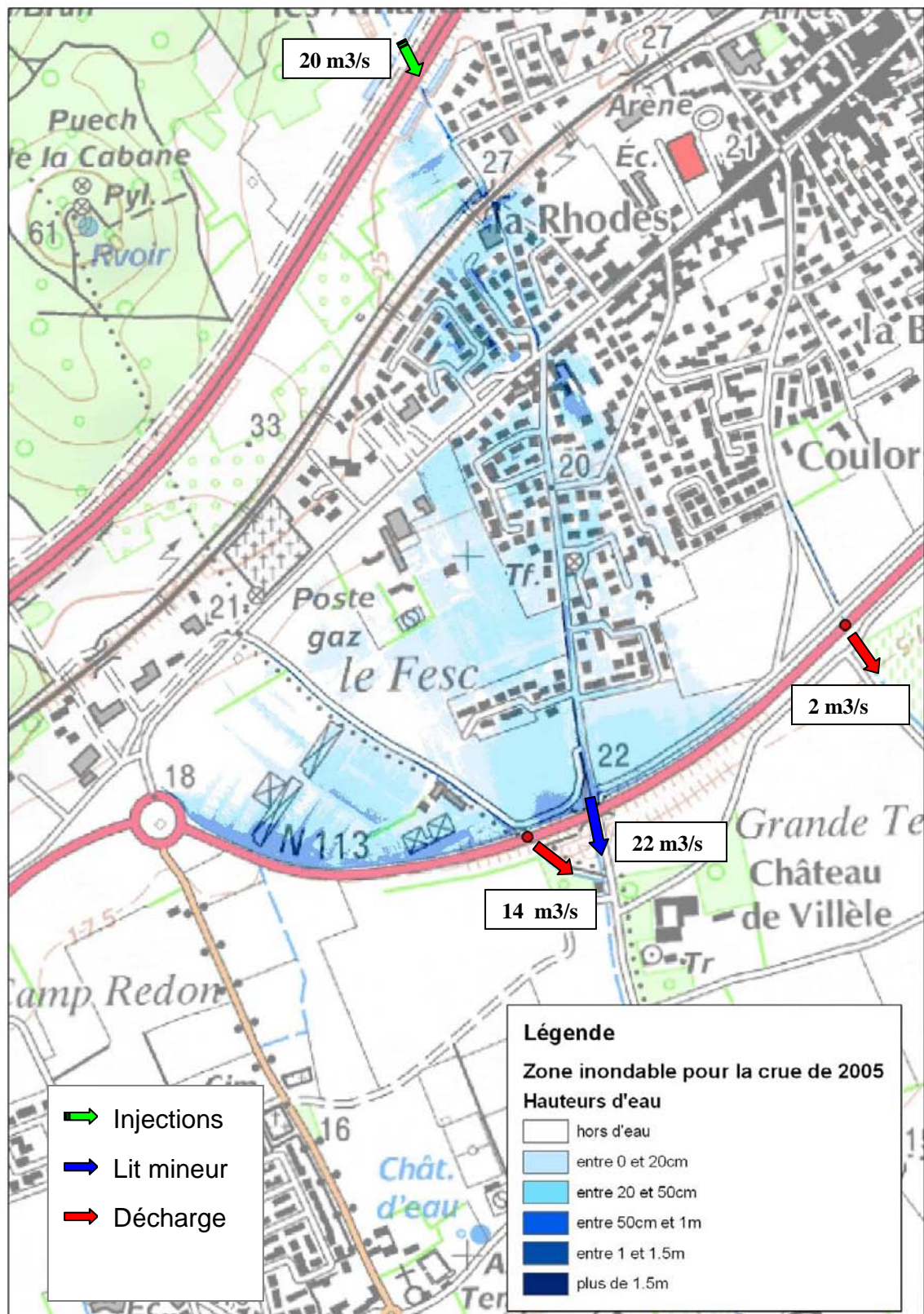
Globalement, le calage est acceptable, avec un écart un peu élevé de 20 cm au droit d'un repère situé en zone urbanisée dense où les écoulements peuvent être perturbés par des phénomènes localisés non retraduits dans le modèle global.

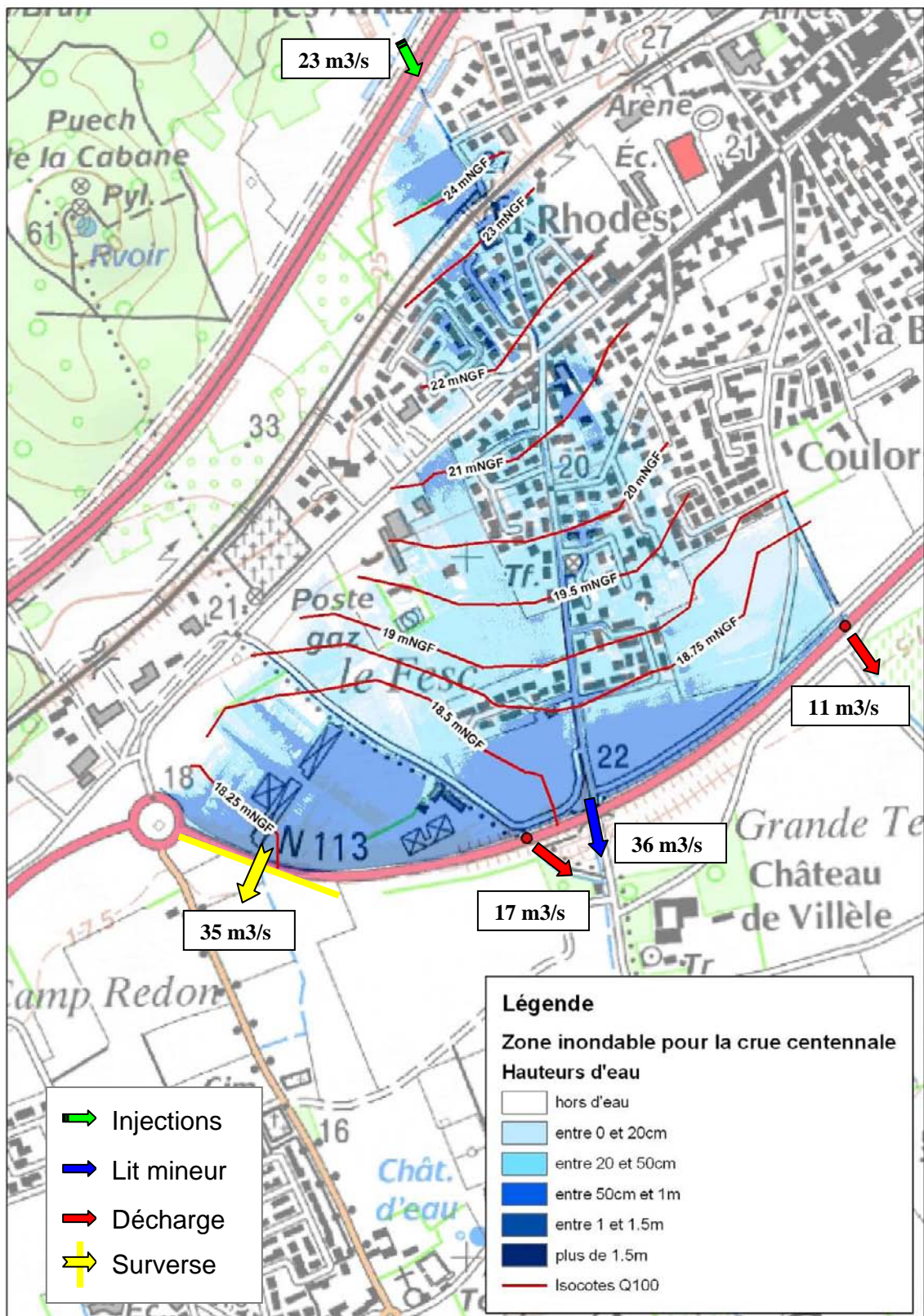
## Crue centennale

Pour la crue centennale, les débits de pointe au droit de la voie SNCF et de la RN86 sont respectivement de 36 et 75 m<sup>3</sup>/s, pour la crue de 2005, de 24 et 34 m<sup>3</sup>/s. Les différents ouvrages structurants constituent des obstacles à l'écoulement, notamment le remblai de la RN86. On constate en effet un fort étalement des écoulements (lit mineur en toit), qui se traduit par un écrêtement général depuis l'amont de l'A9 jusqu'à l'aval de la RN86 de 105 à 99 m<sup>3</sup>/s pour la crue centennale et de 51 à 38 m<sup>3</sup>/s pour la crue 2005 (calcul intégrant les apports du bassin versant urbain intermédiaire).

La cartographie des aléas (cartes ci-après) retraduit la zone de plus grand écoulement identifiée par l'analyse hydrogéomorphologique, mais pas la zone inondable observée en 2005 ci-dessous, qui ne parait pas cohérente avec les PHE et les résultats des modélisations.







### **2.3.1.9 La Lone**

Le modèle filaire de la Lone (affluent en rive droite du Vistre) s'étend sur un linéaire d'environ 3300m depuis le canal BRL jusqu'au Vistre, sur les communes de Codognan, Vergèze, le Caillar.

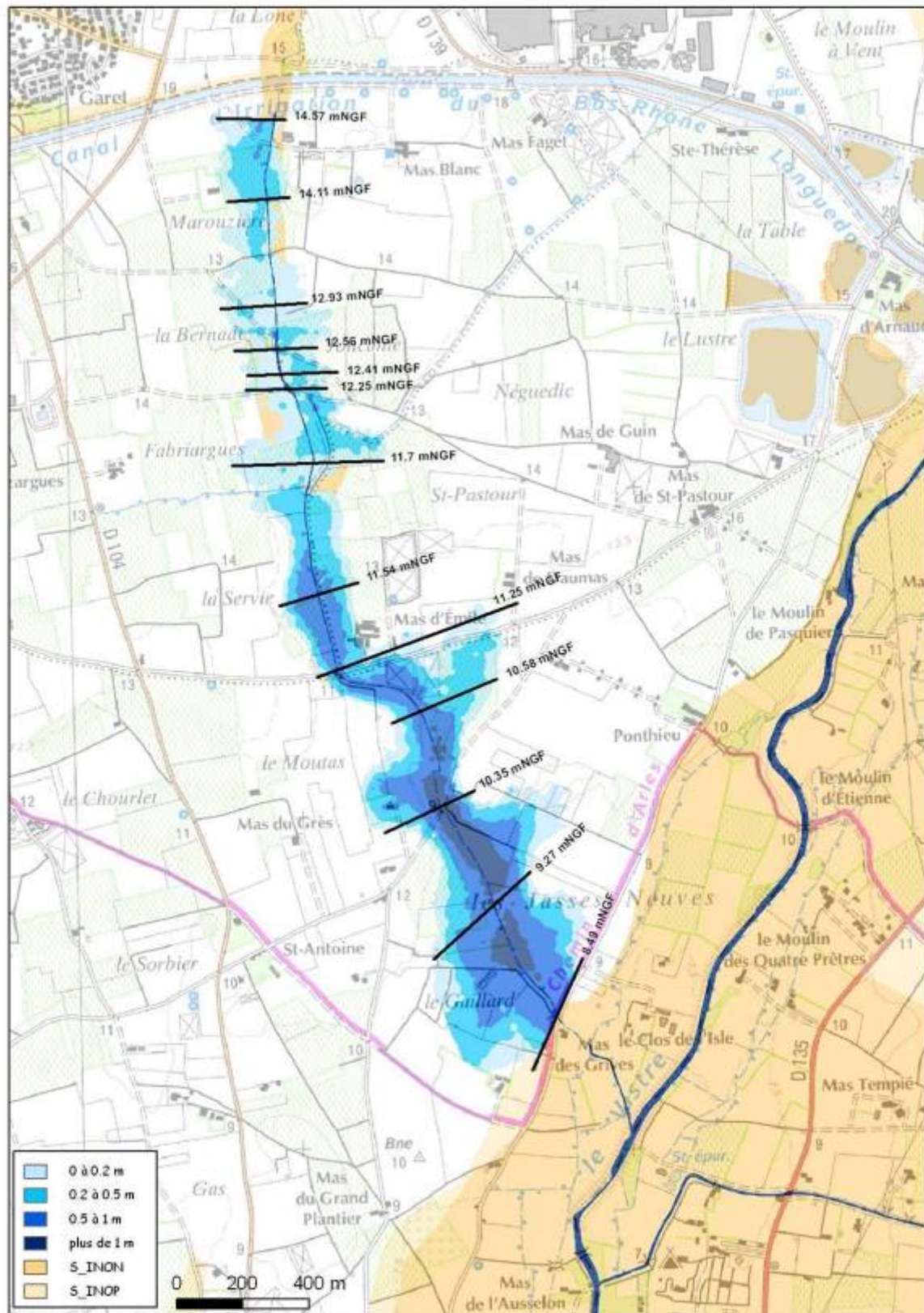
La condition aval retenue est une condition de cote normale.

Aucune PHE ni limite de crue observée ne sont disponibles dans le secteur.

Le débit de pointe centennal au Vistre est de 103 m<sup>3</sup>/s pour bassin versant de 9.4 km<sup>2</sup>.

De l'amont vers l'aval, les débordements s'amplifient avec des hauteurs d'eau comprises entre 0 et 50 cm sur le secteur « Marouzière – Frabriargues », puis comprises entre 50 cm et 1 m sur le secteur « la Servie – le Moutas » et enfin supérieures à 1 m sur le secteur des « Jasses Neuves ».





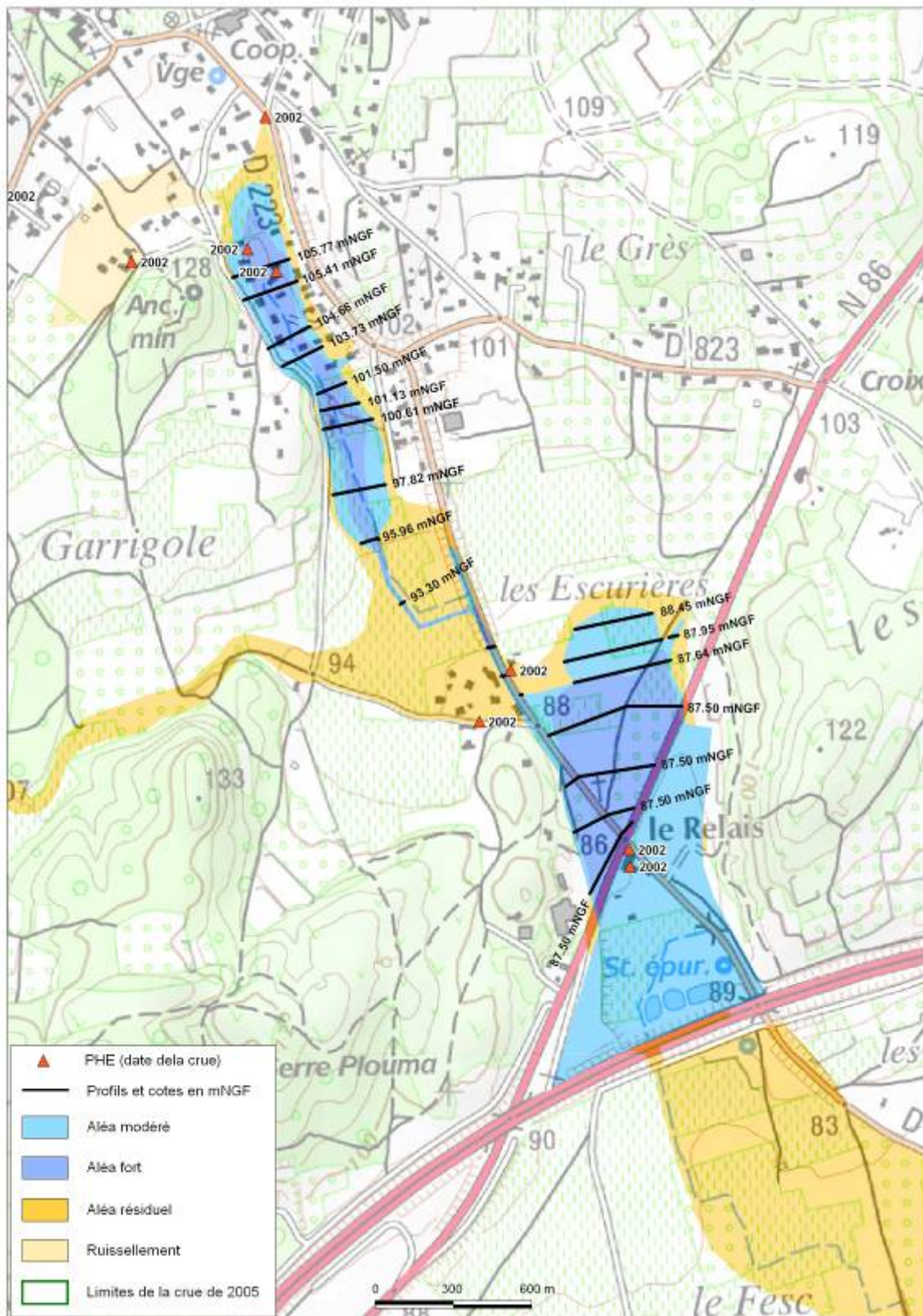
## 2.3.2 Intégration des résultats des modélisations des études existantes

### 2.3.2.1 Lédenon

Les zones inondables centennales du Valat des Agaous à l'amont de l'autoroute A9 ont été cartographiées dans une étude antérieure (BRLi, 2004). Le débit centennial retenu est cohérent avec l'analyse hydrologique menée dans le cadre du PPRi (phase 1 §662 analyse des études antérieures). La campagne topographique a consisté en relevés de profils en travers et d'un orthophotoplan au 1/2000<sup>e</sup>.

Il existe 6 PHE de la crue de 2002 associés au débordement du cours d'eau (les autres situés en amont dans le village étant liés au ruissellement pluvial). Ils retraduisent des niveaux de submersion inférieurs à la crue centennale simulée dans le modèle filaire. Il n'y a pas eu de véritable calage sur les cotes observées en 2002 dans l'étude de 2004, en raison de modifications importantes du lit mineur survenues après 2002. Mais les résultats obtenus sont globalement cohérents avec les observations.

Les résultats sont donc directement intégrés au PPRi.



### 2.3.2.2 Vauvert

#### *Bassin de rétention du Valat de la Reyne (secteur Les Plaines)*

L'étude hydraulique qui fait référence à ce jour pour caractériser la zone inondable du Valat de la Reyne à Vauvert (BRLi 2001) a estimé le débit centennal à l'amont de l'agglomération à  $14 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ , soit  $46 \text{ m}^3/\text{s}$  pour un bassin versant de  $3.3 \text{ km}^2$  (Cf. § 5.6.2 du rapport de phase 1). Cette valeur est bien plus faible que le débit de référence retenu dans le cadre de la présente étude, qui est de  $22 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ . En effet, l'étude de 2001 avait appliqué la méthode de Bressand-Golossof, mais avec des hypothèses de pluie plus faibles que celles qui doivent être retenues pour appliquer cette méthode.

Le bassin de rétention implanté à l'amont de l'agglomération et réalisé en 2007 présente les caractéristiques suivantes :

- ▶ Volume de  $157\,000 \text{ m}^3$  à la cote de 43.0 m NGF,
- ▶ Orifice de contrôle de diamètre 1000mm (débit de fuite de projet de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ),
- ▶ Largeur du déversoir : 20 m.

Dans le rapport de phase 1, le débit centennal du Valat de la Reyne a également été estimé en prenant en compte l'écrêtement dans le bassin de rétention :

- ▶ Par BRLi dans le cadre de la présente étude : le débit écrêté en sortie du bassin de rétention est de  $12.4 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .
- ▶ Par ISL, dans le cadre de l'étude maîtrise d'œuvre du bassin de rétention : il est de  $18.8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

Dans le rapport de phase 1, il était proposé de retenir le débit de pointe écrêté comme débit de référence à l'aval du bassin de rétention et à la traversée de Vauvert, et d'intégrer la zone inondable de l'étude de 2001, correspondant à un débit spécifique de 14, compris dans la fourchette des débits écrêtés estimés de 12 à  $19 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

Mais si l'on considère que le risque de défaillance du bassin est à prendre en compte dans le cadre du PPRi, par obturation de l'orifice notamment, la modélisation des écoulements devrait être reprise avec un débit de  $22 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ .

#### *Impact du canal BRL*

Cependant, les écoulements du Valat de la Reyne à la traversée de Vauvert subissent un ralentissement dynamique du à la présence du canal BRL en remblais, qui fait obstacle aux débordements de crue du cours d'eau.

Une étude de cartographie des zones inondables centennales de Valat de la Reyne à la traversée de Vauvert a été réalisée en 2004 par BRLi, et prend en compte ces phénomènes de stockage à l'amont du canal par une modélisation transitoire et bidimensionnelle (Etude de l'aléa inondation et cartographie des zones inondables sur les secteurs du Valat de la Reyne et de Gallician, commune de Vauvert, juin 2004). A noter par ailleurs que cette étude ne prend pas en compte le bassin de rétention amont qui n'avait pas été réalisé en 2004.

La modélisation de 2004 met en évidence un très fort écrêtement du à ces phénomènes de ralentissement à l'amont du canal puisqu'au droit du canal le débit n'est plus que de  $38,5 \text{ m}^3/\text{s}$  pour un bassin versant de  $6,4 \text{ km}^2$ , à comparer avec les  $45,8 \text{ m}^3/\text{s}$  provenant du bassin versant amont de  $3,3 \text{ km}^2$ .

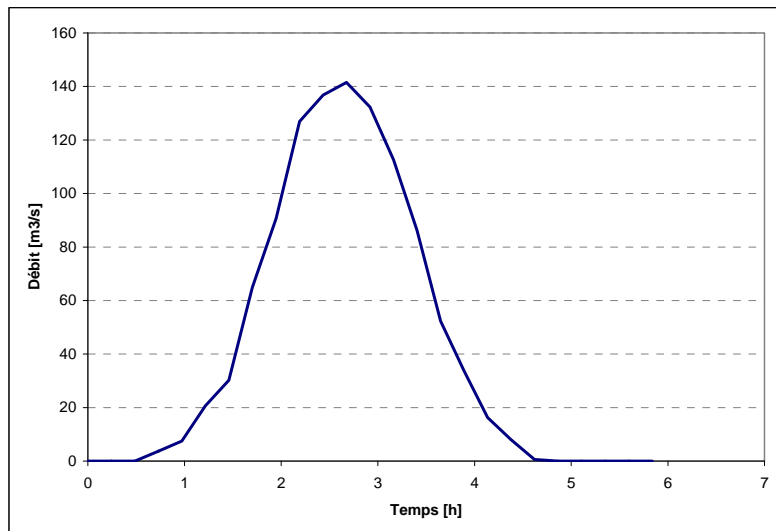
Pour ce type de fonctionnement hydraulique, c'est surtout le volume de crue retenu qui détermine les zones inondées. Or le volume de crue modélisé dans l'étude de 2004, pour les 6,4 km<sup>2</sup> de bassin versant, est d'environ 900 000 m<sup>3</sup> (Cf. hydrogrammes de crue page 5 du rapport de l'étude 2004).

Le volume de crue généré par le Valat de la Reyne au droit du canal et pour 6,4 km<sup>2</sup> avec les hypothèses hydrologiques retenues dans le cadre du PPRi est de 932 000 m<sup>3</sup> :

**Le Valat de la Reyne au canal BRL (REY01)**  
avec superficie de 6.4 km<sup>2</sup>

Qp [m3/s]	142
V [Mm3]	932

Temps [h]	Débit [m3/s]
0,00	0,0
0,24	0,0
0,49	0,0
0,73	3,7
0,97	7,4
1,22	20,6
1,46	30,2
1,70	64,9
1,95	90,6
2,19	126,9
2,43	136,8
2,68	141,5
2,92	132,3
3,16	112,6
3,41	86,2
3,65	52,3
3,89	33,6
4,14	16,2
4,38	8,0
4,62	0,6
4,86	0,0
5,11	0,0
5,35	0,0
5,59	0,0
5,84	0,0



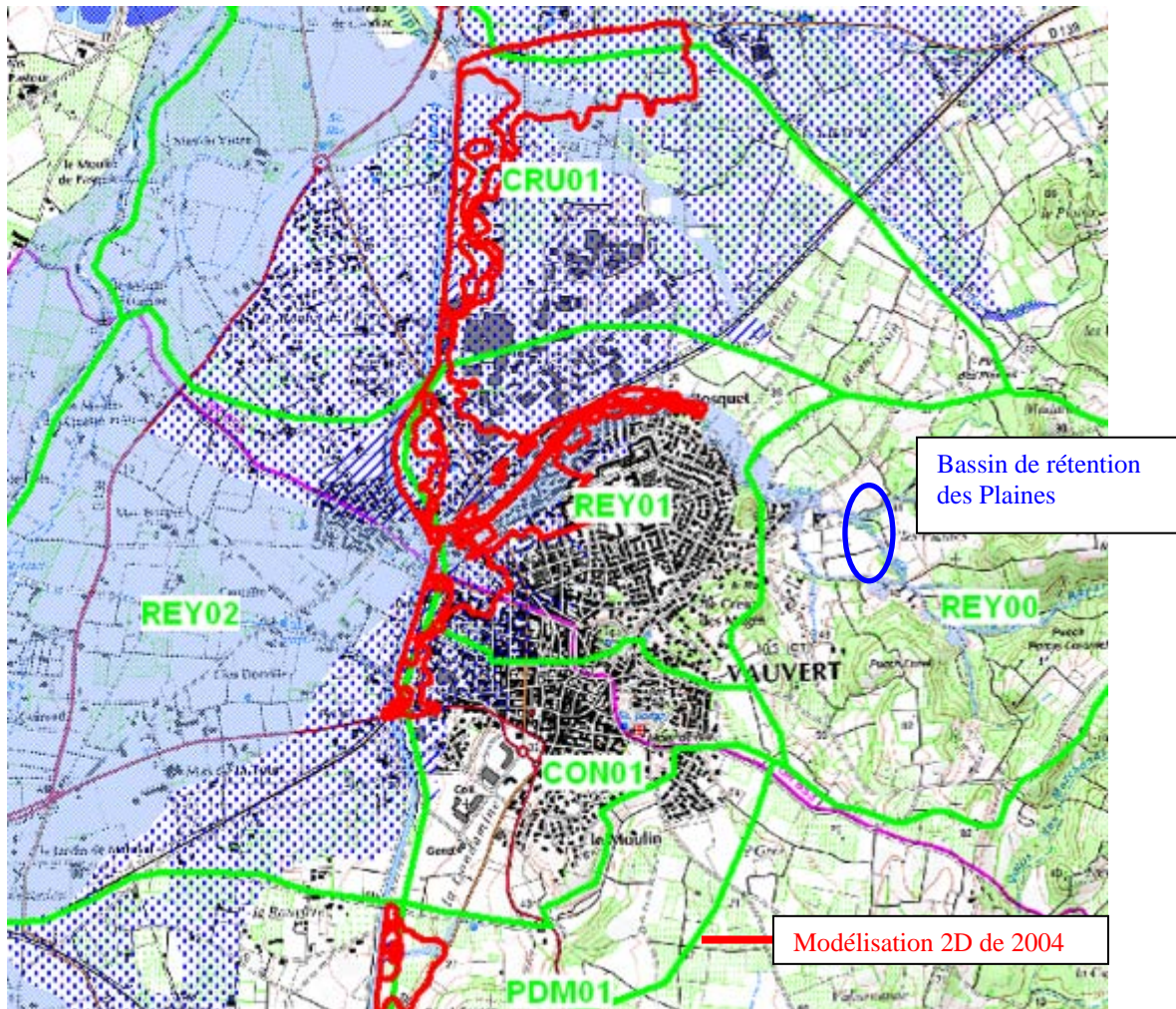
NB : coefficient de ruissellement de 69%

La modélisation des écoulements du Valat de la Reyne réalisée en 2004 en régime transitoire peut donc être intégrée au PPRi.

La modélisation, basée sur des levés topographiques réalisés dans le cadre de l'étude (17 profils en travers du cours d'eau, 11 ouvrages hydrauliques, plan topographique du champ majeur), a été menée en mode bidimensionnel afin de retraduire le caractère multidirectionnel des écoulements.

Cette modélisation a également pris en compte les écoulements autres que ceux du Valat de la Reyne qui sont interceptés par le canal BRL sur le territoire communal de Vauvert :

- ▶ Le bassin versant CRU01 (qui comprend les apports diffus de la zone industrielle Nord de Vauvert) ainsi que les débordements rive gauche du Fiaou),
- ▶ Les bassins versants CON01 et PDM01 au sud de Vauvert.

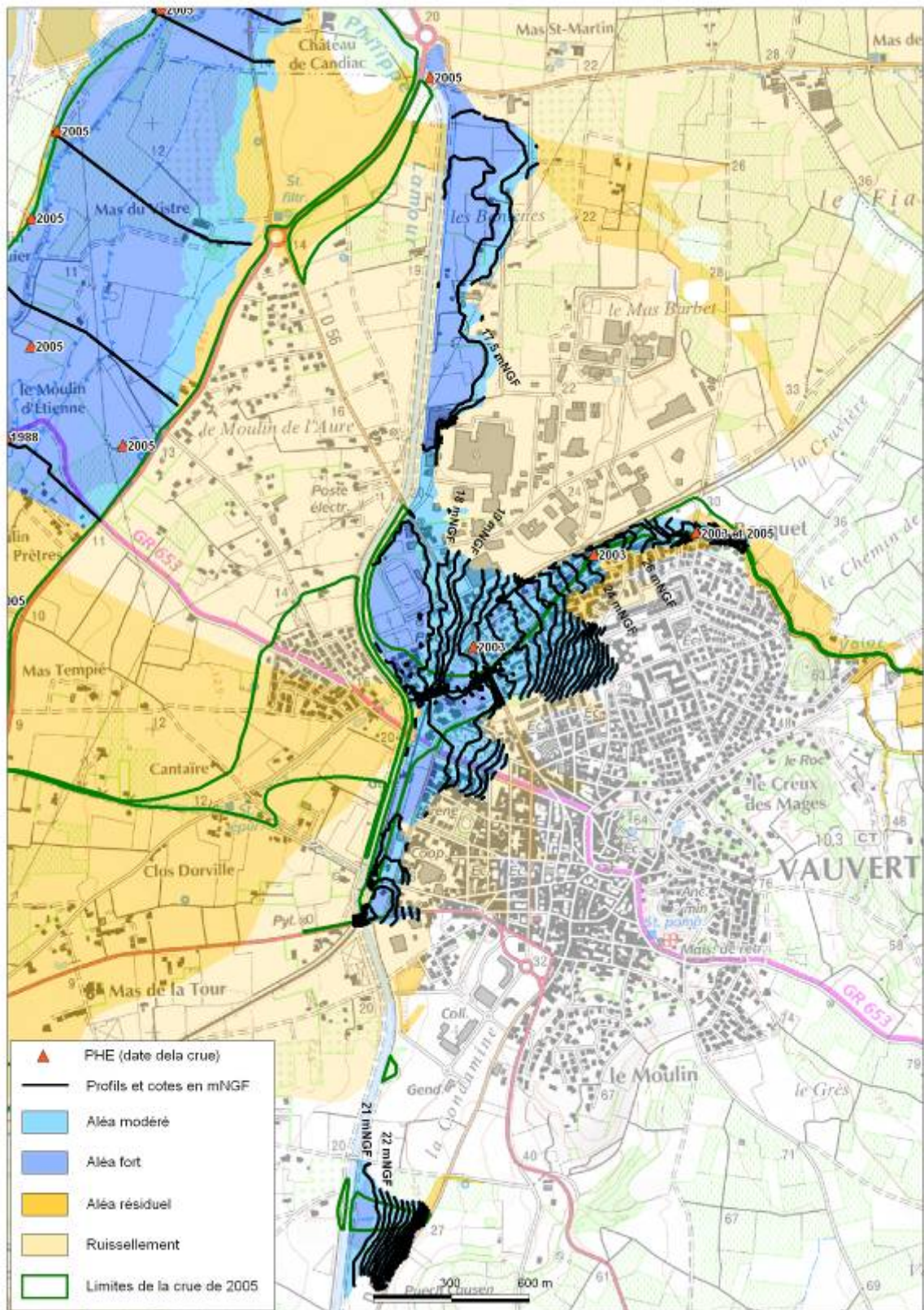


### Conclusion

Les résultats de l'étude de 2004 peuvent donc être intégrés au PPRi, compte tenu de la cohérence des volumes de crue entre les deux approches PPRi et étude antérieure.

L'aléa obtenu (carte ci-après) est cohérent avec les 3 PHE de 2002 et 2005 disponibles sur la zone d'étude ; par contre les limites de la crue observée en 2005 semblent bien réduites à l'amont de la RD56 et erronée par rapport à la topographie en rive droite au droit du Bosquet.

Pour le secteur situé entre la sortie du bassin de rétention et le modèle 2D (Cf carte ci avant), les enjeux urbains sont peu nombreux, car la zone urbanisée est hors d'eau sur la rive gauche surélevée.



### 2.3.2.3 Milhaud et Bernis

La phase 1 a montré que les approches hydrologiques des études communales disponibles sont cohérentes avec l'approche PPRi.

Les documents SAFEGE source des données présentées ci-après sont les suivants :

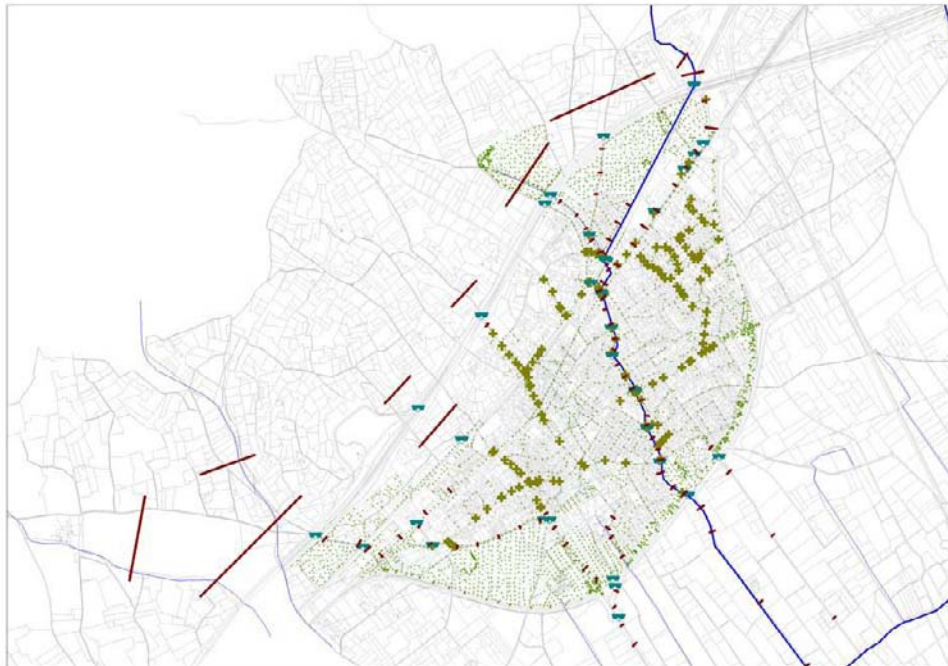
- ▶ Commune de Milhaud : a. Schéma d'aménagement hydraulique et de protection des zones habitées contre les inondations - Phase 1 : diagnostic de l'état actuel, indice F avril 2009. b. Schéma d'aménagement hydraulique et de protection des zones habitées contre les inondations - Phase 2 : élaboration du schéma pluvial, indice D mai 2010.
- ▶ Commune de Bernis : a. Schéma d'aménagement hydraulique et de protection des zones habitées contre les inondations - Phase 1 : diagnostic de l'état actuel, indice G janvier 2010. b. Schéma d'aménagement hydraulique et de protection des zones habitées contre les inondations - Phase 2 : élaboration du schéma pluvial, indice B mai 2010.
- ▶ DDTM30 : Schéma d'aménagement hydraulique et de protection des zones habitées contre les inondations, Communes de Milhaud et Bernis, Mise en compatibilité de l'aléa, SAFEGE, avril 2011.
- ▶ DDTM30 : Méthodologie pour l'élaboration des cartes d'aléa inondation sur les communes de Milhaud et Bernis, SAFEGE, 17 décembre 2012, Réf. : 11MHY022.

#### MILHAUD

La modélisation des écoulements est réalisée avec un modèle de couplage 1D/2D, sur la base des levés du cabinet de géomètre B3R de décembre 2008 :

- ▶ Des profils en travers du lit de la Pondre (34 profils) et de divers chemins d'écoulements préférentiels (50 profils) ;
- ▶ Des levés topographiques des 32 ouvrages structurants la zone ;
- ▶ Du semis de points en zone urbaine sur l'ensemble de la zone (200 ha) ;
- ▶ Du semis de point à l'échelle communale (source : GAIA Mapping) ;
- ▶ Des levés topographiques du réseau d'eau urbain maillant la commune (161 points).



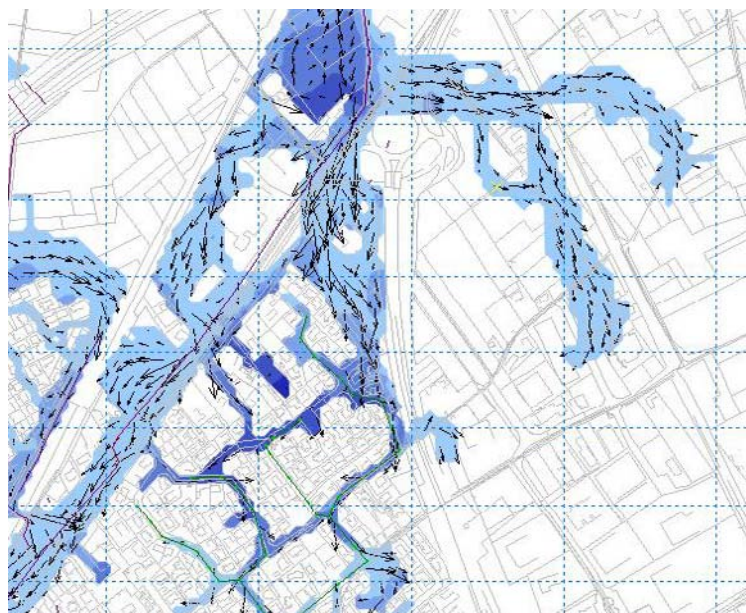


Le modèle a été calibré sur l'événement de septembre 2005. La moyenne des écarts absolus est d'environ 50 cm sur les PHE levés par géomètre. Le même type d'écart est de 16 cm sur les hauteurs relatives constatées lors des enquêtes de terrain. Le réseau pluvial est considéré non saturé dans toutes les typologies de crues étudiées. La condition aval du Vistre est considérée fixe à la valeur de septembre 2005.

Le scénario retenu pour l'aléa de référence du PPRi est la crue d'octobre 1988 en état aménagé de janvier 2008 (programme Cadereaux) intégrant notamment la rétention de la carrière de Caveirac.

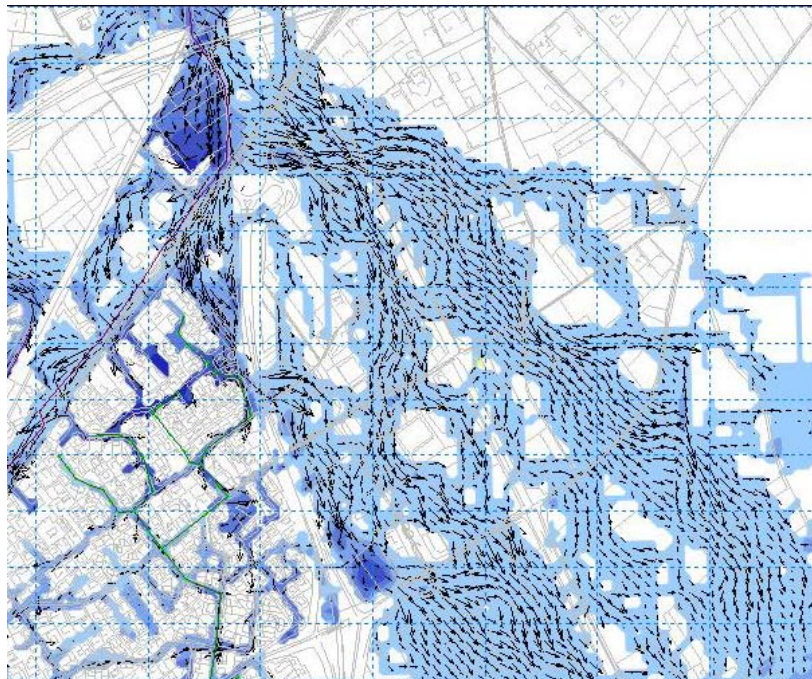
Les particularités pour l'événement de référence sont décrites ci-après.

- Les débordements constatés en rive gauche de la Pondre avant le rond point situé au Nord Est de la zone urbaine ne retrouvent pas la Pondre et aboutissent dans les eaux du Vistre avec les eaux issues de la submersion de la RN 113 :

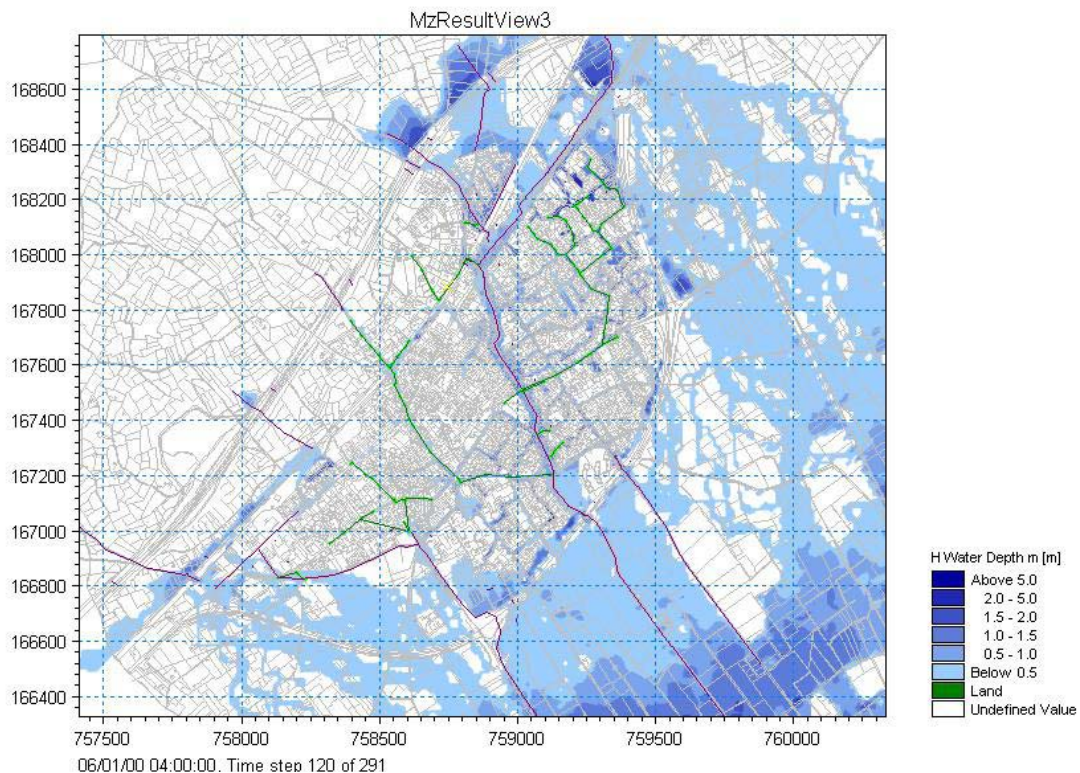


Le débordement au Nord se dirige vers l'Est (ZAC Trajectoire) pour rejoindre plus tard les eaux de ruissellement qui ont submergé la RN 113.

Au pic de la crue, on observe que la zone urbaine est contournée par un écoulement puissant qui rejoint les eaux du Vistre plus en aval. Cet écoulement est barré dans sa progression par la RN 113.



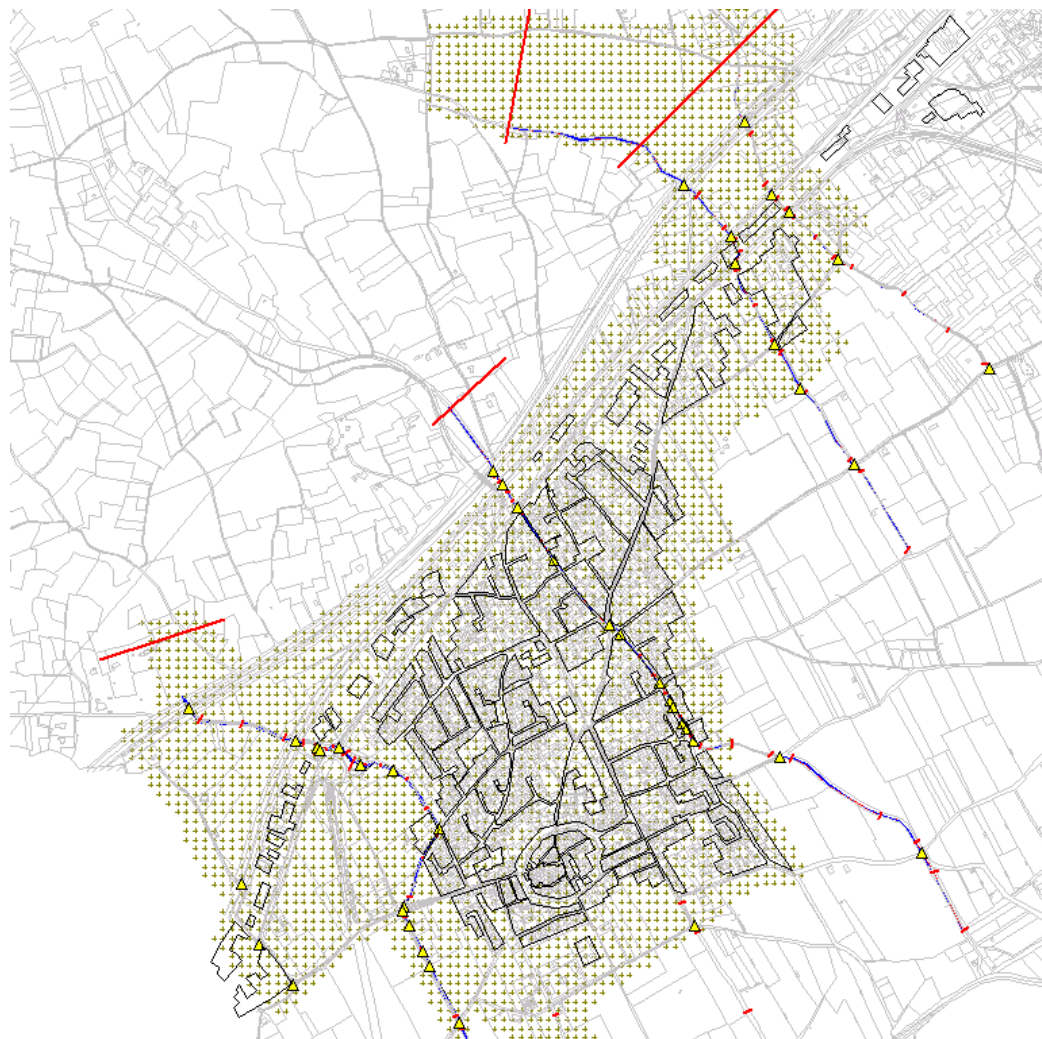
L'autoroute, la voie ferrée et la RN 113 constituent des lignes de force pour les écoulements. La crue d'Octobre 1988, bien qu'historique, est structurée par ces ouvrages :



## BERNIS

La modélisation des écoulements est réalisée avec un modèle de couplage 1D/2D, sur la base des levés du cabinet de géomètre B3R GEOMETRIS de juin 2009 :

- ▶ 72 profils en travers (largeur moyenne de 20m) sur le Grand Bernard / Vallongue / Chivalas / Valat de Larrière ;
- ▶ 43 ouvrages hydrauliques (largeur inférieure à 20m) sur les axes d'écoulements principaux (Grand Bernard / Vallongue / Chivalas / Valat de Larrière) ;
- ▶ lever terrain naturel (TN) de 180 plaques (tampons) du réseau EP ;
- ▶ lever fil d'eau uniquement sur 12 exutoires du réseau EP (aux réseaux superficiels) ;
- ▶ semis de points sur 240 hectares à raison d'au moins 20 points/ha : seuls 60 ha de ce semis est en zone « naturelle », le reste ne concerne que du milieu urbain ;
- ▶ du semis de point à l'échelle communale (source : API Conseil / Nîmes Métropole).



Les conditions aux limites sont les suivantes :

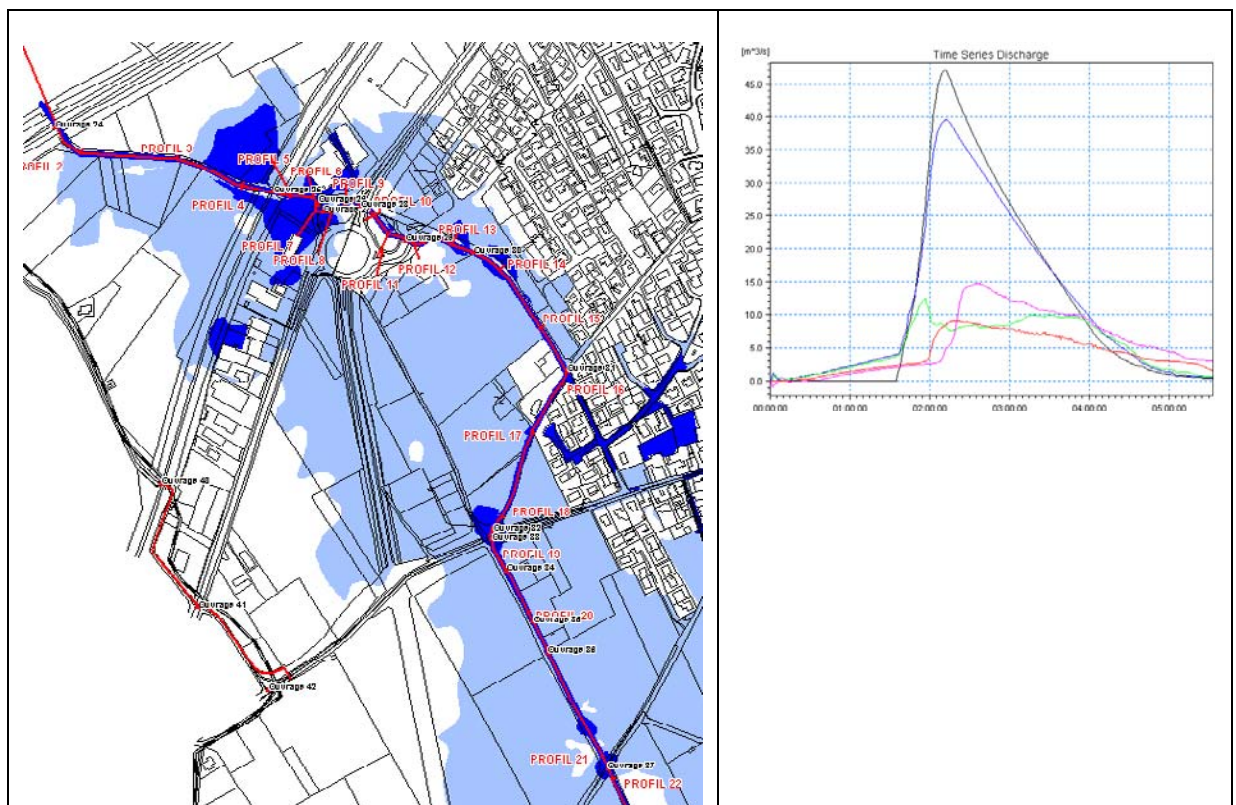
- ▶ Hydrogrammes calculés selon la méthode du réservoir linéaire pour les occurrences 100 ans, Septembre 2005 et Octobre 1988 pour l'ensemble des bassins versants.
- ▶ La condition aval du modèle est la ligne d'eau du Vistre (définie par les PHE) pour l'événement de septembre 2005.

Le modèle a été calibré sur l'événement de septembre 2005. La moyenne des écarts absolus est d'environ 36 cm sur les PHE (53 cm en écart strict à la cote PHE – 25 cm en écart strict à la hauteur PHE). Par le constat de certaines incohérences topographiques, la fiabilité des données de surface Géométris ne peut pas être certaine. La crue de référence est la crue majeure des 3 scénarios hydrologiques présentés précédemment : il s'agit en l'occurrence de l'événement historique d'octobre 1988.

Les particularités pour l'événement de référence sont décrites ci-après.

Concernant le Grand Bernard, des débordements se font constater au voisinage de l'ouvrage SNCF dès quelques  $m^3/s$  en raison de la très faible capacité des fossés. La série des ouvrages provoque des débordements par leurs faibles capacités (de 3 à 5  $m^3/s$ ). Le fossé du Grand Bernard a une capacité moyenne d'environ 4  $m^3/s$ , ce qui explique la généralisation très rapide des écoulements de surface.

Le projet de la ZAC Capitelle est concerné par le Grand Bernard : une modification de tracé est d'ailleurs proposée en aval de la RN113. Chantier non démarré en date de l'étude SAFEGE, les travaux de recalibrage n'ont pas été intégrés dans l'étude SAFEGE.



## ADAPTATION DES RESULTATS A LA DEMARCHE DU PPRi :

Les modèles mis en œuvre dans le cadre des études communales étaient constitués d'un modèle de réseau et d'un modèle 2D pour représenter les écoulements des eaux de débordement du réseau. Le domaine 2D retranscrivait uniquement les écoulements dans les rues des communes. Les niveaux du modèle de rue ont été interpolés entre les rues. En revanche, il n'existait pas de donnée topographique au niveau des secteurs bâti. Ces niveaux ont donc été interpolés à partir des niveaux TN des rues.

Par ailleurs, depuis la réalisation des cartes d'aléas sur les communes de Milhaud et Bernis, les relevés LIDAR ont été réalisés dans le cadre de l'étude PPRi. Ces relevés ont mis en évidence des problèmes de cohérence entre les cartes des aléas et les données topographiques (différentiels altimétriques parfois importants).

La méthodologie suivante a donc été appliquée dans le cadre de la mise à jour des cartes des aléas sur les communes de Milhaud et Bernis :

- ▶ Récupération des hauteurs d'eau dans les rues issues du modèle 2D initial
- ▶ Définition des niveaux d'eau dans les rues :  $Z100 = H100$  (modèle rue) + ZLIDAR, avec :
  - Z100 : cote centennale
  - H100 (modèle rue) : hauteur d'eau centennale calculée par le modèle rue
  - ZLIDAR : cote du terrain naturel levé par LIDAR
- ▶ Interpolation des niveaux d'eau entre les rues
- ▶ Comparaison du niveau d'eau et de la topographie LIDAR pour définir les hauteurs d'eau en tout point.

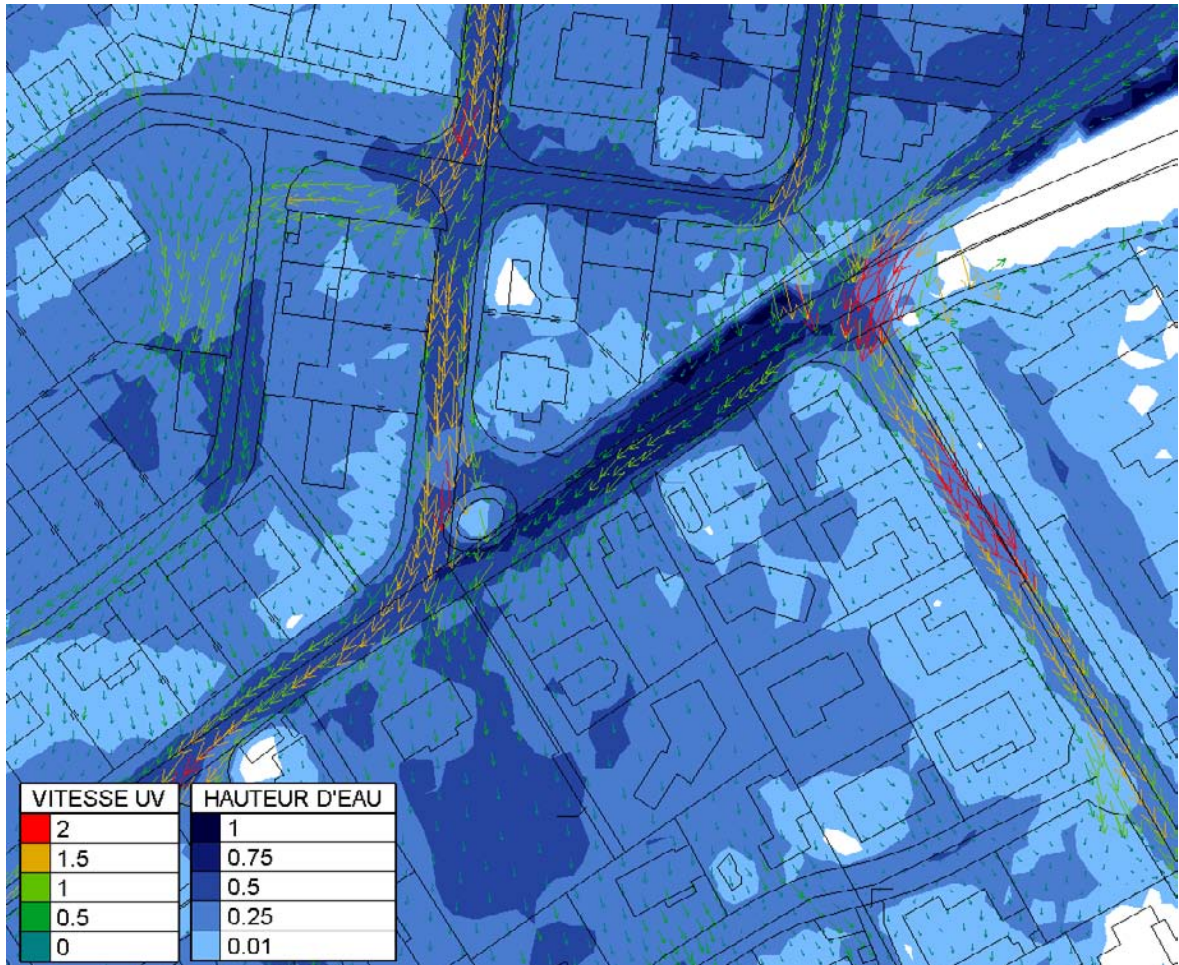
Par rapport aux précédentes cartes d'aléa, on note des différences notables. En effet, l'analyse de la topographie LIDAR (qui dispose de plus de précisions mais surtout beaucoup plus de densité, notamment sur les parcelles privatives) montre que les secteurs bâtis entre les rues sont souvent rehaussés par rapport au niveau des rues. Ce constat implique une inondabilité amoindrie par rapport aux précédents résultats simplement interpolés. L'effet est particulièrement visible sur la commune de Bernis.

### *Cas de la partie est de la commune de Milhaud*

La partie est de la commune de Milhaud est soumise principalement aux débordements du ruisseau de la Pondre. Les eaux débordent sur la partie amont du cours d'eau en rive gauche, traversent la commune puis retournent à la Pondre en amont de la déviation de la commune. Le modèle initial contraignait les eaux de débordement à ne s'écouler uniquement que dans les rues.

En réalité les eaux empruntent les rues et traversent aussi les pavillons. Le modèle initial surestimait donc les niveaux dans les rues ; c'est pourquoi, sur ce secteur, une nouvelle modélisation 2D a été réalisée en laissant un écoulement possible à travers la zone pavillonnaire (en prenant en compte des rugosités faibles de minimum 5 dans la zone pavillonnaire et des rugosités favorables aux écoulements, de 60, dans les rues).

Un extrait des résultats obtenus est présenté ci-après.



### 2.3.2.4 Le Mirman à Caissargues

La commune de Caissargues dispose d'une étude du risque inondation : « Zonage du risque inondation à l'échelle communale et intégration dans les documents d'urbanisme », rapports de phase 1 et 2, Egis Eau, novembre 2009.

Un modèle hydraulique a été réalisé sur le lit mineur et majeur du Mirman à partir des levés topographiques fournis entre juin et septembre 2009. Les écoulements en crue du Mirman sont dissociés entre le lit mineur et la zone inondable. Le modèle du lit mineur permet donc de calculer avec précision la ligne d'eau du Mirman (en toit dans la partie amont et endigué en aval) et les hydrogrammes surversés sur les berges et débordés dans la zone inondable, qui ne rejoignent pas le lit mineur. Ensuite, les écoulements débordés s'écoulent dans les rues, pour se stocker en aval, derrière la digue du Vistre.

Le modèle du lit mineur est construit sur la base de 54 profils du lit mineur et des ouvrages, sur un linéaire de 2.2 km entre l'amont du pont de l'école et la confluence avec le Vistre. Les rues sont modélisées sur un linéaire total de 2400 m avec un profil tous les 20 m environ (soit 120 profils). Deux zones de stockage ont été modélisées en aval pour représenter les inondations bloquées à l'arrière de la digue du Vistre, de part et d'autre de la route des Cambourins. Des zones de débordements ont été modélisées aussi en rive gauche en amont et en aval de la rue de la Vaunage.

Les données topographiques du lit mineur sont issues de :

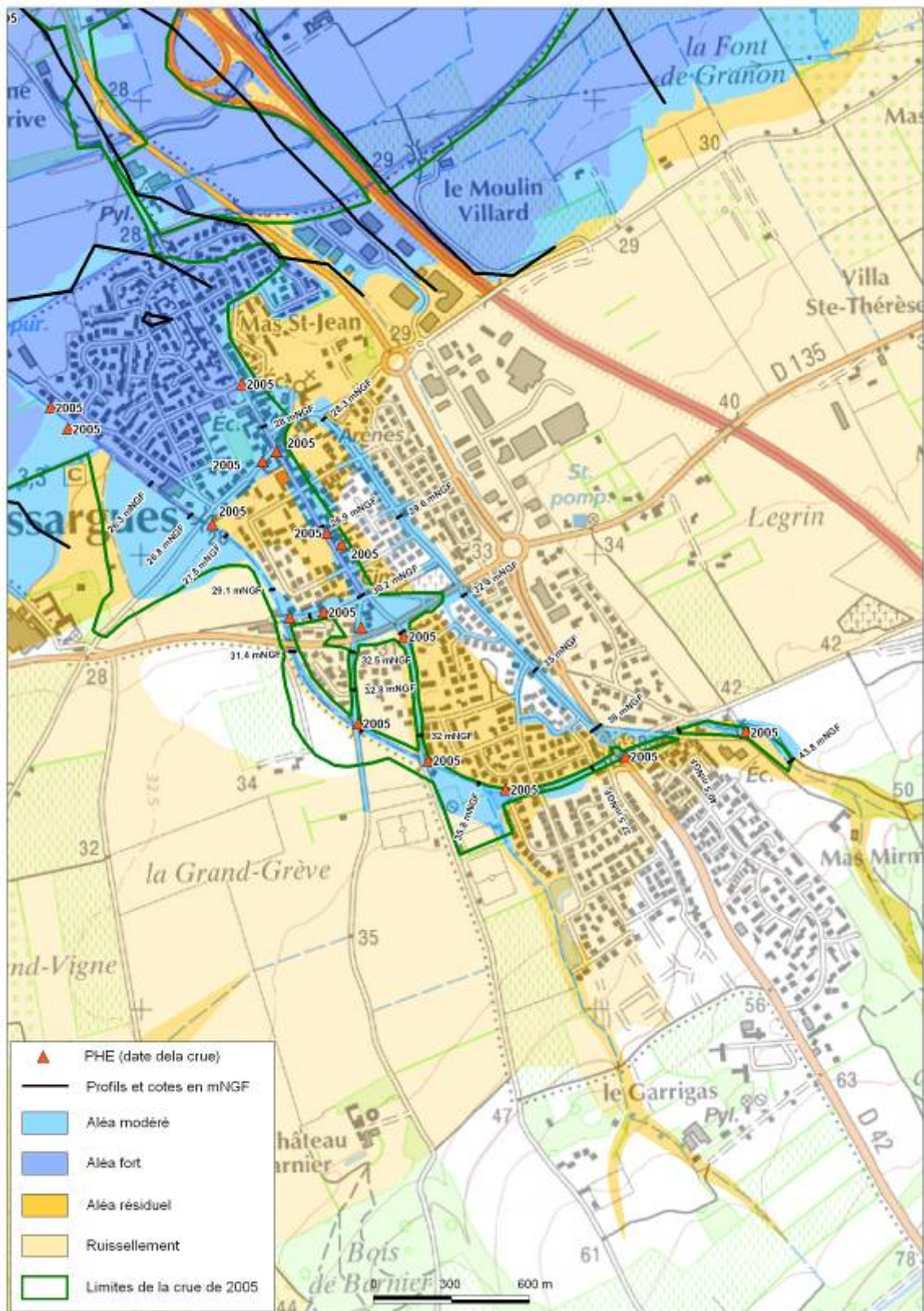
- ▶ 17 profils issus de l'étude SIEE de 2006 (notés P1 à P17)
- ▶ 5 profils relevés en juillet 2009 (notés PR1 à PR5)
- ▶ 12 profils levés en juillet 2009 en aval immédiat des ouvrages et 12 sections d'ouvrages rendus en septembre 2009).
- ▶ 20 profils en travers issus de semis de points topographiques fournis par la Mairie.

Les données topographiques du lit majeur proviennent de deux sources :

- ▶ Modèle Numérique de terrain réalisé dans le cadre de l'étude CADEREAU, entre le Vistre et le chemin des Canaux
- ▶ Levé terrestre complémentaire réalisé dans le cadre de l'étude entre le chemin des canaux et le Mirman, rendu le 16/09/09.

Le modèle a été calé sur les PHE de 2005 ; sur les 41 repères de crue, seuls 3 repères présentent des écarts supérieurs à 20 cm. Etant donné l'incertitude de certains repères (hauteurs d'eau dans les rues, ...) et la complexité de la modélisation (lit en toit, écoulement dans les rues, ...), le calage est satisfaisant.

La zone inondée observée est globalement cohérente avec l'aléa obtenu.





### 2.3.2.5 Aubord et Générac

Des levés topographiques sont ceux définis dans le cadre du PPRi :

- ▶ Profils en travers du lit mineur et des ouvrages hydrauliques, profil en long des lignes structurantes,
- ▶ Modèle Numérique de terrain sur les champs majeurs (issu d'une campagne de relevés aériens par la méthode du LIDAR).

Sur les communes d'Aubord et Générac, ils portent sur les ruisseaux de Casseport, Moulin à Vent, Fontaine, Barbe Blanche, Rieu, Petit et Grand Campagnolle.

Les modélisations hydrauliques mises en œuvre sont les suivantes :

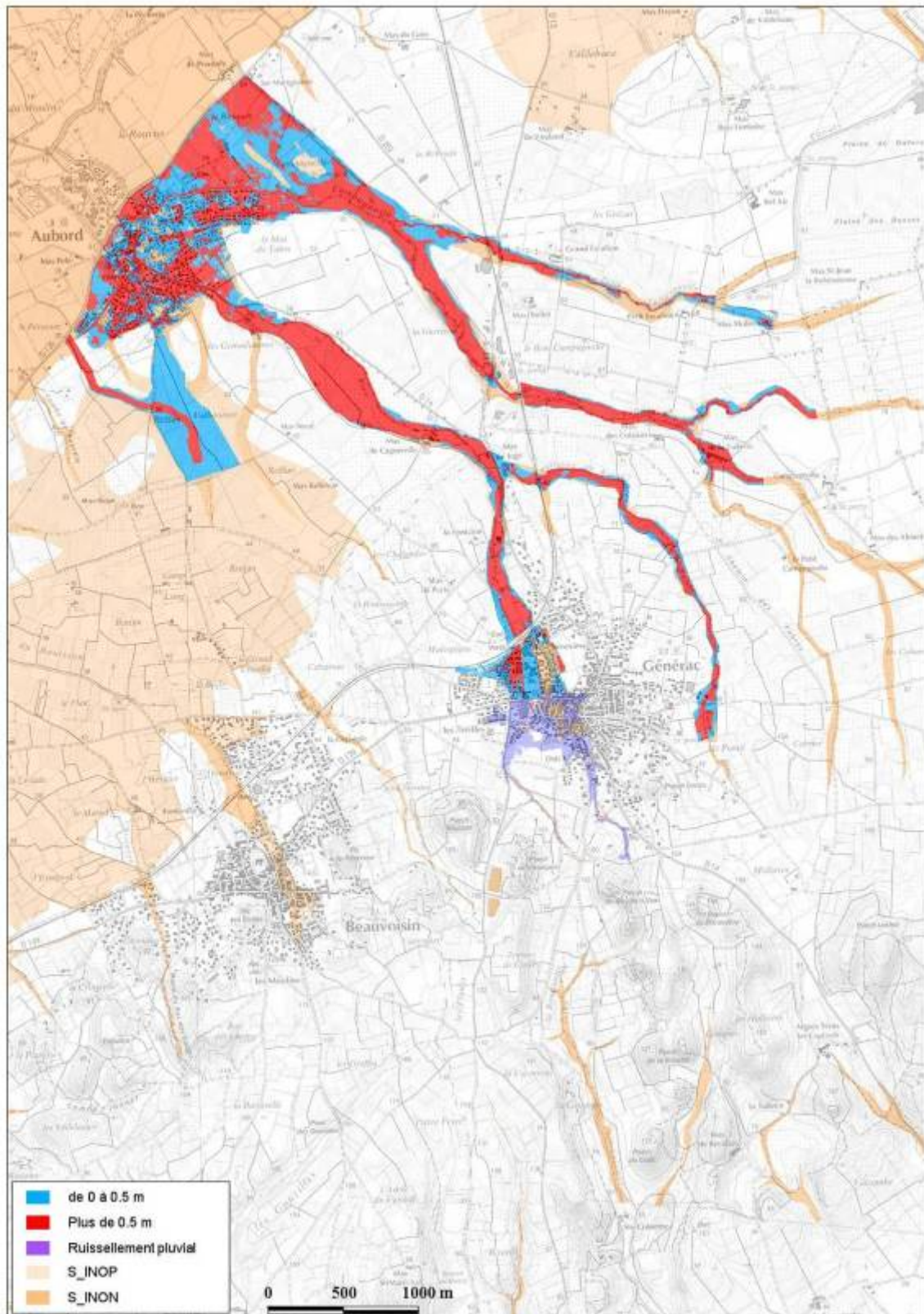
- ▶ une modélisation filaire du Rieu et du Campagnolle, en dehors des zones urbanisées,
- ▶ une modélisation à casiers du Rieu et du Campagnolle à la traversée urbaine d'Aubord,
- ▶ une modélisation à casiers du Vistre, du Rieu et du Campagnolle à l'aval de la RD135,
- ▶ une modélisation bidimensionnelle des apports du Cabassan à l'Ouest d'Aubord, dans le secteur de la route de Beauvoisin : cette zone d'écoulements présente une configuration particulière : bassin versant de près de 3 km<sup>2</sup> mais dont les apports s'écoulent en nappe à l'amont et se reconcentrent selon deux axes préférentiels (route de Beauvoisin et axe Ouest), les deux autres axes drainant des débits très faibles. **Il ne s'agit donc pas à proprement parler d'un phénomène de débordement de cours d'eau, mais plutôt d'écoulement en nappe.** Cependant, compte tenu de l'importance des débits centennaux qui transitent par ces axes (16 et 8 m<sup>3</sup>/s), nous proposons de qualifier l'aléa en débordement de cours d'eau sur ces axes et en résiduel (écoulements exceptionnels) sur les deux autres.

Sur le Rieu et le Campagnolle à Aubord, on dispose de 17 repères de PHE pour la crue de 2005. Une étude critique a été réalisée à partir des fiches PHE visant à écarter les PHE dits « douteux » levés dans des configurations spécifiques localisées où la laisse de crue n'est pas représentative de l'écoulement principal (cour intérieure, parcelle encaissée, murs perpendiculaires aux écoulements,...). Les cotes des PHE retenues dites « validées » ont ensuite été comparées aux cotes d'eau calculées pour la crue de 2005 : l'écart moyen aux PHE « validés » est de 0,28m, ce qui paraît acceptable, compte tenu des difficultés de calage en milieu urbain dense.

Les résultats obtenus sont très cohérents avec les observations « qualitatives » (non nivelées) recueillies lors des enquêtes auprès de la commune. Concernant la zone située en rive droite du Campagnolle (secteur Nord-Est de la commune d'Aubord), les témoignages recueillis étaient contradictoires quant à la présence d'eau sur ce secteur par débordement du Campagnolle ou par ruissellement.

A l'amont du village, seuls 5 repères de Plus Hautes Eaux (PHE) de la crue de 2005 (et celle de 2003) sont disponibles sur ces zones peu urbanisées et elles sont réparties sur le Rieu uniquement ; deux d'entre elles ont été considérées comme douteuses ; les écarts entre cote observées et cotes calculées sont inférieures à 30 cm pour les autres.

A Générac, les résultats des simulations sont cohérents avec les 5 repères de PHE de 2003 et 2005, et avec les observations issues de l'enquête.



## 2.4 LE MODELE DE LA PLAINE DU VISTRE ET DU BUFFALON

### 2.4.1 Hydrogrammes injectés

#### PLUIES DE PROJET

Les hyétogrammes de projet suivants ont été construits :

- ▶ pluie réelle de septembre 2005
- ▶ pluie réelle de septembre 2002
- ▶ pluie théorique décennale en 24 heures
- ▶ pluie théorique cinquantennale en 24 heures
- ▶ pluie théorique centennale en 24 heures

Les pluies réelles ont pour origine les données de lames d'eau radar (CALAMAR) et ont été spatialisées selon le découpage en 7 sous-bassins principaux : Haut Vistre, Buffalon, Moyen Vistre Amont Nord, Moyen Vistre Amont Sud, Moyen Vistre Aval Nord, Moyen Vistre Aval Sud et Rhône (cf. phase 1).

Les pluies théoriques ont pour origine les données pluies au sol (METEO FRANCE) et ont été construites par ajustement de la loi GEV selon la méthode de Keifer (hyétogramme isofréquentiel) et en considérant la formule régionalisée d'HydroSciences Montpellier pour le calcul de l'abattement (cf. phase 1).

La durée de 24 heures a été retenue pour les événements de projet. Car l'évènement de septembre 2005 (sur 72 heures) a montré une vidange complète des casiers entre les deux pics de pluie espacés de 24 heures environ. **Ainsi, nous avons considéré un temps de réponse maximal de la plaine du Vistre de 24 heures.**

Les tableaux ci-dessous récapitulent les valeurs caractéristiques des pluies pour les différents scénarios considérés :

#### Pluie de septembre 2005

Date et heure (UTC)	Précipitation [mm]						
	Haut Vistre	Buffalon	Moyen Vistre Amont Nord	Moyen Vistre Amont Sud	Moyen Vistre Aval Nord	Moyen Vistre Aval Sud	Rhône
<i>Pmax en 6h</i>	93.5	68.6	158.2	122.7	151.9	159.2	102.8
<i>Pmax en 12h</i>	127.2	100.3	194.4	159.9	179.6	191.6	138.9
<i>Pmax en 24h</i>	131.7	104.9	201.6	166.5	198.1	207.7	167.1
<i>Pmax en 36h</i>	131.7	105.1	201.6	166.5	198.3	207.8	167.3
<i>Pmax en 48h</i>	170.9	143.6	240.3	225.6	212.6	229.6	177.3
<i>Pmax en 72h</i>	250.4	208.5	355.8	319.3	347.8	362.4	315.7

#### Pluie de septembre 2002

Date et heure (UTC)	Précipitation [mm]						
	Haut Vistre	Buffalon	Moyen Vistre Amont Nord	Moyen Vistre Amont Sud	Moyen Vistre Aval Nord	Moyen Vistre Aval Sud	Rhône
<i>Pmax en 6h</i>	116.1	148.8	86.8	69.3	54.3	56.1	82.9
<i>Pmax en 12h</i>	146.1	187.7	104.4	75.6	67.9	60.9	112.3
<i>Pmax en 24h</i>	242.8	280.5	170.4	101.7	94.7	76.1	188.1
<i>Pmax en 36h</i>	267.0	322.4	185.6	120.5	106.5	94.7	197.1

**Pluies décennales, cinquantennales et centennales en 24 heures sans abattement et avec abattement maximum (BV du Vistre au Cailar), Pluie réelle locale à Bernis en sept. 2005**

	Précipitation [mm]						Sept2005_Bernis
	P10_ss_ab	P10_av_ab	P50_ss_ab	P50_av_ab	P100_ss_ab	P100_av_ab	
<i>Pmax en 6h</i>	119.6	93.1	203.2	153.9	251.1	188.0	270.0
<i>Pmax en 12h</i>	138.8	113.1	234.2	186.7	288.9	228.0	308.0
<i>Pmax en 24h</i>	161.1	136.5	270.0	224.5	332.4	274.1	324.5

## TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT

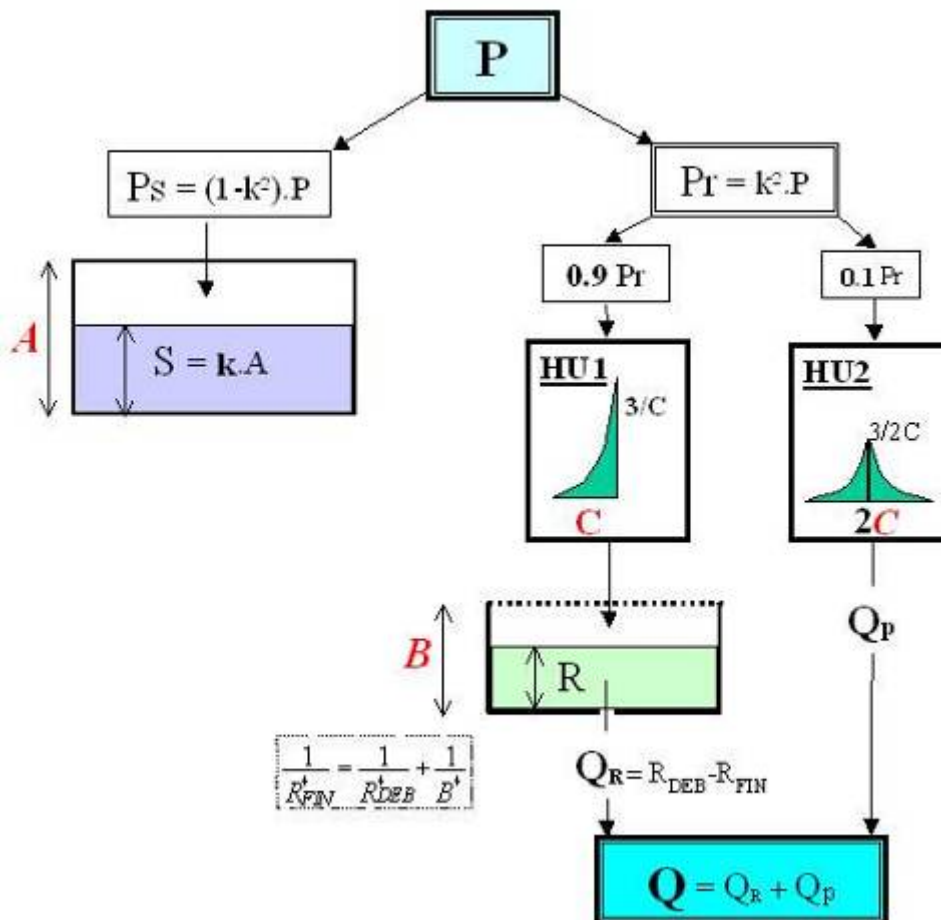
Le modèle hydrologique SCS utilisé à l'échelle locale des affluents est inadapté quand on raisonne à l'échelle globale du Vistre. En effet, le temps de réponse hydrologique du Vistre est plus long que ceux des affluents. Or, une des limites d'application de la méthode SCS se pose lorsque la durée de la pluie de projet devient largement supérieure au temps de concentration du bassin versant : la durée de pluie de projet considérée pour le Vistre est de 24 heures alors que les temps de concentration des affluents n'excèdent pas 6 heures.

Un autre modèle hydrologique a donc été utilisé pour simuler des pluies de durées plus longues. Il s'agit du modèle GR3H développé par le CEMAGREF qui permet d'introduire un paramètre supplémentaire qui vient préciser la « loi de vidange » du bassin versant.

Remarque : Le modèle SCS a été utilisé sur les affluents du Vistre car il permet de proposer une approche homogène à l'échelle du bassin versant : le paramétrage de calage d'infiltration (Curve Number ou CN) est déduit des caractéristiques d'occupation et de nature des sols (ce que ne permet pas le modèle GR3H : paramètres non régionalisables).

Le modèle pluie-débit GR3H (Edijatno & Michel, 1989) fonctionne avec un réservoir de production (paramètre A), complété par un hydrogramme unitaire (paramètre C) et un réservoir (paramètre B) pour le transfert, d'où un total de 3 paramètres (contre 1 seul pour SCS) et fonctionne au pas de temps horaire.

## Schéma de principe du modèle GR3H

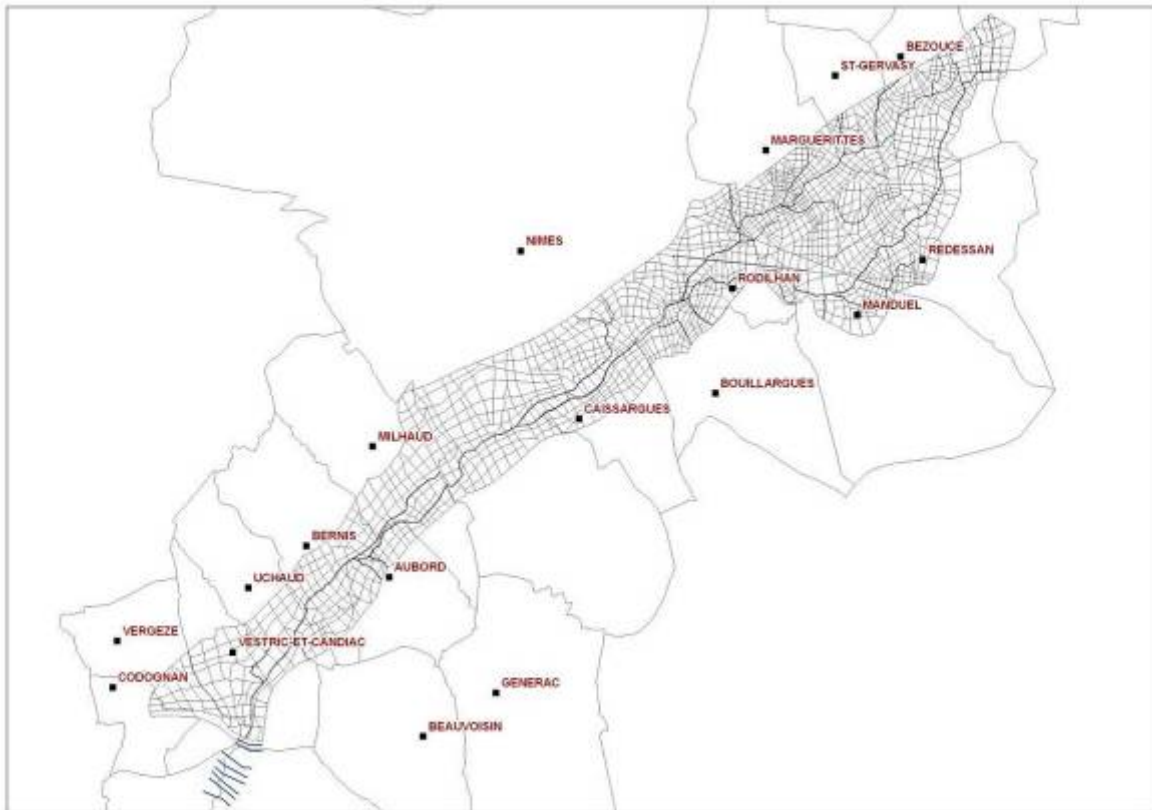


Sur l'ensemble des sous-bassins versants du Vistre dont l'exutoire correspond à un point d'injection dans le « modèle plaine » du Vistre (57 au total), le modèle GR3H a été calé de manière à reproduire les mêmes hydrogrammes que le modèle SCS sur les affluents. Par défaut le paramètre  $B$  de vidange a été réglé de manière à conserver un écoulement continu entre les deux pointes pour le double évènement de septembre 2005.

Les hydrogrammes obtenus injectés dans le modèle « plaine » du Vistre et du Buffalon sont fournis en annexe 2 (les points d'injection sont localisés sur la carte des bassins versant fournie en pièce jointe).

## 2.4.2 Structure du modèle

Le modèle de la plaine du Vistre et du Buffalon comporte 1735 casiers et 86 km de lits mineurs :



Les casiers sont reliés entre eux par des lois de rugosité (cas d'une délimitation au niveau du terrain naturel), de seuil (cas d'une route en remblai) et/ou d'orifice (cas d'ouvrage de décharge). Les lits mineurs, décrits par des profils en travers sur lesquels sont résolus les équations de Barré de Saint Venant, sont reliés aux casiers par des lois de déversement de type seuil ayant pour géométrie le profil en long des berges.

### 2.4.3 Condition limite aval

#### Condition limite aval pour la crue centennale du Vistre

Concernant la condition limite aval du modèle Vistre, les résultats de l'étude en cours menée par le SMBVV sur la commune du Cailar (SAFEGE 2010-2012) ont été intégrés. En effet cette étude prend en compte tous les écoulements et les conditions susceptibles d'influer sur les niveaux du Vistre en crue : crues du Rhône, crues du Vidourle, fermeture des portes du Vidourle, influence du niveau marin, crues du Rhône.

L'analyse des concomitances de ces phénomènes réalisée dans cette étude montre que :

- ▶ Les réponses du Vistre, du Rhône et du Vidourle font apparaître des décalages temporels mais sont en phase à l'échelle de la journée ; les comportements hydrologiques de ces bassins versant ne sont donc pas déconnectés,
- ▶ Les crues des cours d'eau sont souvent concomitantes avec un niveau marin supérieur à 0,8 mNGF,
- ▶ La surcote marine à 2.5mNGF a une très faible influence sur l'inondabilité de la commune du Cailar (ainsi que les crues du Rhône).

Plusieurs scénarios de crue ont été d'ores et déjà étudiés (résultats présentés sur les cartes ci-après).

L'aléa qui est retenu pour le PPRi est, en chaque point, le maximum des résultats entre les scénarios de crue suivants :

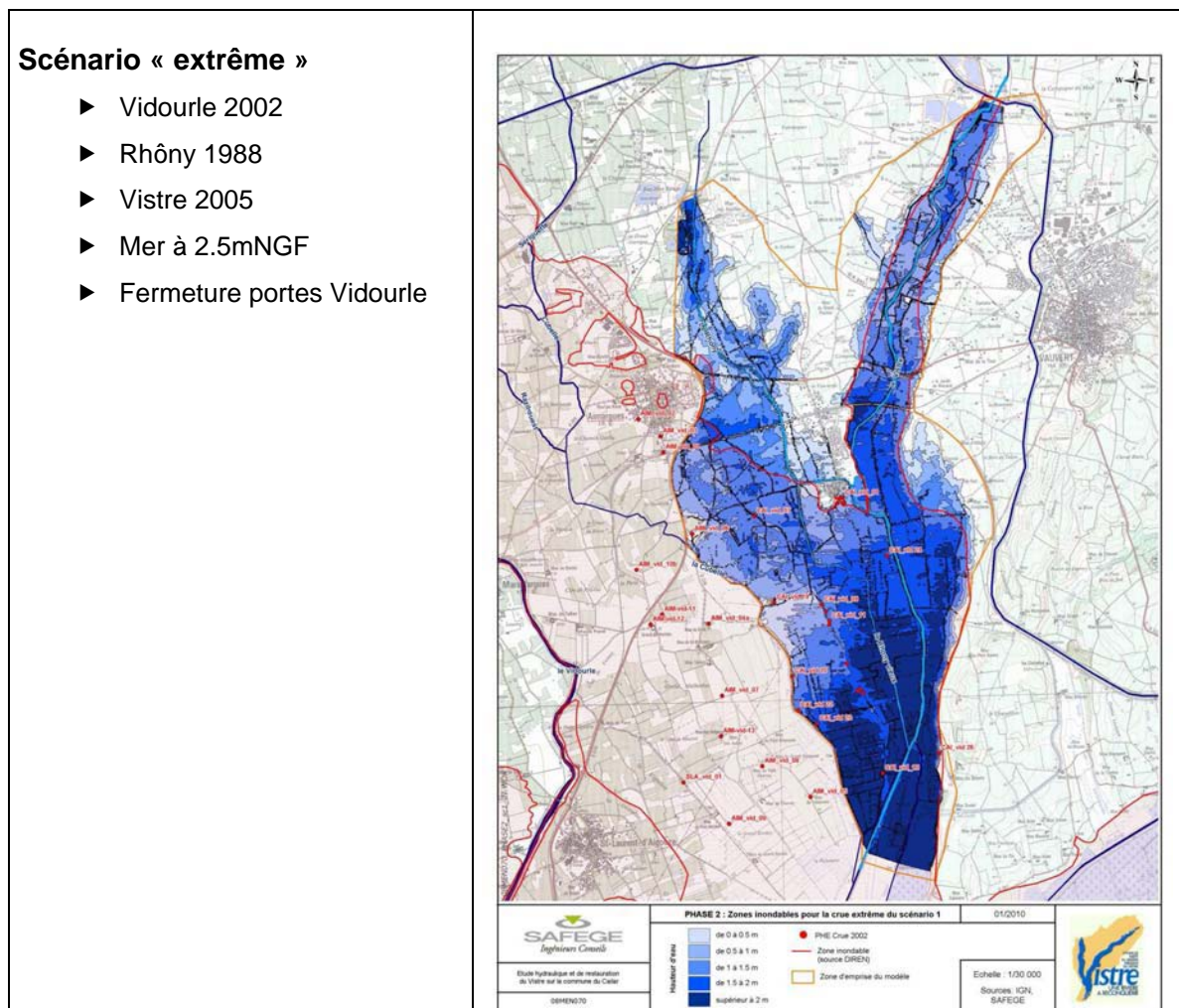
- ▶ Octobre 1988 sur le Rhony
- ▶ Septembre 2002 sur le Vidourle
- ▶ Crue centennale du Vistre.

Chaque scénario hydrologique est modélisé avec une influence marine calée à 1mNGF.

En ce qui concerne les digues de protection des lieux habités, deux cas de figure sont examinés:

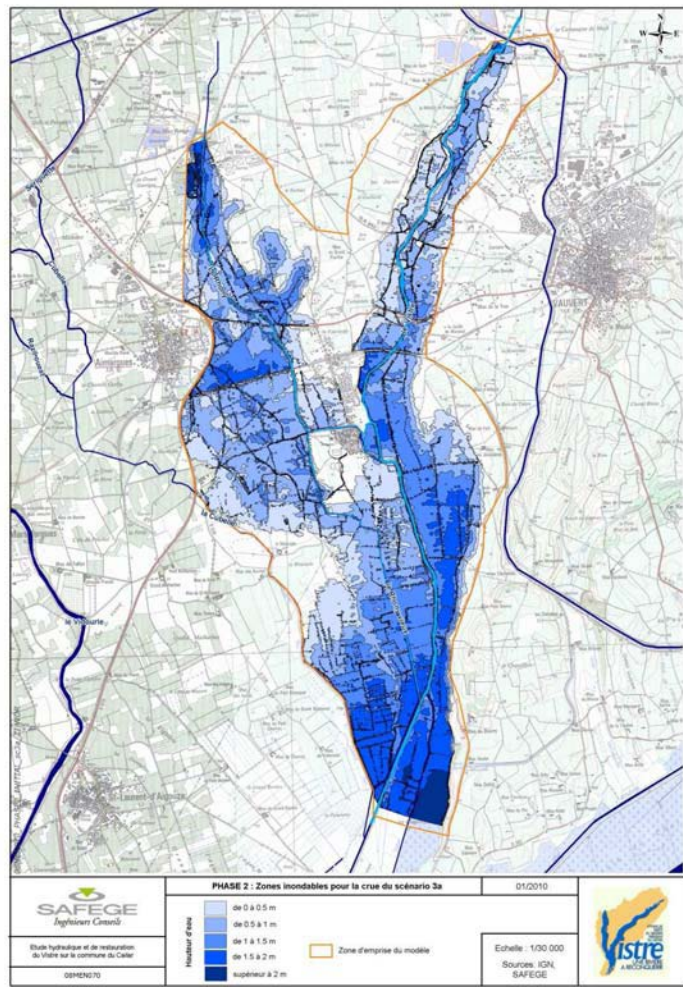
- ▶ cas 1 : digues actuelles prises en compte,
- ▶ cas 2 : digues du centre ville résistantes, effacement des digues du Vistre, ruptures et surverses sur tout le linéaire des digues du Rhony.

La figure ci-après présente à titre indicatif un des scénario



**Scénario « 1988 »**

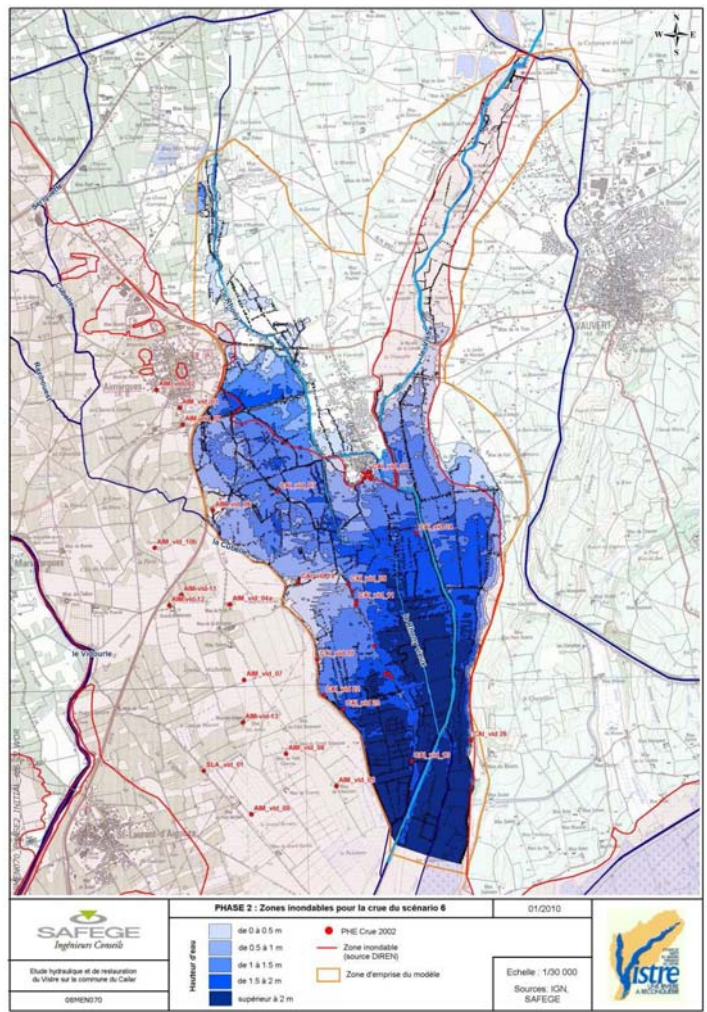
- ▶ Rhône 1988
- ▶ Vistre à 200 m<sup>3</sup>/s
- ▶ Mer à 2.5mNGF





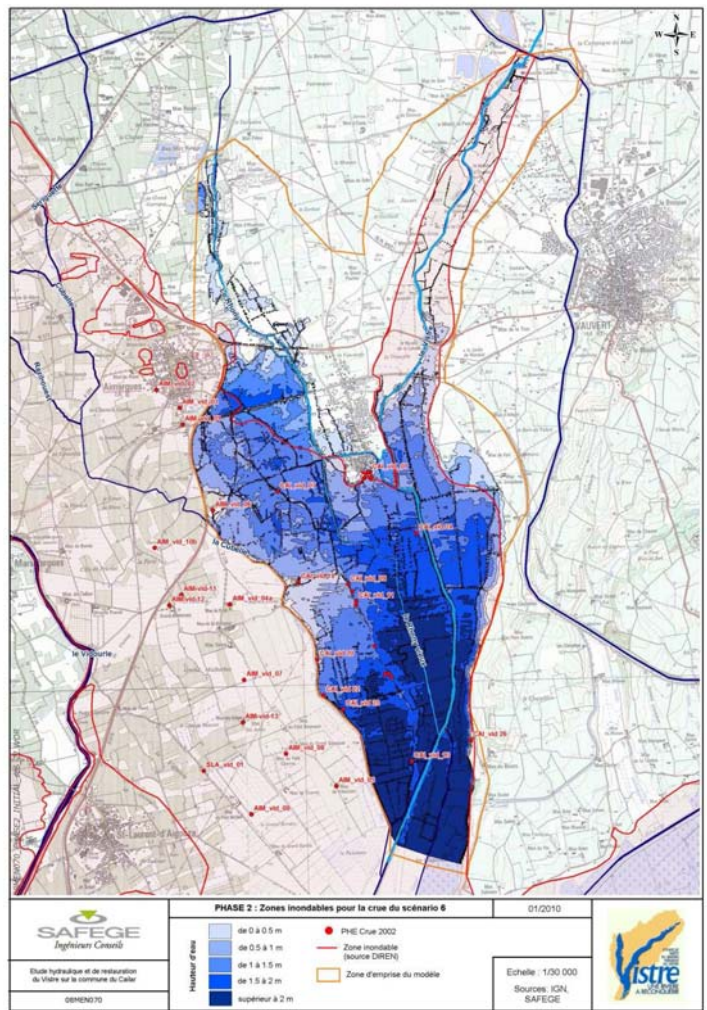
**Scénario « 2002 »**

- ▶ Vidourle 2002
- ▶ Rhône Q100
- ▶ Vistre Q10
- ▶ Mer à 1mNGF
- ▶ Fermeture portes Vidourle



**Scénario « Vistre 400 m<sup>3</sup>/s »**

- ▶ Rhône Q100
- ▶ Vistre 400m<sup>3</sup>/s
- ▶ Mer à 2.5mNGF

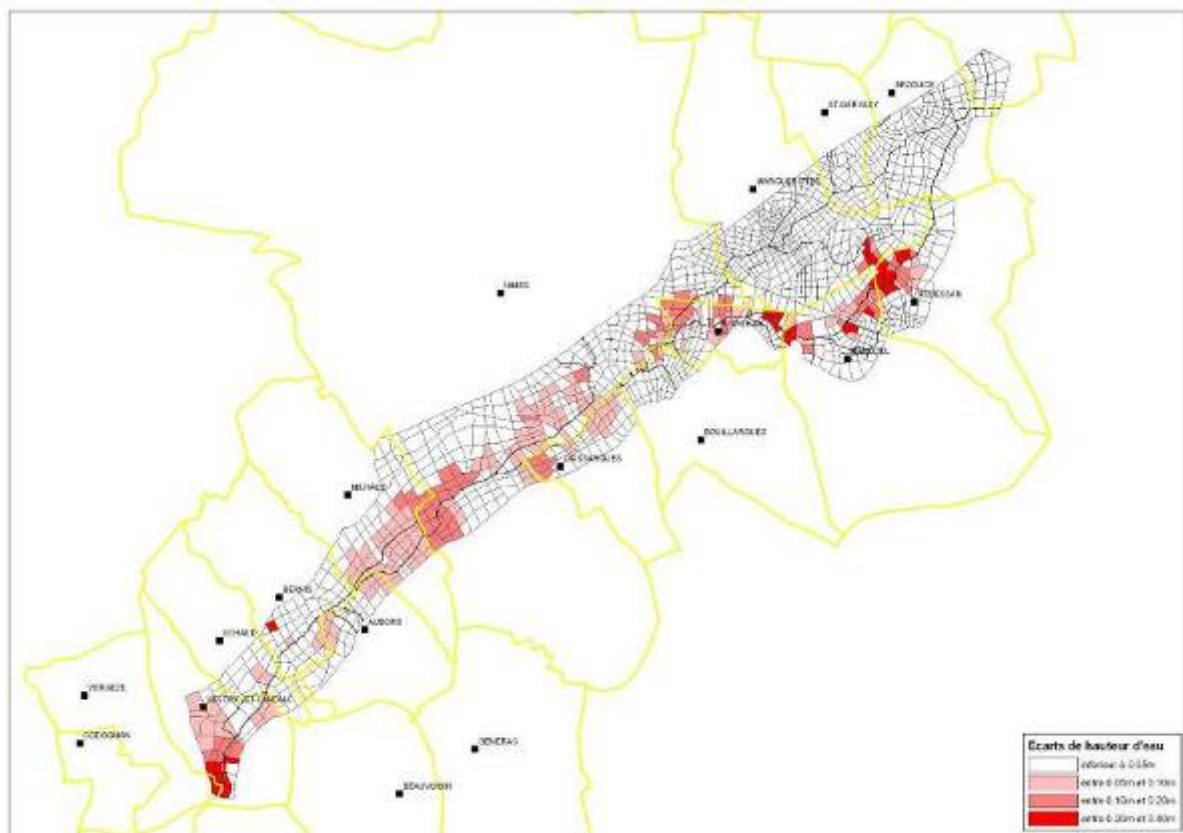


## 2.4.4 Calage sur la crue de 2005

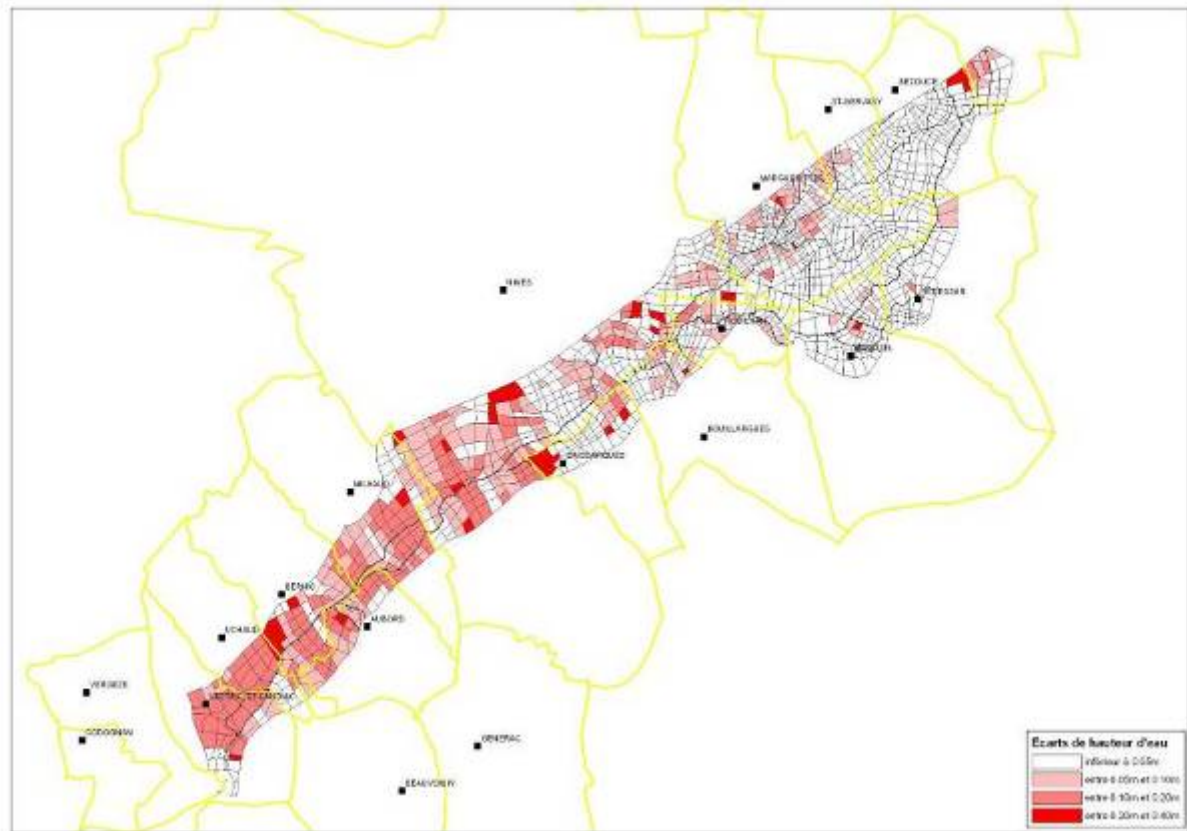
L'analyse préalable des PHE permet d'écartier les repères « douteux » pour le calage de la crue de septembre 2005. Le calage repose ensuite sur deux catégories de PHE : les « validées », qui sont jugées fiables et qu'on analysera en priorité, et les « incertaines », pour lesquelles un doute est permis et un regard plus critique sera porté lors de la comparaison avec les cotes d'eau calculées.

### *Test de sensibilité sur les coefficients de rugosité*

**En lit mineur :** la rugosité initialement fixée à 20 a été remontée à 30, ce qui est relativement élevé pour ce type de lit mineur. Les variations obtenues sur les hauteurs d'eau calculées sont cartographiées ci-dessous et montrent que le réglage de ce paramètre affecte peu les résultats (variations généralement inférieures à 20cm).



**En lit majeur :** la rugosité fixée à 10 a été remontée à 15, ce qui est élevé pour ce type de champ d'écoulement. Les variations obtenues sur les hauteurs d'eau calculées sont cartographiées ci-dessous et montrent que le réglage de ce paramètre affecte peu les résultats (variations généralement inférieures à 20cm).

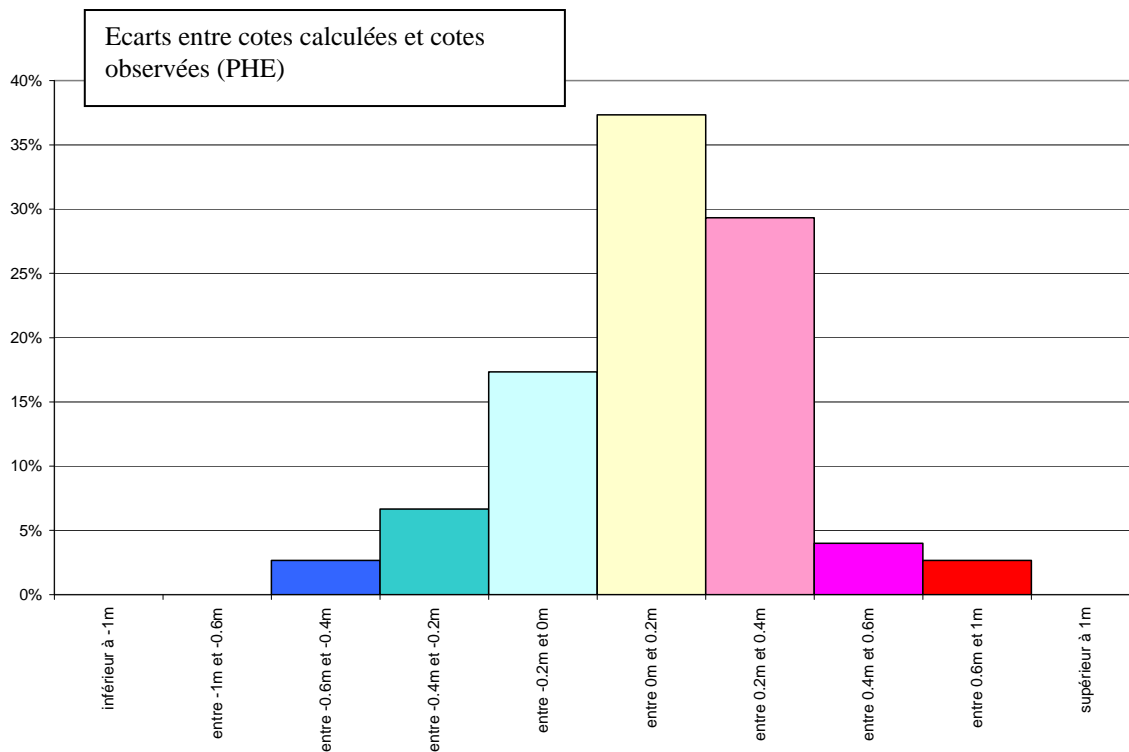


Suite à ces tests de sensibilités, il a été retenu un coefficient de rugosité de 30 en lit mineur et de 10 en lit majeur.

### Résultats du calage

Les tests de calage ont principalement portés sur des paramètres hydrologiques (réglage des hydrogrammes).

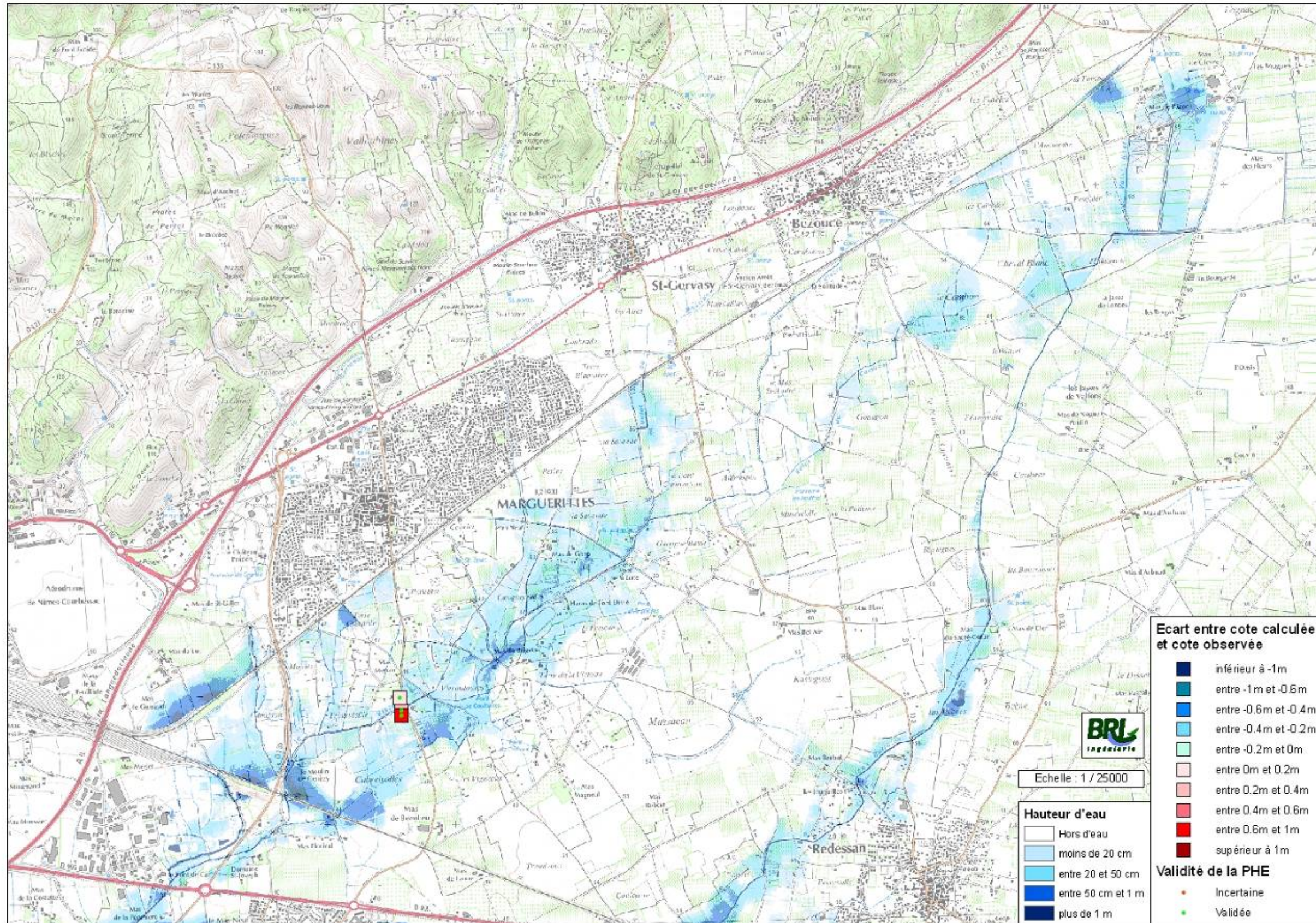
Après avoir écarté les écarts entre cote calculées et cote observée (PHE) expliqués (26), les écarts restants (75) peuvent être classés de la manière suivante :

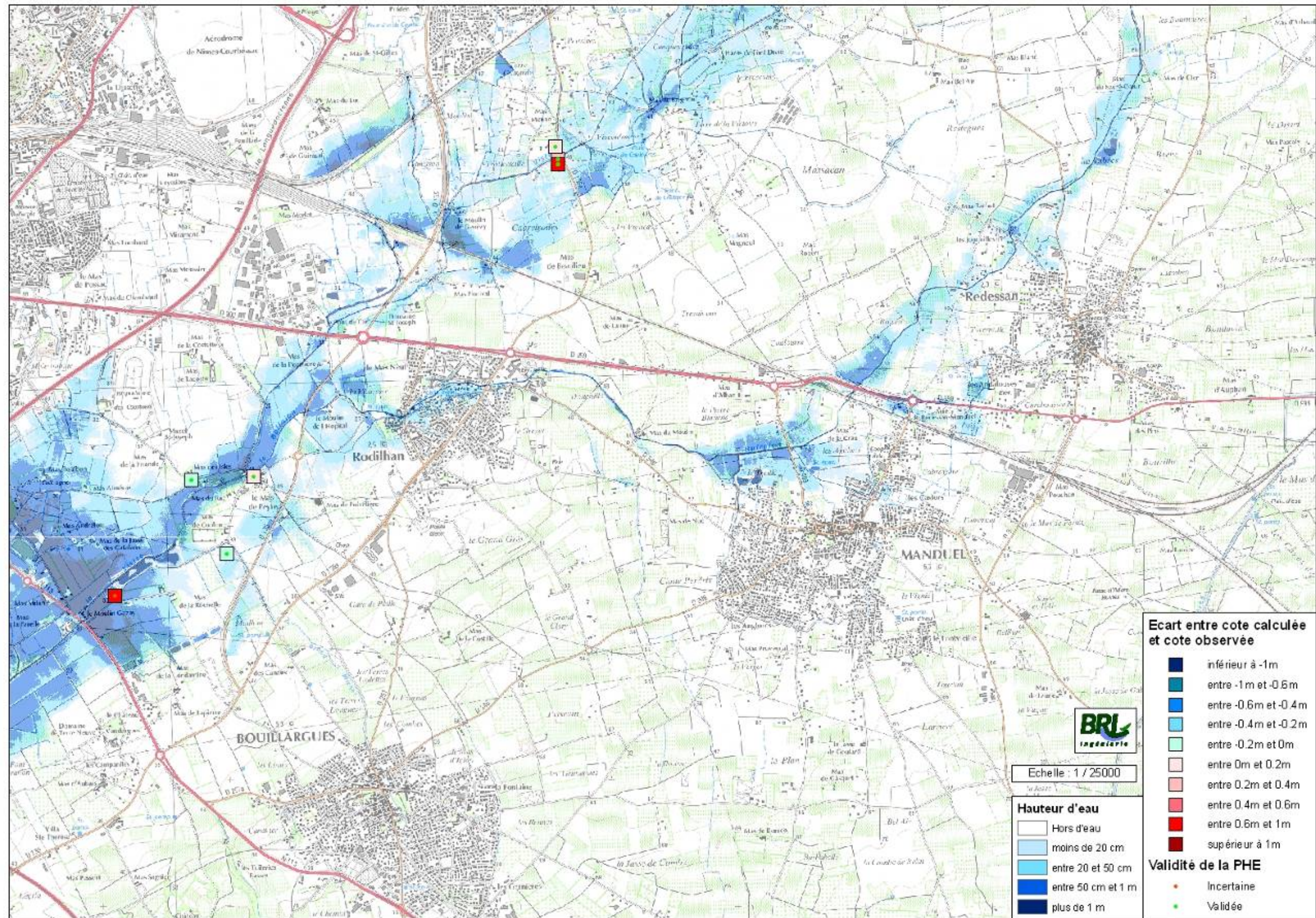


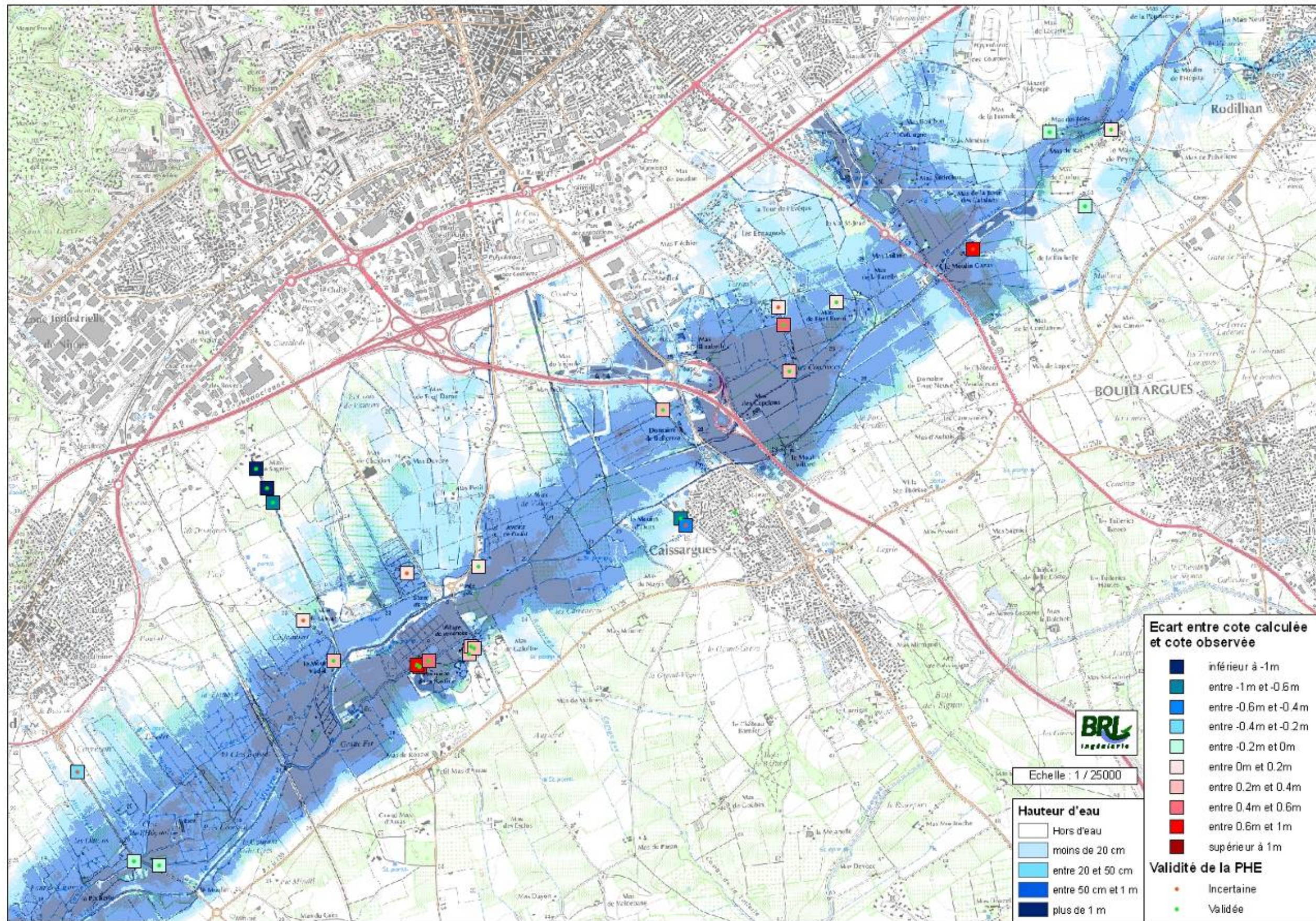
### Analyse spatiale des écarts observés

Les vues ci-après permettent de visualiser la zone inondable obtenue pour la crue 2005 calée, ainsi que les écarts obtenus entre les cotes observées et les cotes calculées. (Les écarts importants expliqués, notamment par la présence d'écoulements latéraux à la plaine du Vistre et non modélisés dans le modèle plaine, ont été conservés dans cette analyse).

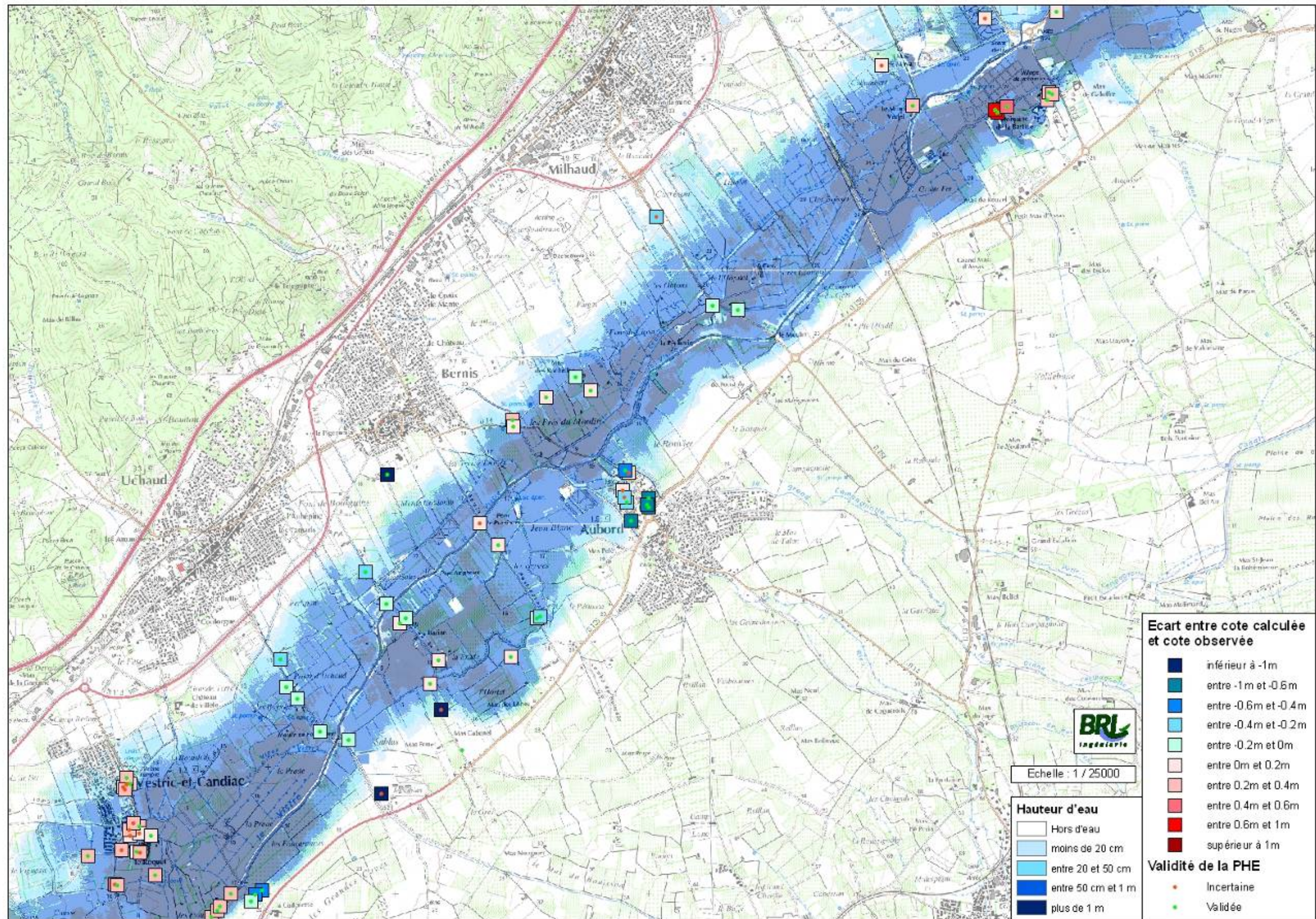


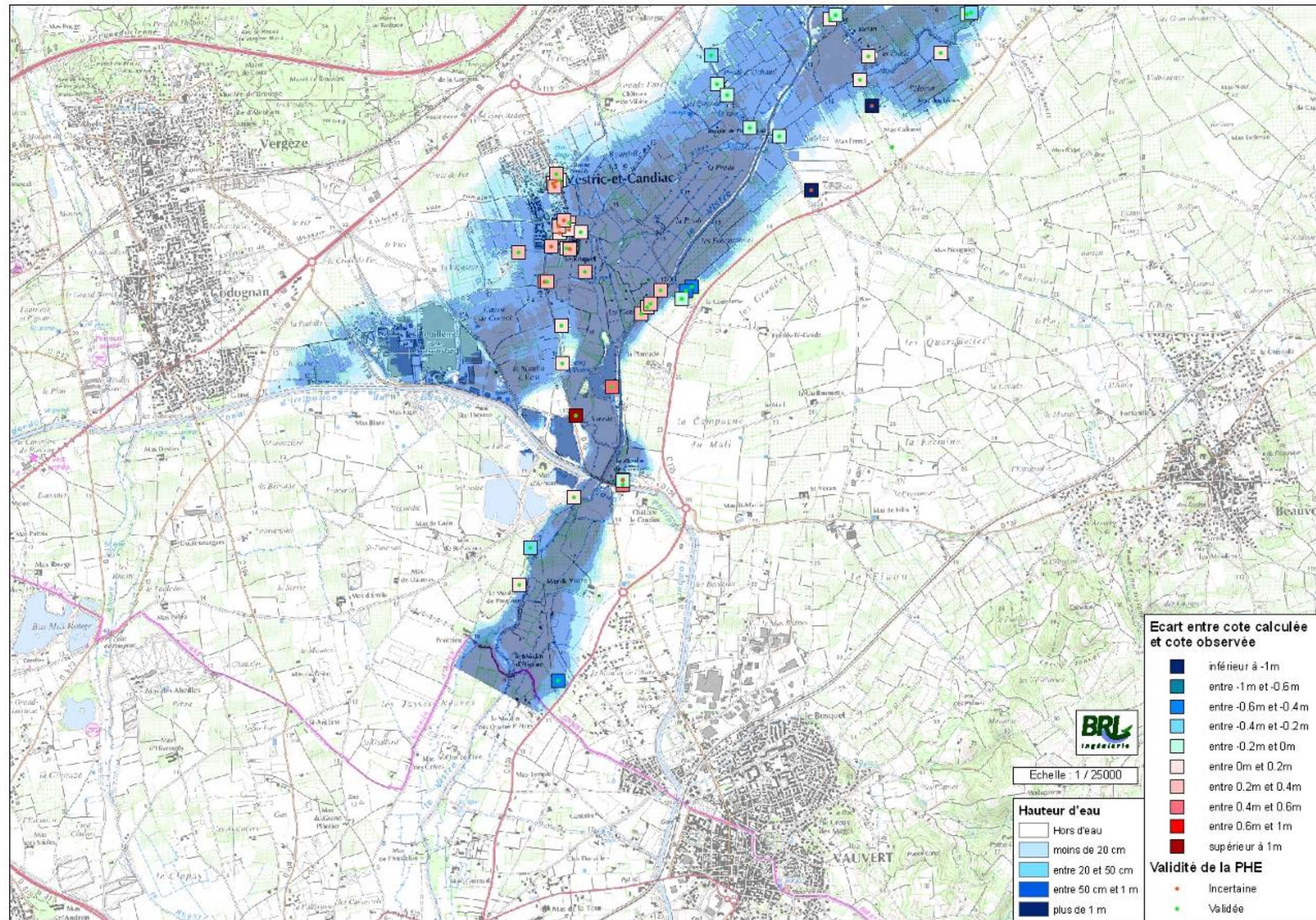












## CONCLUSION SUR LE CALAGE

Le calage sur les repères de la crue du 8 septembre 2005 est considéré comme satisfaisant.

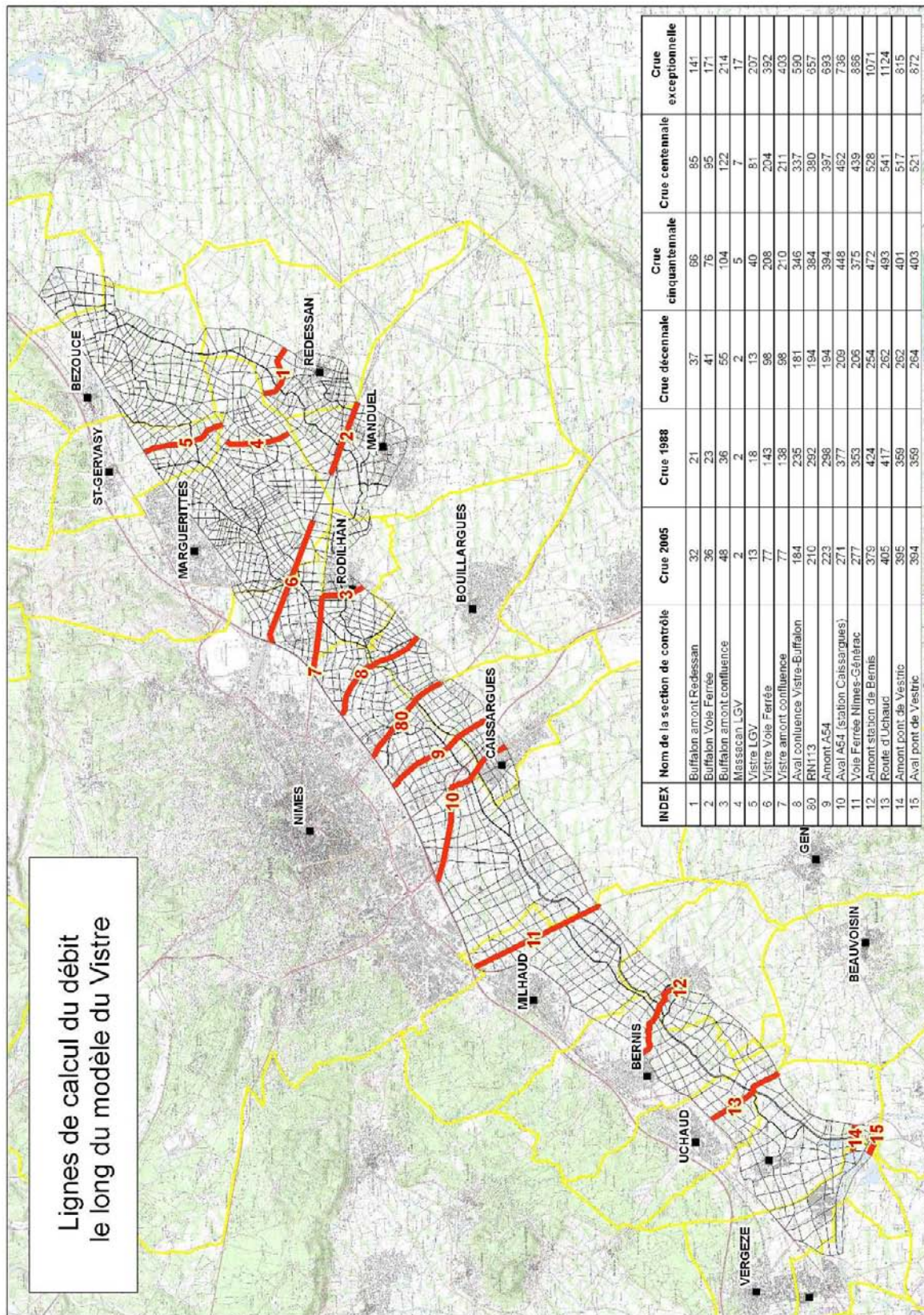
Les repères de PHE pour les crues de 1988, 2002 et 2003 sont trop peu nombreux (Cf. tableau § 221) pour envisager un calage complémentaire.

### 2.4.5 Résultats des simulations

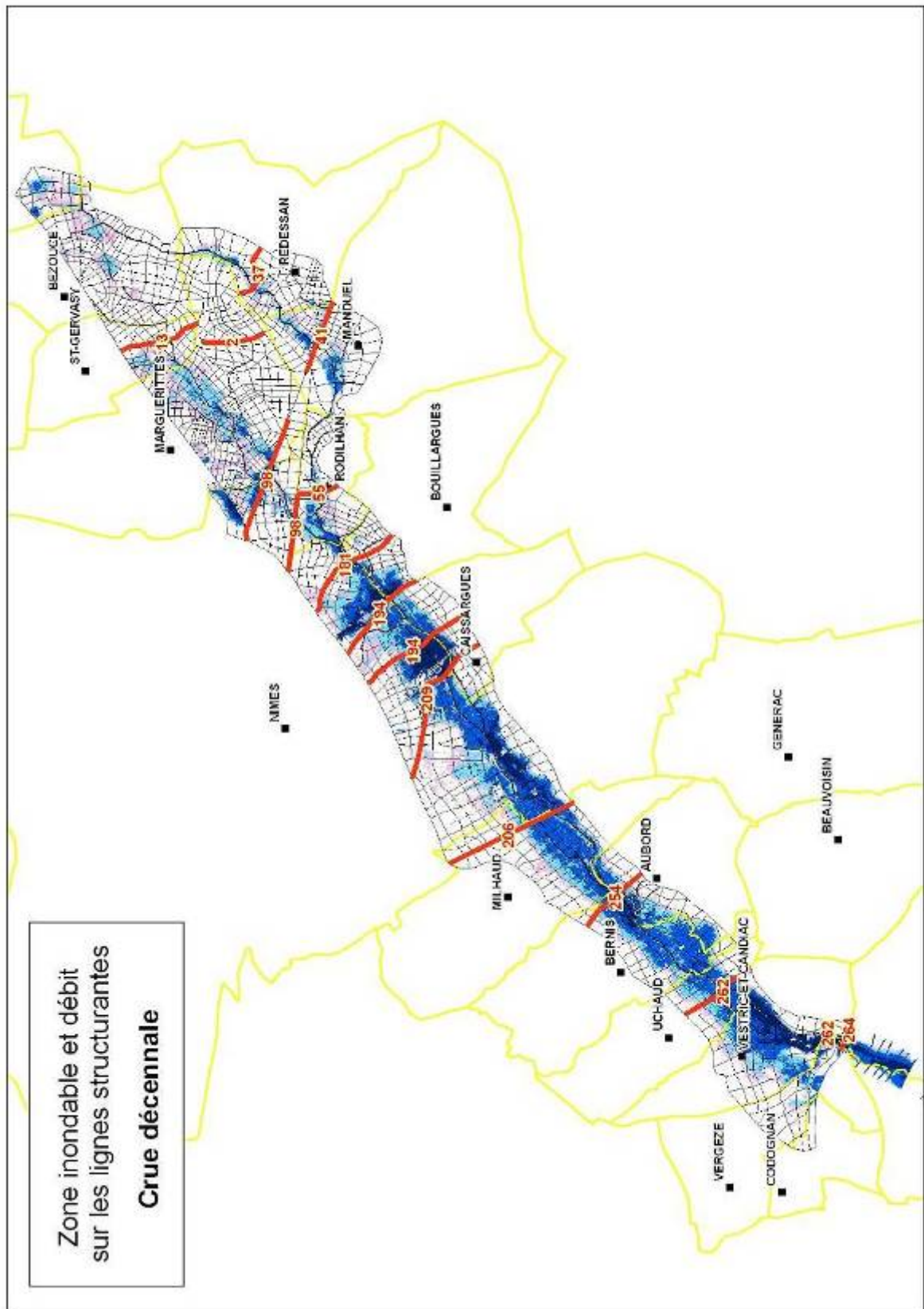
Les débits transitant le long du Vistre et du Buffalon sont présentés en différents points au droit de lignes de calcul correspondant généralement aux lignes structurantes (routes et voies ferrées).

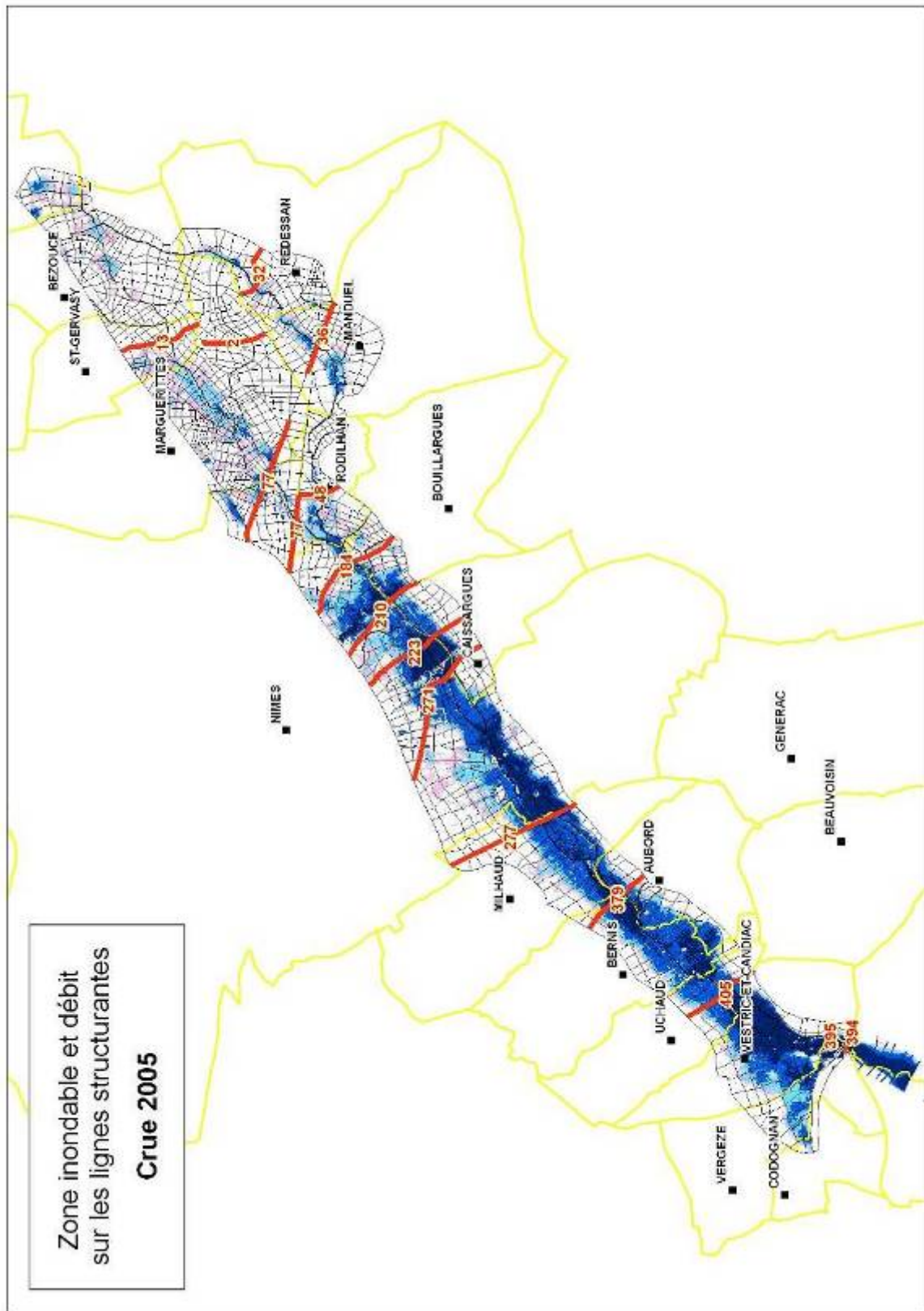
Les débits et zones inondées obtenus sont figurés et synthétisés sur les cartes ci-après.

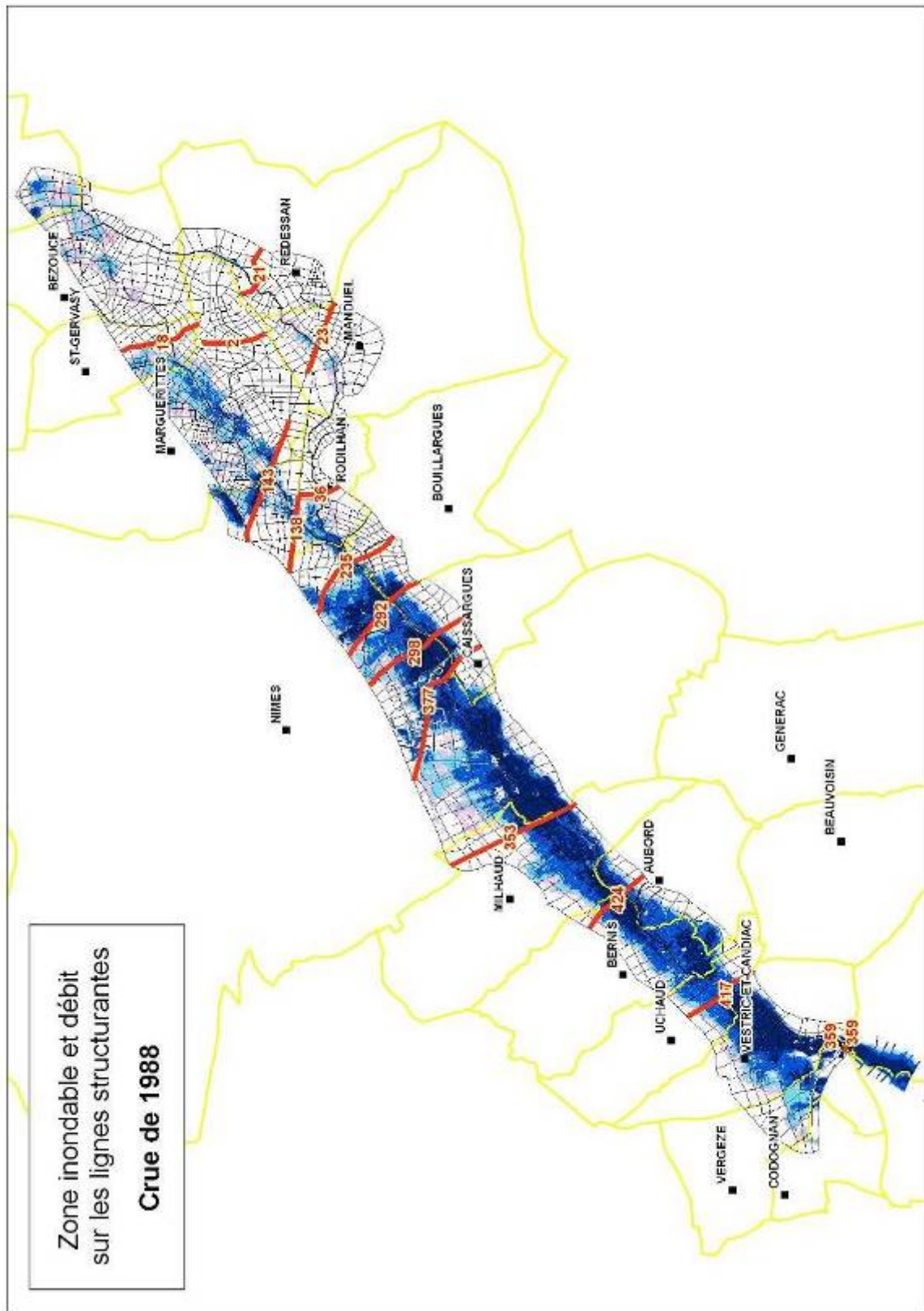
Les hydrogrammes correspondants sont fournis en annexe 3.

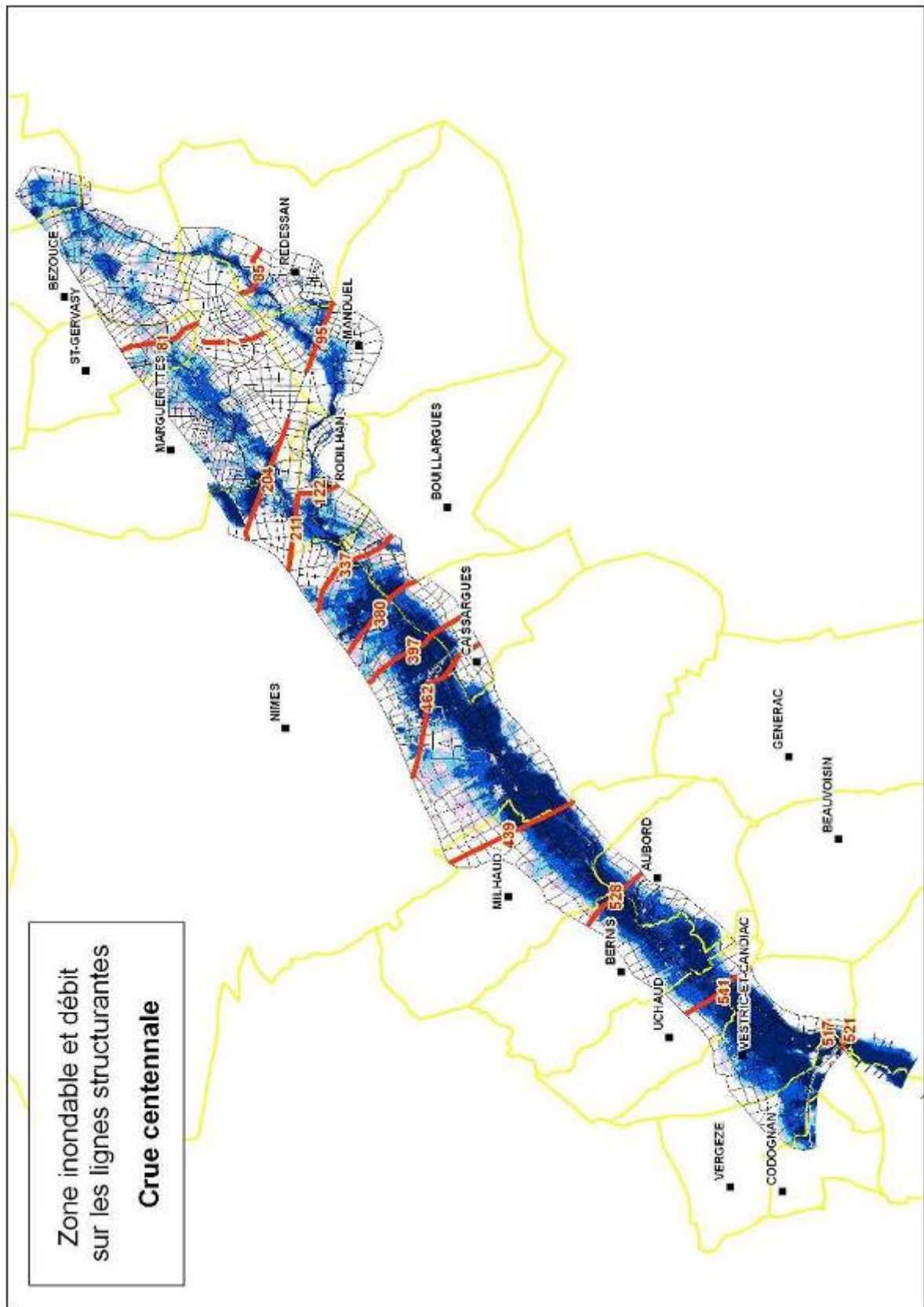


INDEX	Nom de la section de contrôle	Crue 2005	Crue 1988	Crue décennale	Crue cinquantennale	Crue centennale	Crue exceptionnelle
1	Buffalon amont Redessan	32	21	37	66	85	141
2	Buffalon Voie Ferrée	36	23	41	76	95	171
3	Buffalon amont confluence	48	36	55	104	122	214
4	Massacaa LGSV	2	2	2	5	7	17
5	Vistre LGSV	13	18	13	40	81	207
6	Vistre Voie Ferrée	77	143	98	208	204	352
7	Vistre amont confluence	77	138	98	210	211	403
8	Aval confluence Vistre-uffalon	184	235	181	346	337	590
9	Amont A54	223	292	194	384	390	657
10	Aval A54 (station Caissargues)	271	377	209	448	462	736
11	Voie Ferrée Nîmes-Général	277	353	206	375	439	855
12	Amont station de Bernis	379	424	254	472	528	1071
13	Route d'Uchaud	405	417	262	493	541	1124
14	Amont pont de Vestric	395	359	262	401	517	815
15	Aval pont de Vestric	394	359	264	403	521	872

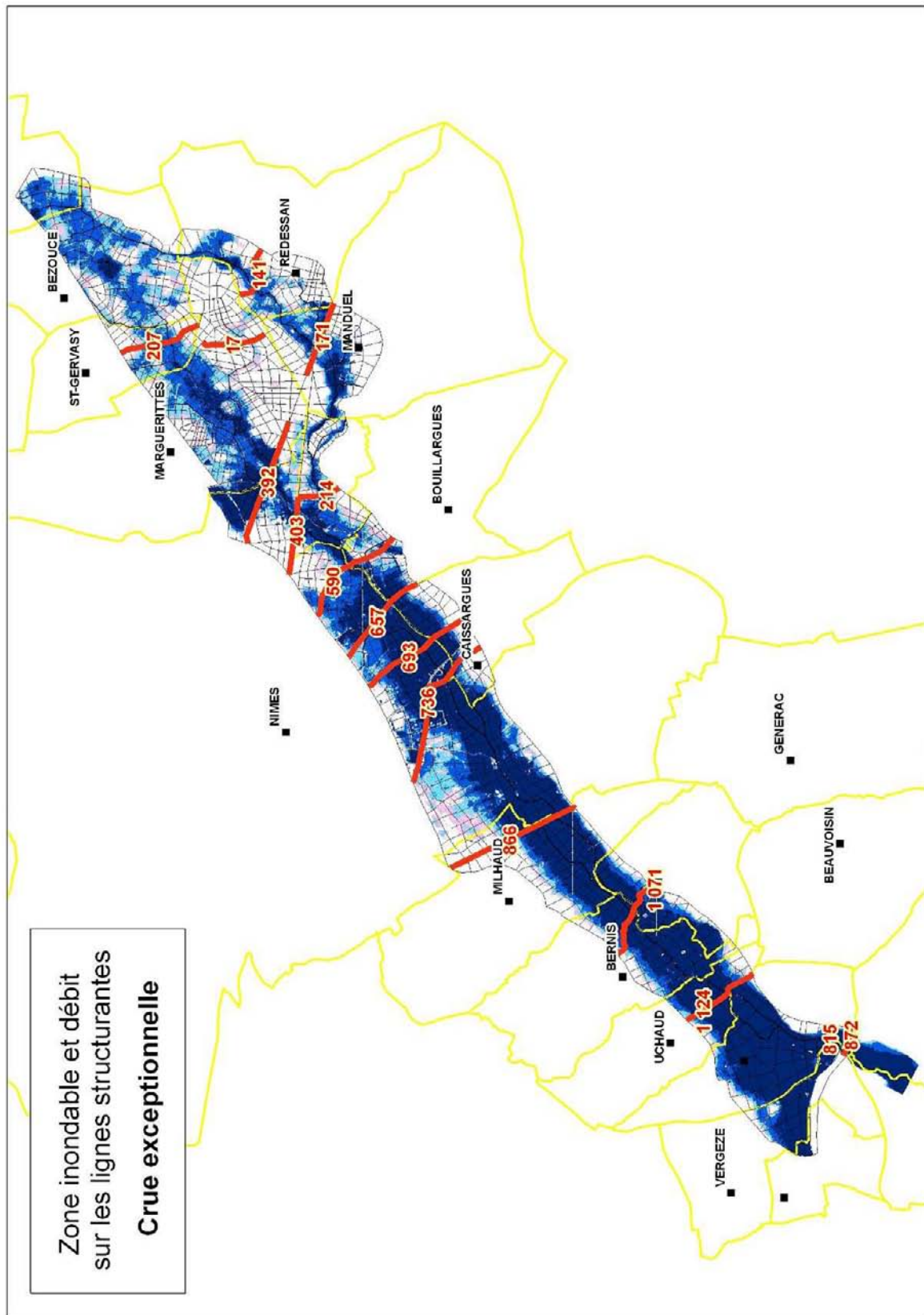












La crue centennale est donc plus débordante que les crues historiques majeures récentes de 1988 et 2005, qui ont sensiblement les mêmes niveaux d'aléa entre elles à partir de l'aval de Nîmes.

La crue de 2005 peut être qualifiée en termes d'occurrence de la manière suivante :

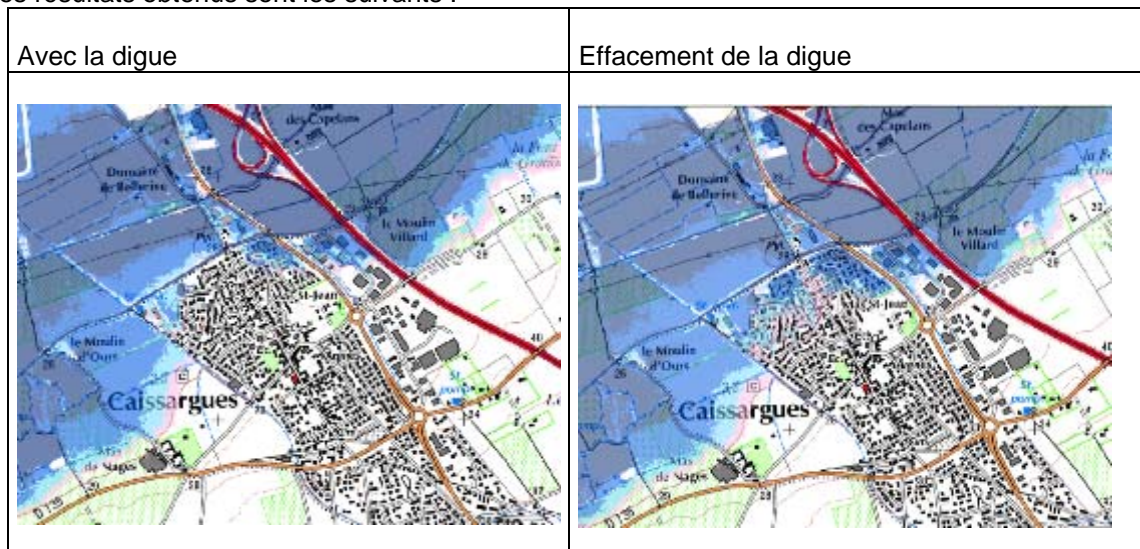
- ▶ Légèrement inférieure à la crue décennale sur le Buffalon et le Haut Vistre jusqu'à la confluence avec le Buffalon-Haut Vistre,
- ▶ Comprise entre 10 et 50 ans de la confluence Buffalon-Haut Vistre jusqu'à Uchaud
- ▶ D'occurrence 50 ans à partir de Vestric.

La crue décennale aboutit à un débit du Vistre à l'aval du modèle, au pont de Vestric, de 264 m<sup>3</sup>/s, la crue 2005 à 394 m<sup>3</sup>/s, la crue 1988 à 359 m<sup>3</sup>/s, la crue centennale à 521 m<sup>3</sup>/s.

### Scénario complémentaire d'effacement de la digue de protection de Caissargues

L'effacement de la digue de Caissargues pour la crue centennale du Vistre a été simulé en ramenant la cote du terrain naturel au droit de la digue à celle des terrains limitrophes, sur tout le linéaire de la digue, depuis l'A54 à l'amont jusqu'à la confluence avec le Mirman.

Les résultats obtenus sont les suivants :

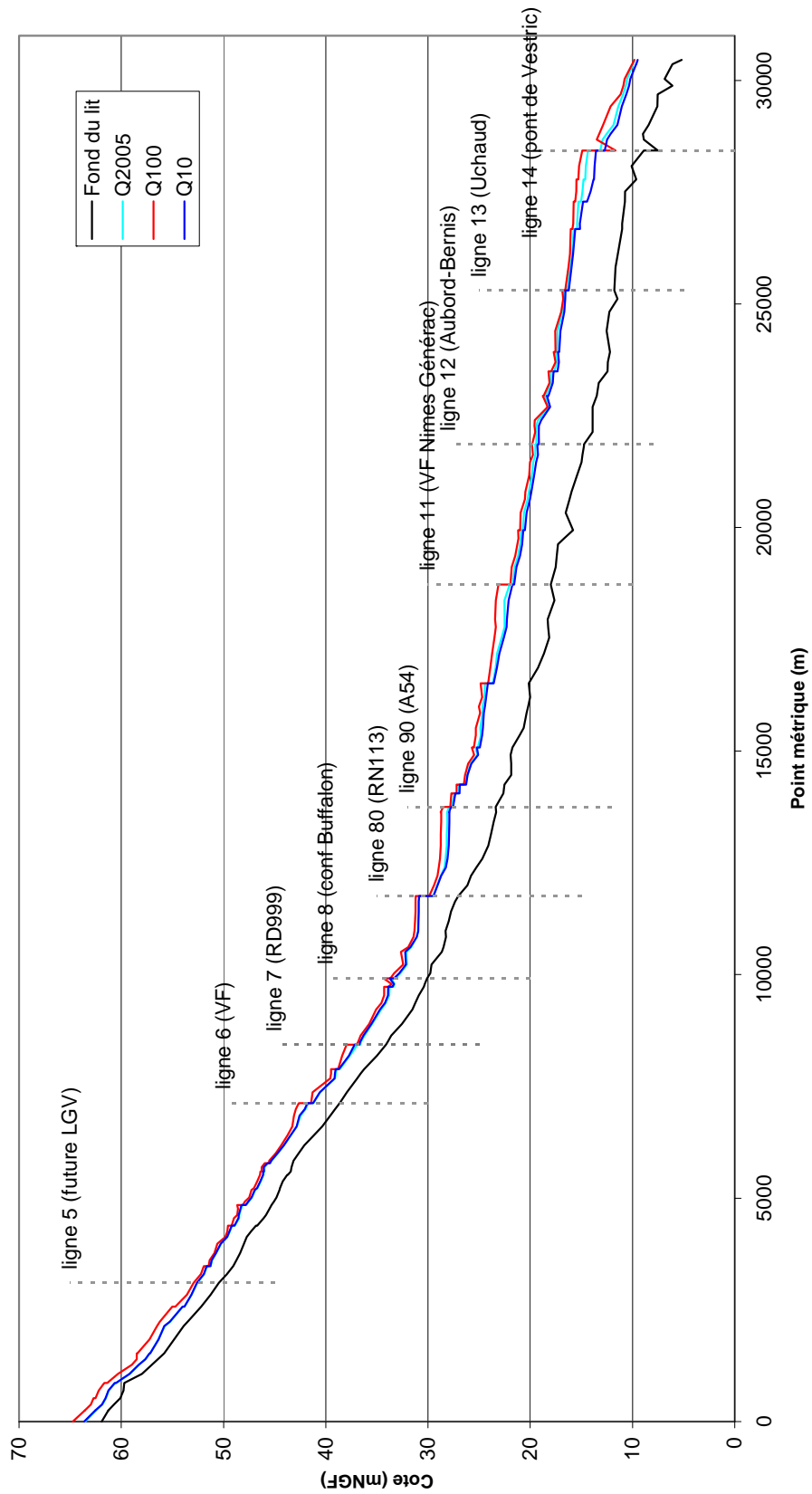


L'aléa de référence retenu sur Caissargues est le plus fort entre les 3 configurations de crue suivantes : crue centennale du Mirman, crue centennale du Vistre avec la digue, crue centennale du Vistre avec effacement de la digue.

### Analyse de l'impact des lignes structurantes

La ligne d'eau maximum du Vistre pour différentes crues modélisées est présentée sur le graphe ci-après.

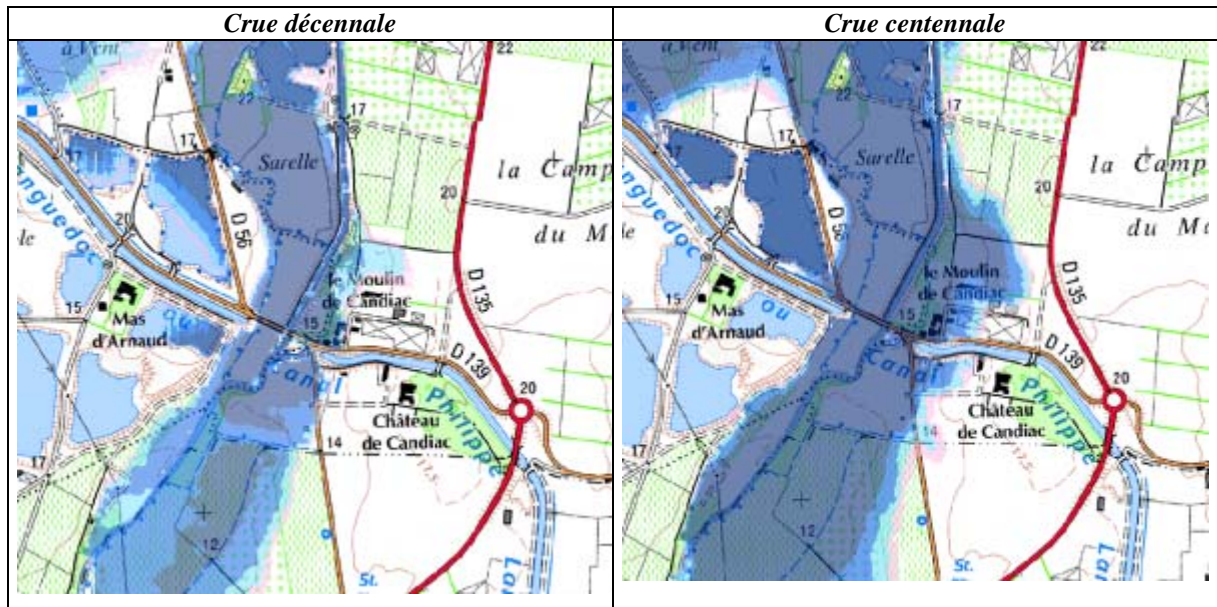
**Profil en long du Vistre**  
**Ligne d'eau maximum des différentes crues**



Le fonctionnement hydraulique des principaux ouvrages structurants est analysé ci-après.

### Pont de Vestric (ligne 14)

La totalité du débit du Vistre du secteur (limite communale de Vestric et du Cailar) passe par cet ouvrage ancien, qui comprend une section principale, 8 arches de décharge en rive droite, et 1 rive en rive gauche (bras du Moulin de Candiac).



Le pont a été modélisé pour les crues de 2005 et 1988 dans sa configuration antérieure à la crue de 2005 qui a provoqué une déstabilisation générale de l'ouvrage et une brèche.

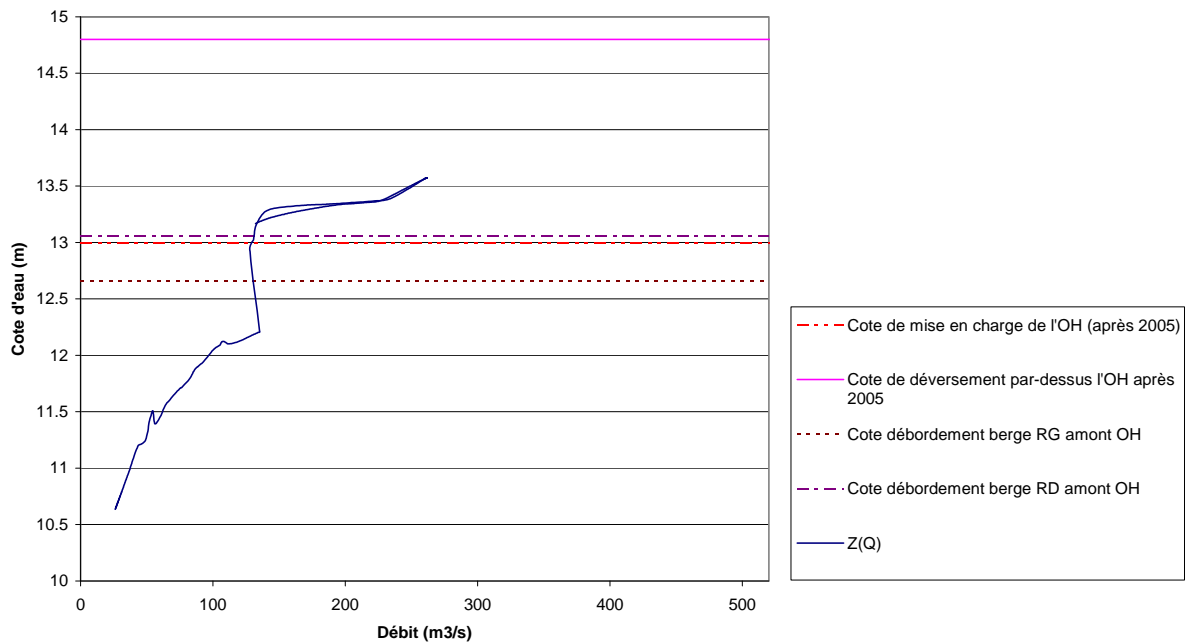
Le pont a été modélisé pour les crues 10 et 100 ans en situation actuelle, après les travaux de réparation et de confortement. La section d'écoulement du pont a été globalement assez peu modifiée lors des travaux, mais la cote de mise en charge est passée de 12,3 à 13,0 mNGF, et la cote de déversement de 13,4 à 14,8 mNGF. Le parti de modélisation du nouveau pont (qui présente un parapet pour moitié transparent) a été de prendre en compte une obstruction totale vis-à-vis des écoulements.

Les courbes présentant la cote à l'amont du pont en fonction du débit total transitant par la ligne de calcul permettent de mieux comprendre son fonctionnement.

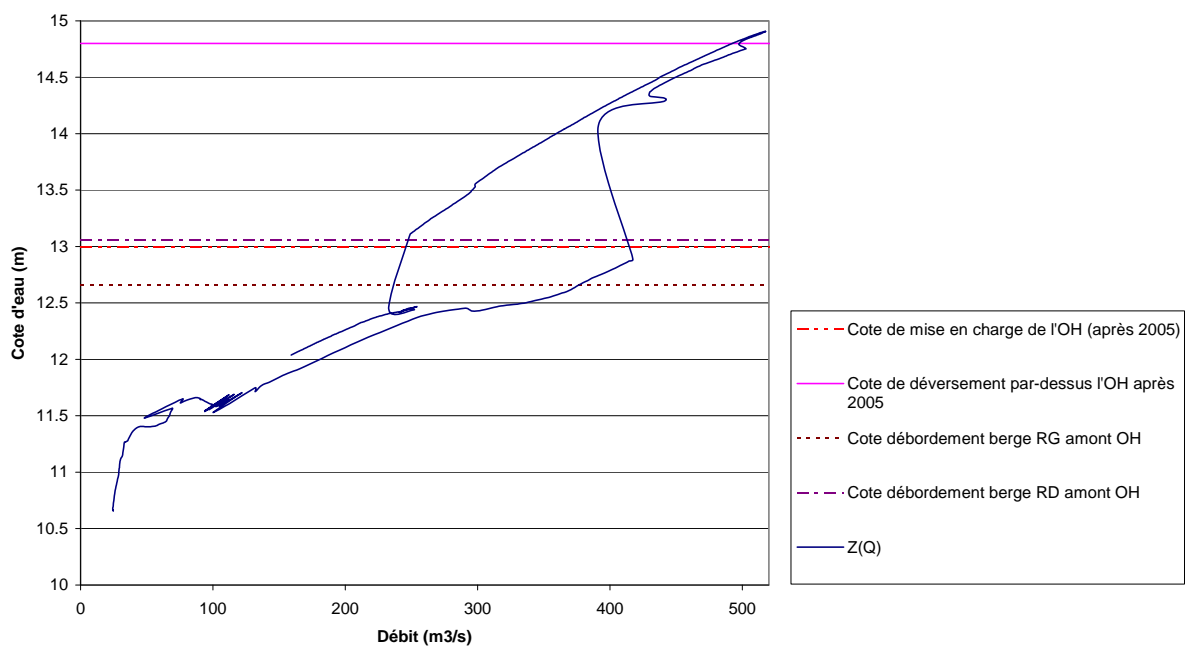
Le pont se met en charge rapidement et déverse pour la crue centennale, aux environ de  $500\text{m}^3/\text{s}$ .

Le remous en lit mineur induit par le pont de Vestric pour la crue centennale est d'environ 3.24 m.

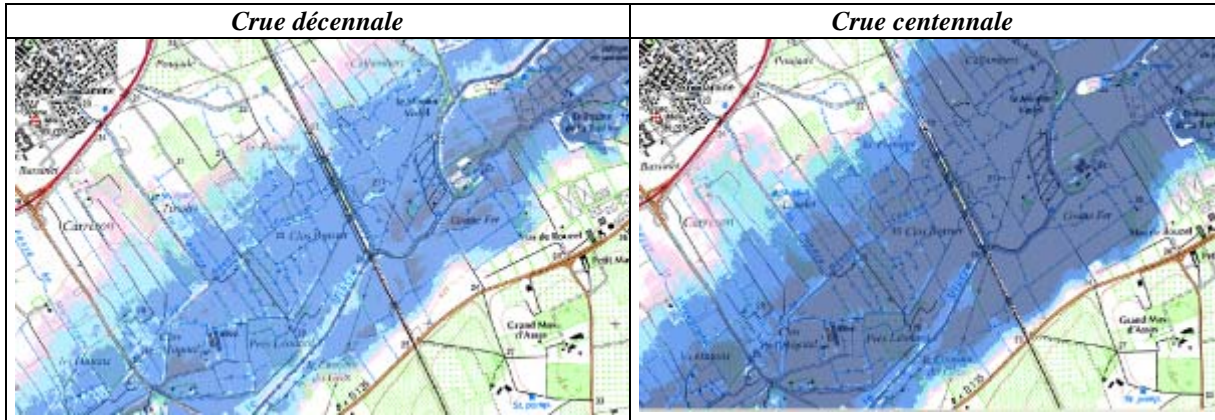
**Courbe Z(Q) 10ans amont du pont de Vestric (ligne 14)**



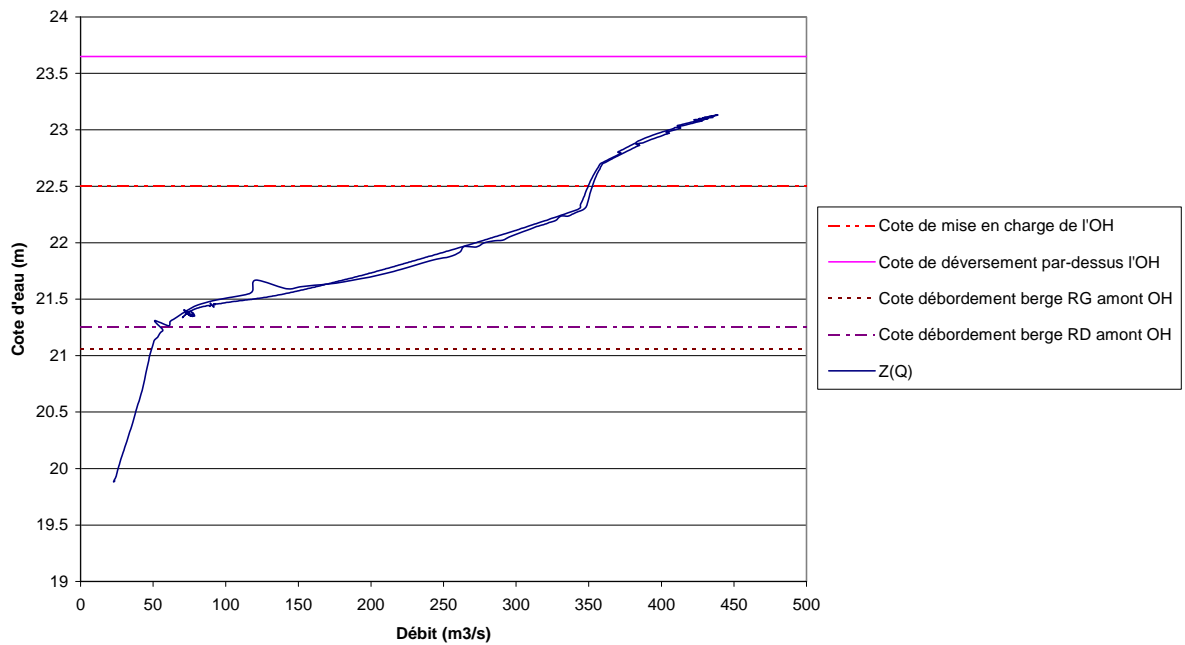
**Courbe Z(Q) 100ans amont du pont de Vestric (ligne 14)**



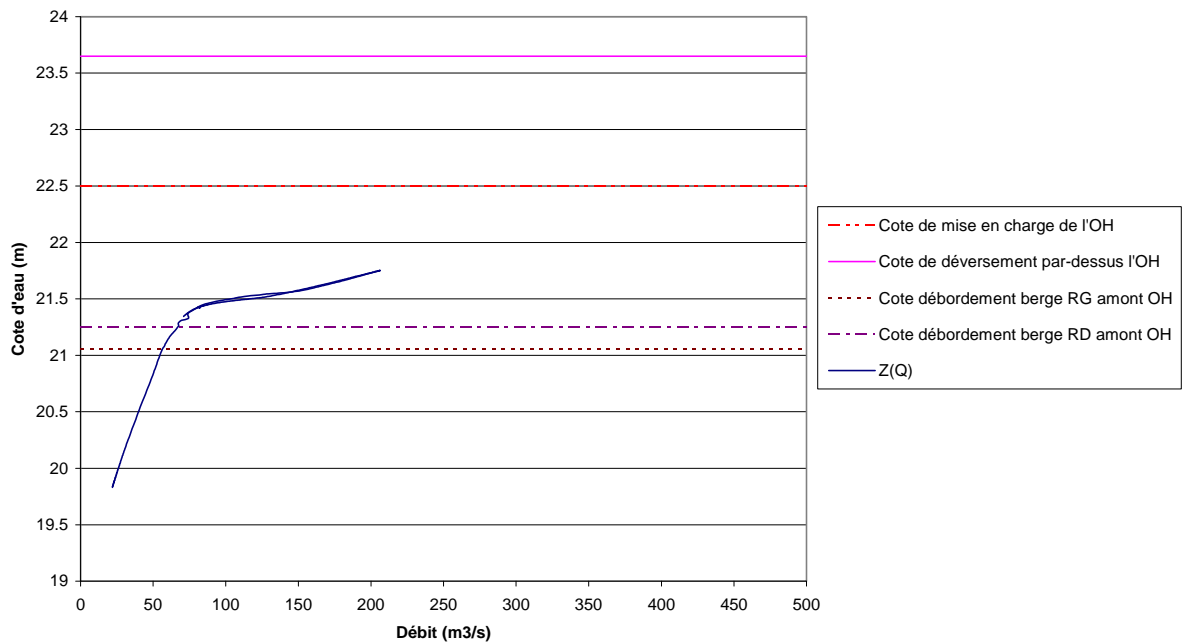
Voie ferrée Nîmes-Générac (ligne 11)



Courbe Z(Q) 100 ans Voie ferrée Nîmes Générac (ligne11)



Courbe Z(Q) 10 ans Voie ferrée Nîmes Générac (ligne11)

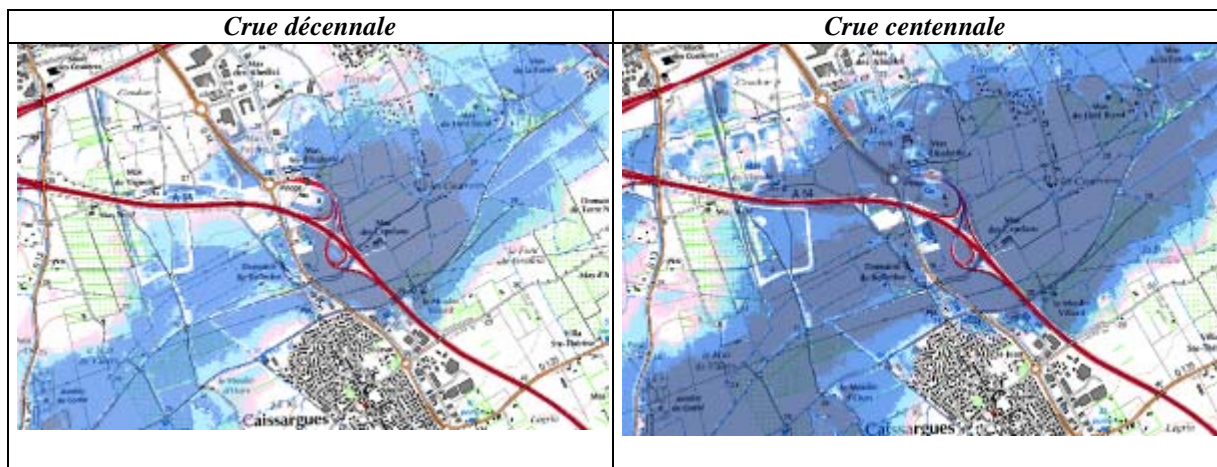


Les crues franchissent la voie ferrée en remblai par le pont principal sur le lit mineur et par 6 ouvrages de décharge répartis sur une largeur de champ majeur d'1 km (arches de plusieurs m<sup>2</sup> de section, 5 en rive droite, 1 en rive gauche).

La voie ferrée n'est jamais déversante, mais l'ouvrage principal passe en charge à partir de 350 m<sup>3</sup>/s.

Le remous en lit mineur induit par la voie ferrée Nîmes-Générac pour la crue centennale est d'environ 1.18 m.

### Autoroute A54



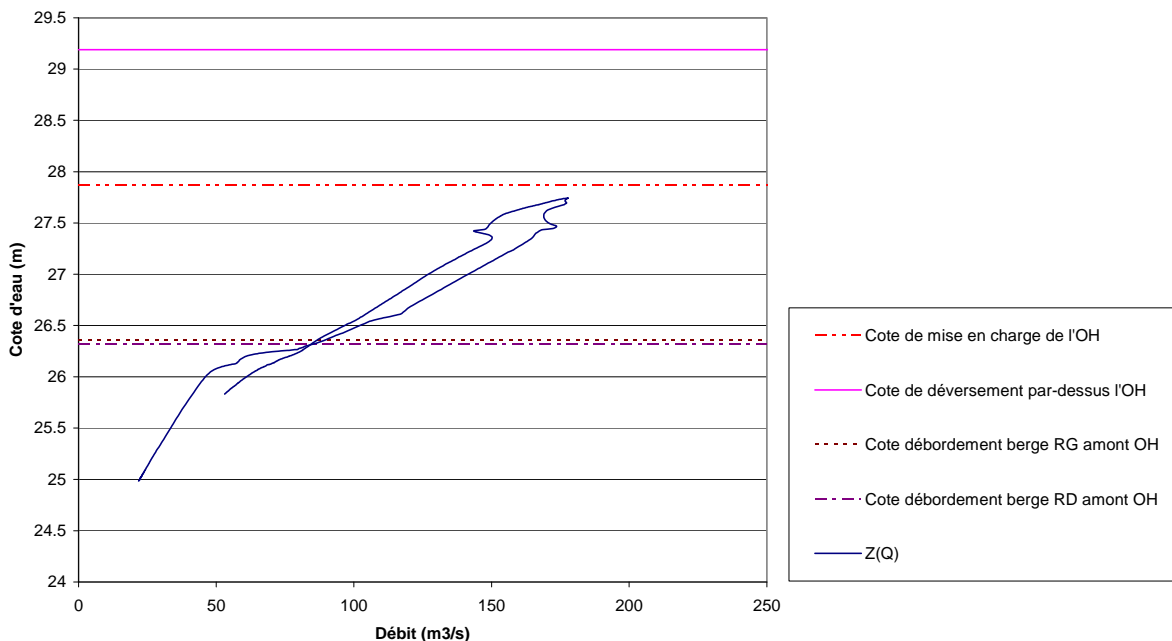
L'autoroute A54 située environ 300 m à l'amont de la RD42 n'est pas inondée par la crue centennale sur tout son linéaire. Elle est successivement franchie de l'ouest vers l'est par : 2 ouvrages reprenant les apports pluviaux de Ville Active, le cadereau d'Alès, 2 ouvrages situés à proximité du giratoire du péage, le passage routier de la RD42, puis les 2 ouvrages des 2 bras du Vistre.

La RD 42 n'est pas submergée par les crues du Vistre au sud de l'autoroute, mais est inondée par la crue centennale plus loin en rive droite, dans le secteur du giratoire du péage de l'autoroute.

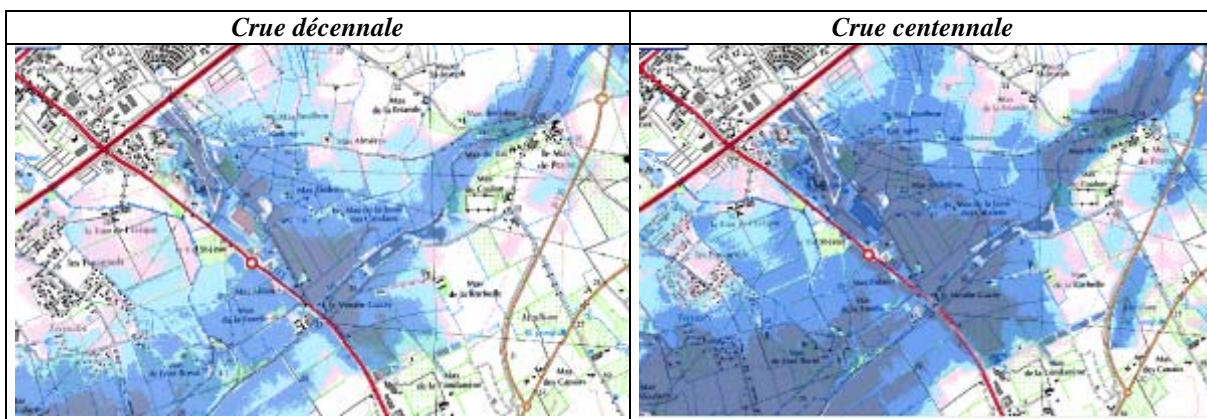
Le remous en lit mineur induit par l'A54 pour la crue centennale est d'environ 0.67 m.

Le fonctionnement hydraulique du secteur est complexe, du fait de la présence de l'A54 et de la RD42 en remblais, de l'endiguement important des lits mineurs, de la multitude des ouvrages et des apports provenant des cadereaux de Nîmes qui se répartissent de manière complexe en rive droite.

Courbe Z(Q)10 ans amont A54

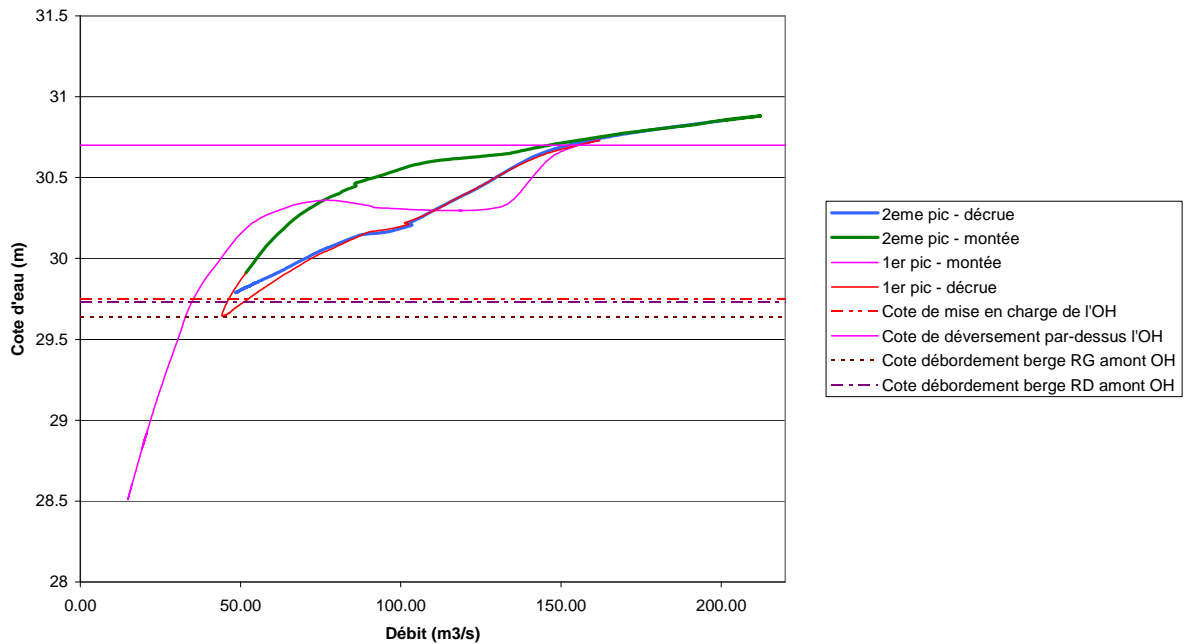


Route d'Arles – RN113 (ligne 80)





Courbe Z(Q) 2005 RN113 / route d'Arles (ligne 80)

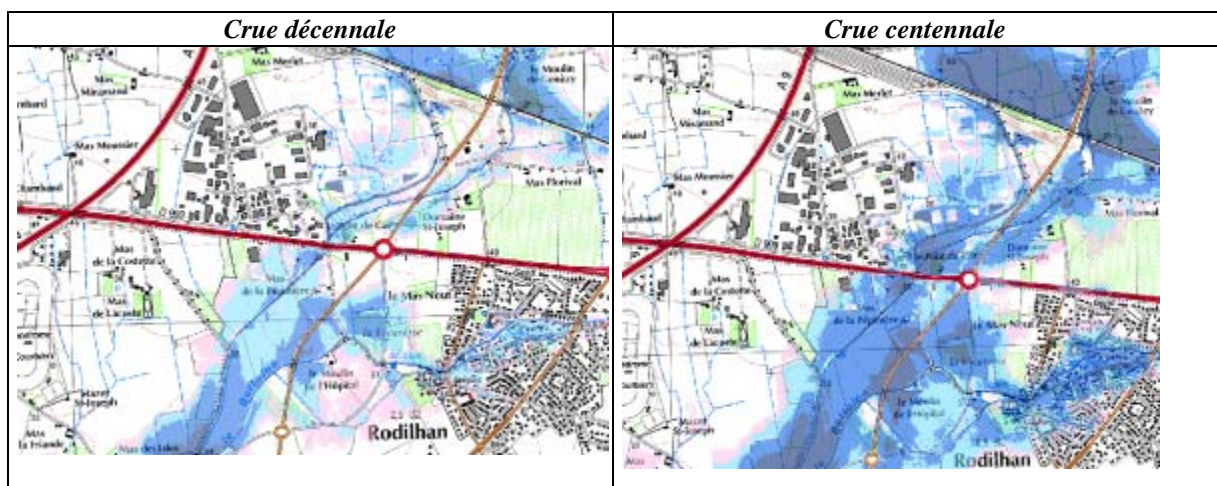


Il existe également sur ce secteur un deuxième bras du Vistre qui franchit la RN113 en rive droite et qui reprend la part des apports du cadereau d'Uzès qui n'a pas débordée vers le Vistre entre l'A9 et la route d'Arles.

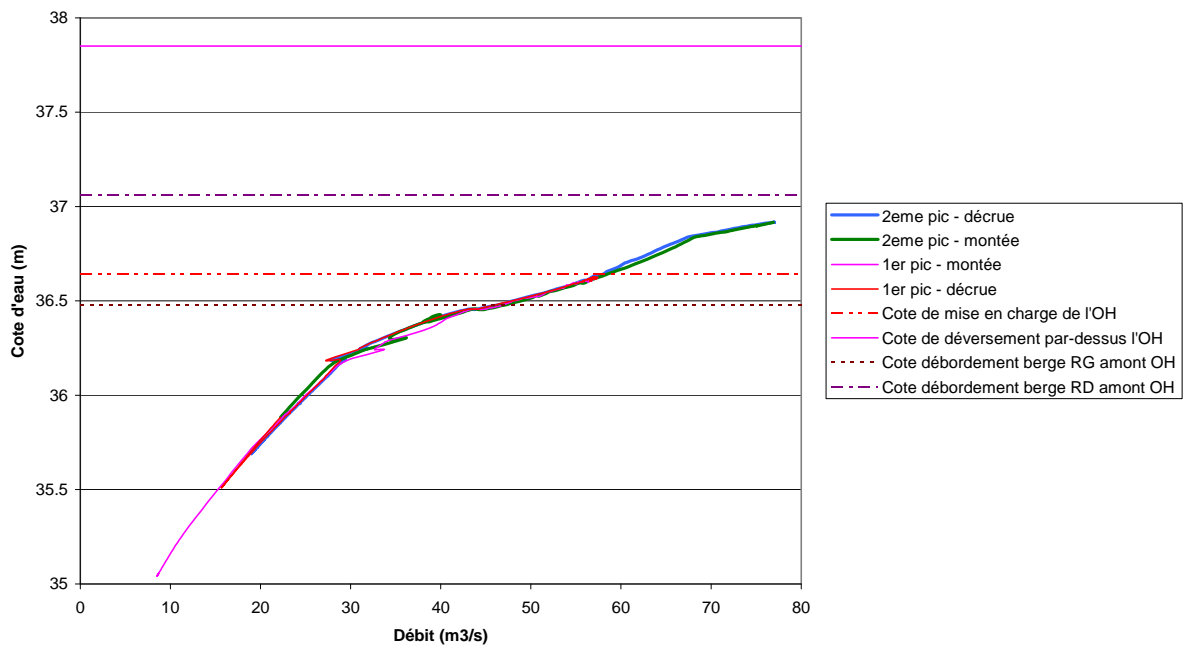
Le pont du Vistre sur la RN113 est mis en charge très rapidement, avant 50 m<sup>3</sup>/s, et déverse à partir de 150 m<sup>3</sup>/s (crue décennale : 194 m<sup>3</sup>/s, crue centennale : 380 m<sup>3</sup>/s).

Le remous en lit mineur induit par la RN113 pour la crue centennale est d'environ 1.31 m

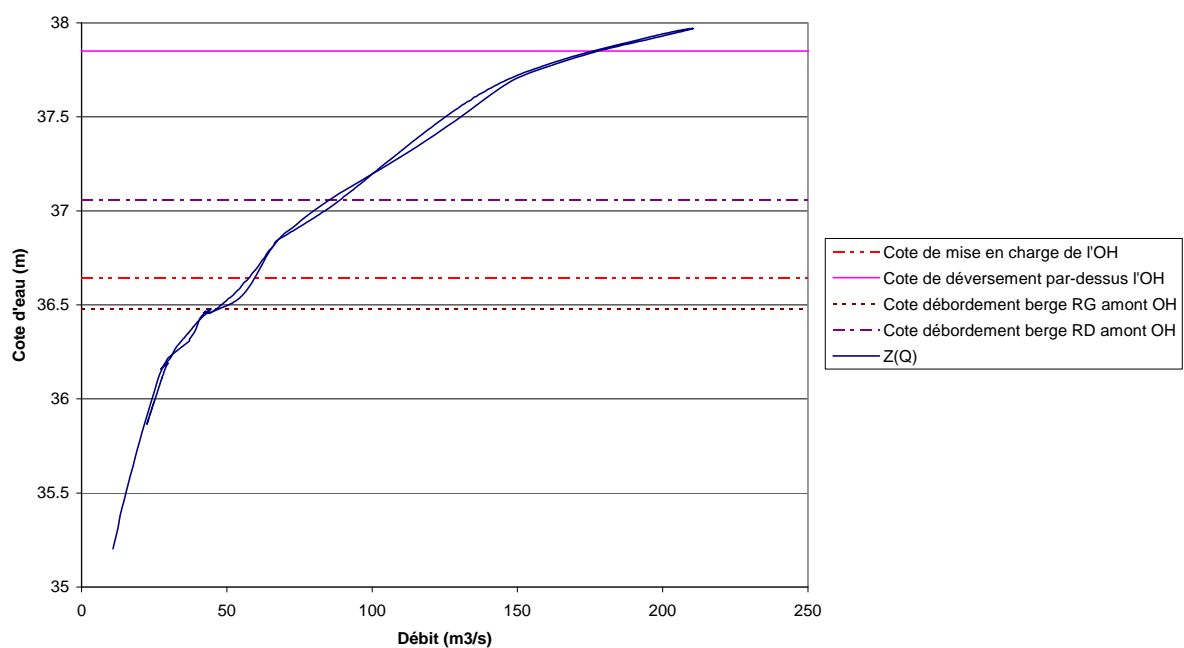
Haut Vistre au droit de la RD999 (ligne 7)



**Courbe Z(Q) 2005 amont confluence Buffalon RD999 (ligne 7)**



**Courbe Z(Q) 100 ans amont confluence Buffalon RD999 (ligne 7)**

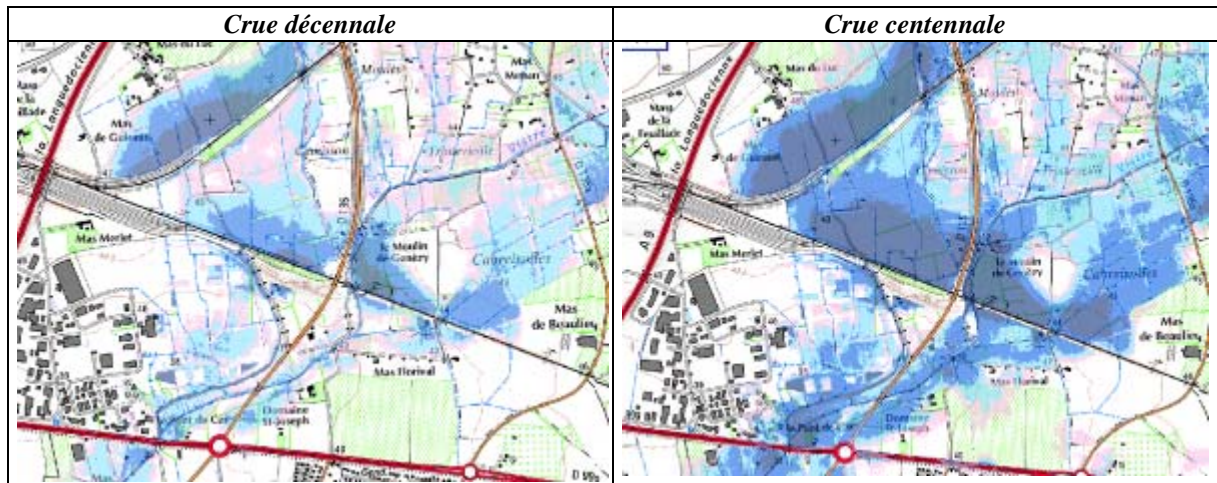


Le pont de la RD999 sur le Vistre à l'amont de la confluence avec le Buffalon contrôle tous les apports du Haut Vistre à l'amont des apports de Courbessac.

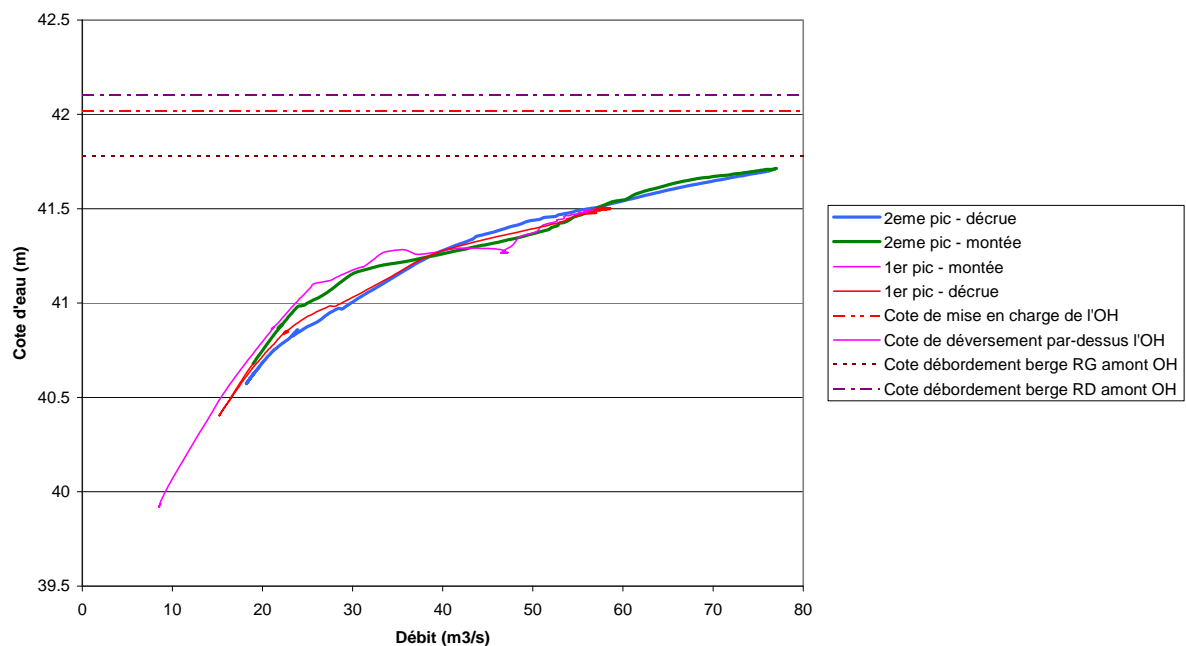
L'ouvrage est mis en charge à partir de 60 m<sup>3</sup>/s environ, et il commence à déverser pour la crue centennale à environ 175 m<sup>3</sup>/s.

Le remous en lit mineur induit par la RD999 pour la crue centennale est d'environ 0.99 m.

Haut Vistre – voie ferrée (ligne 6)



courbe Z(Q) 2005 Vistre Voie ferrée (ligne 6)



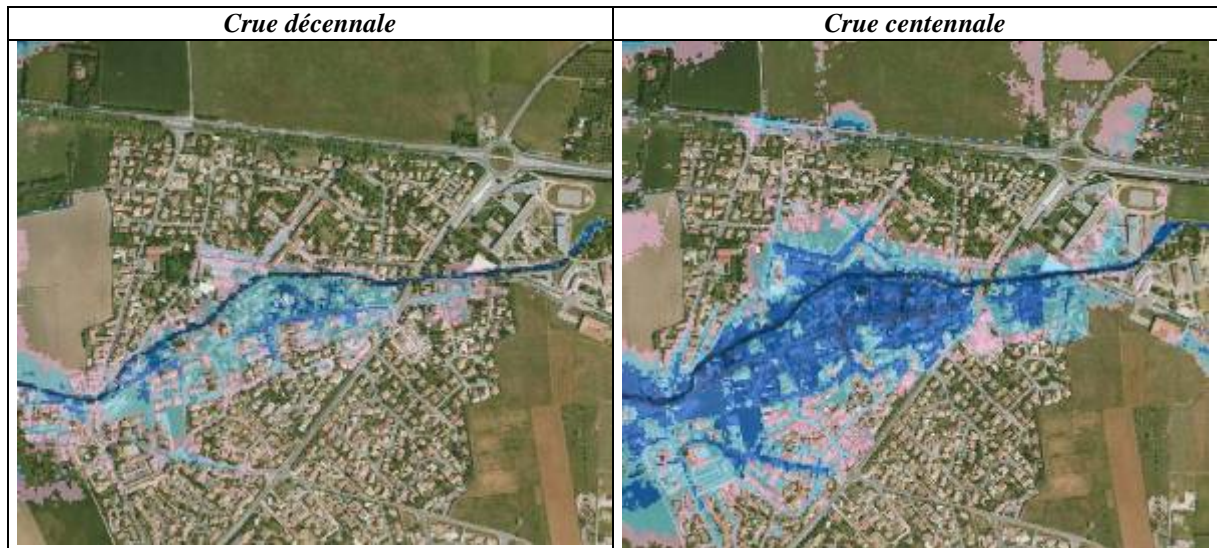
Les crues franchissent la voie ferrée par deux ouvrages hydrauliques principaux, celui du Vistre et celui du bras de Cabreirolles, 2 passages routiers et une décharge mineure.

Le fonctionnement hydraulique du secteur est très perturbé par la présence des infrastructures en remblai et des nombreux bras du Vistre.

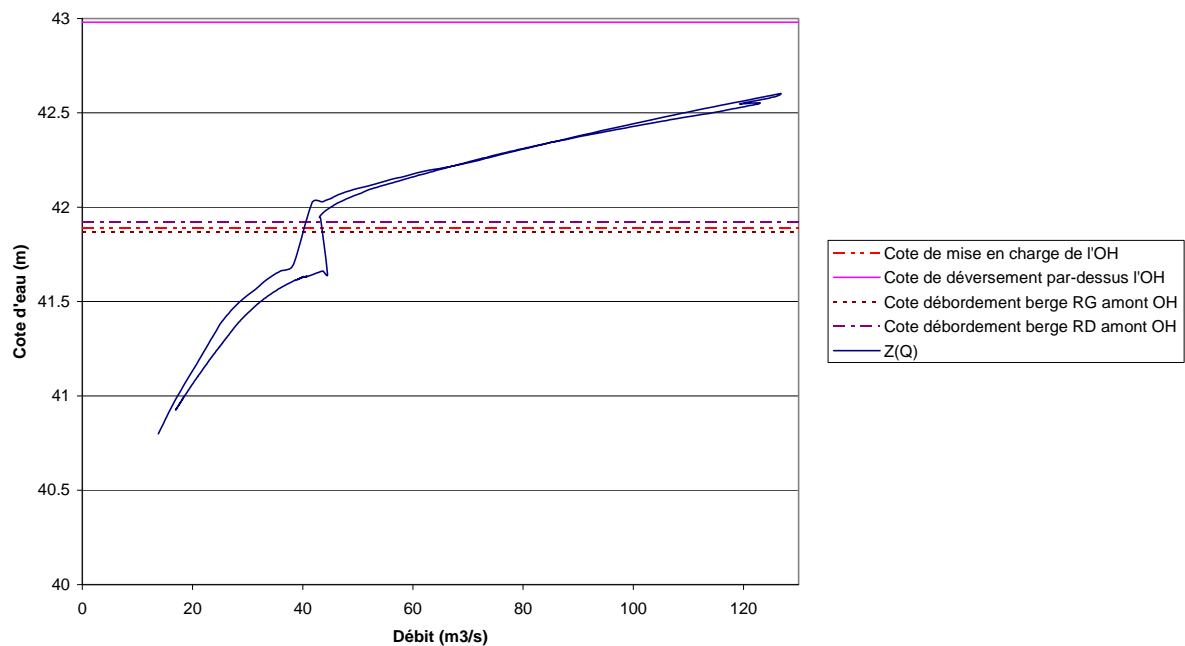
L'ouvrage n'a pas été mis en charge en 2005, mais le débit n'a pas atteint la crue décennale (98 m<sup>3</sup>/s).

Le remous en lit mineur induit par la voie ferrée (Haut Vistre) pour la crue centennale est d'environ 1.20 m.

La RD135a sur le Buffalon à Rodilhan



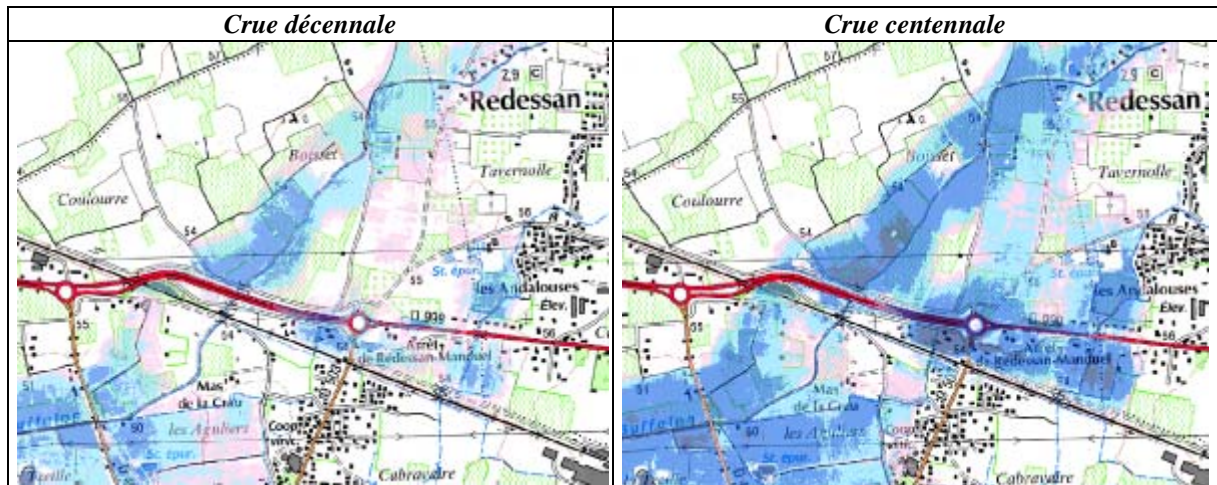
Courbe Z(Q) 100 ans RD135a / Buffalon à Rodilhan



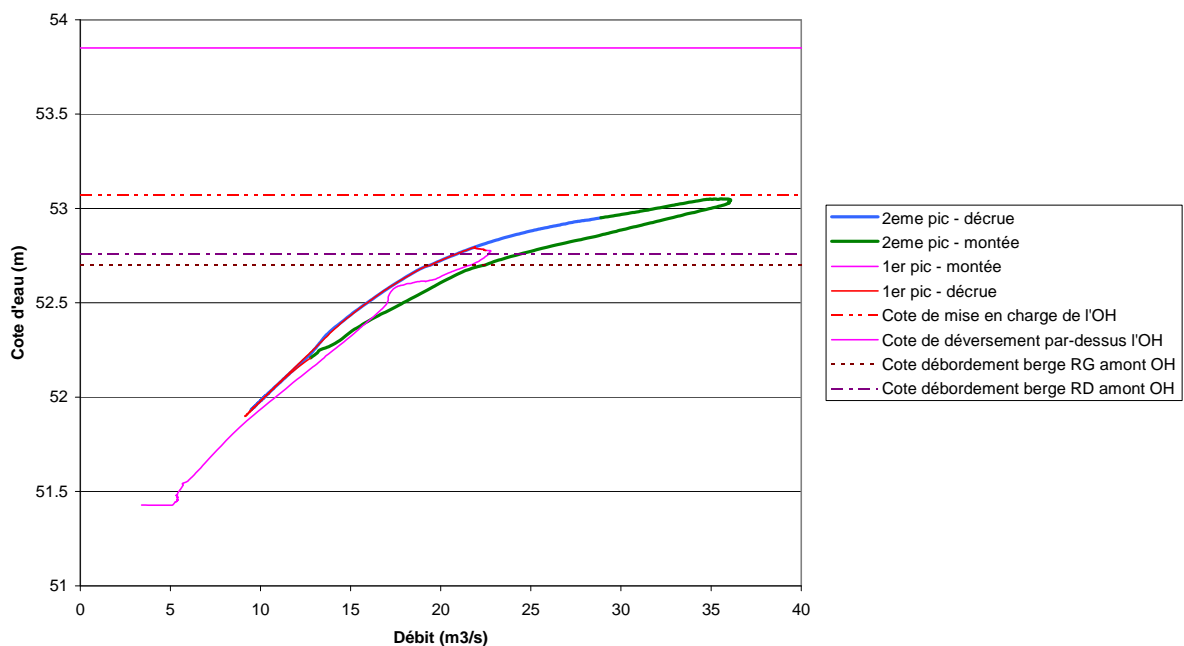
Le pont est mis en charge dès 40 m<sup>3</sup>/s (crue décennale à 55 m<sup>3</sup>/s) ; il est contourné pour les crues majeures type centennale en rive gauche par des débordements qui ont lieu en zone urbanisée dense au droit du giratoire.

Le remous en lit mineur du Buffalon induit par la RD135a pour la crue centennale est d'environ 0.55 m.

Le Buffalon à la voie ferrée



Courbe Z(Q) 2005 Buffalon voie ferrée (ligne 2)



Le Buffalon est franchi par la voie ferrée entre Redessan et Manduel dans un secteur complexe, avec des franchissements hydrauliques multiples Vistre et Tavernolle (affluent rive gauche), voie ferrée et RD999.

L'ouvrage a été en limite de mise en charge en 2005, mais le débit en ce point est resté inférieur à la crue décennale de 41 m<sup>3</sup>/s. Pour la crue de 2005, le débit du Buffalon est relativement bien contrôlé, mais pour la crue centennale, les champs d'inondation amont du Vistre et du Tavernolle se confondent.

Le remous en lit mineur du Buffalon induit par la voie ferrée pour la crue centennale est d'environ 1.06 m.

## SYNTHESE

**Le synoptique fourni en pièce jointe permet de synthétiser le fonctionnement hydraulique du bassin versant du Vistre en crue.**

## LISTE DES SIGLES ET DES ACRONYMES

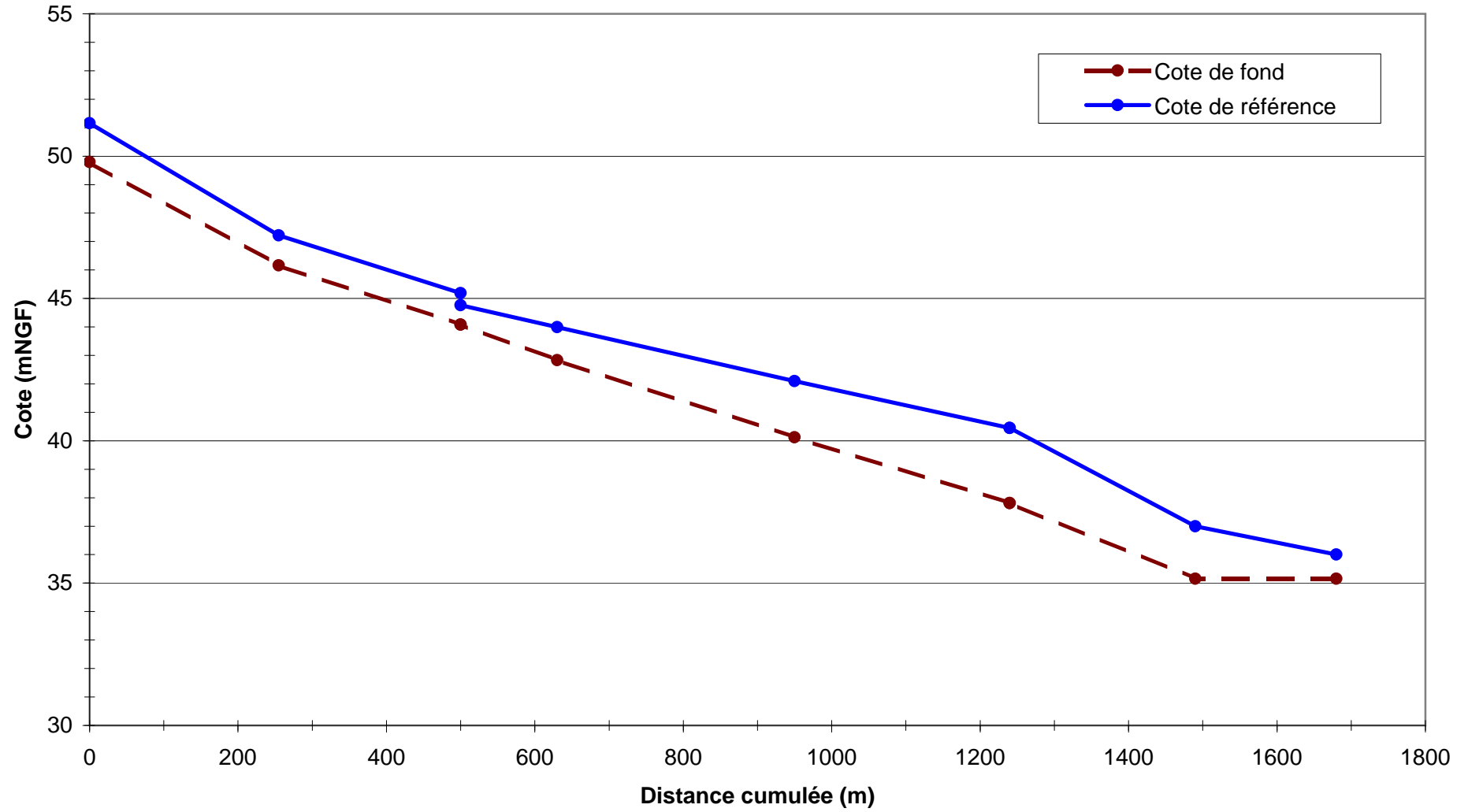
ADS	Application du Droit des Sols
ADES	Accès aux Données des Eaux Souterraines
AE RMC	Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse
ANAH	Agence Nationale de l'Habitat
ASF	Autoroute du Sud de la France
BD	Base de Données
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRL	Bas-Rhône Languedoc
CAT-NAT	Catastrophes Naturelles
CAT-TEC	Catastrophes Technologiques
CETE	Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement
CEMAGREF	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CG 30	Conseil Général du Gard
CNM	Contournement ferroviaire de Nîmes et Montpellier
DICRIM	Dossier d'Information Communale sur les Risques Majeurs
DIREN LR	Direction Régionale de l'Environnement du Languedoc-Roussillon
DDRM	Dossier Départemental des Risques Majeurs
DDTM 30	Direction Départementale du Territoire et de la Mer du Gard
EDF-DTG	Electricité De France – Direction Technique Générale
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunale
FPRNM	Fond de Prévention des Risques Naturels Majeurs
GEV	Generalized Extreme Values (Valeurs Extrêmes Généralisées)
HL	Heures Locales
IFEN	Institut Français de l'Environnement
IGN	Institut Géographique National
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
LGV	Ligne à Grande Vitesse
MEEDDM	Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
MF	Météo France
OHM CV	Observatoire Hydrométéorologique Méditerranéen des Cévennes-Vivarais
OPAH	Opération Programmée d'Amélioration de l'Habitat
PAPI	Programme d'Actions de Prévention des Inondations
PER	Plan d'Exposition aux Risques
PHE	Plus Hautes Eaux
PLU	Plan Local d'Urbanisme
POS	Plan d'Occupation des Sols
PPCI	Plan de Protection Contre les Inondations
PPR	Plan de Prévention des Risques
PPRI	Plan de Prévention des Risques Inondation
PPRN	Plan de Prévention des Risques Naturels
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
RFF	Réseau Ferré de France
SCOT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAPI	Schéma Directeur d'Aménagement pour la Prévention des Inondations
SIG	Système d'Information Géographique
SMBVV	Syndicat Mixte du Bassin Versant du Vistre
SMNVC	Syndicat Mixte des Nappes de la Vistrenque et des Costières
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer
SRU	Solidarité et Renouvellement Urbains
UTC	Universal Time Coordinated (Temps Universel Coordonné)

**ANNEXE**

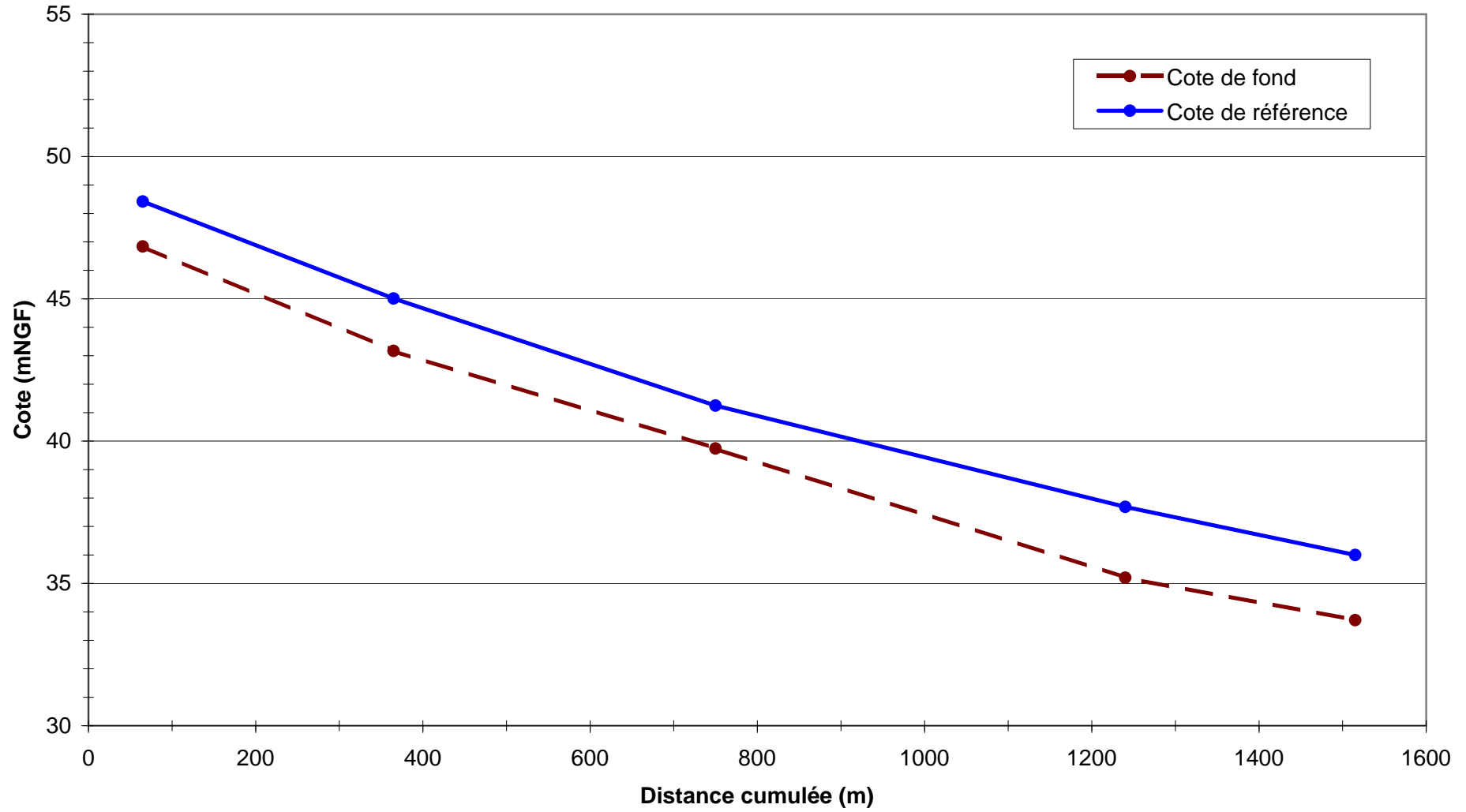


# Annexe 1 : résultats des modèles filaires des affluents

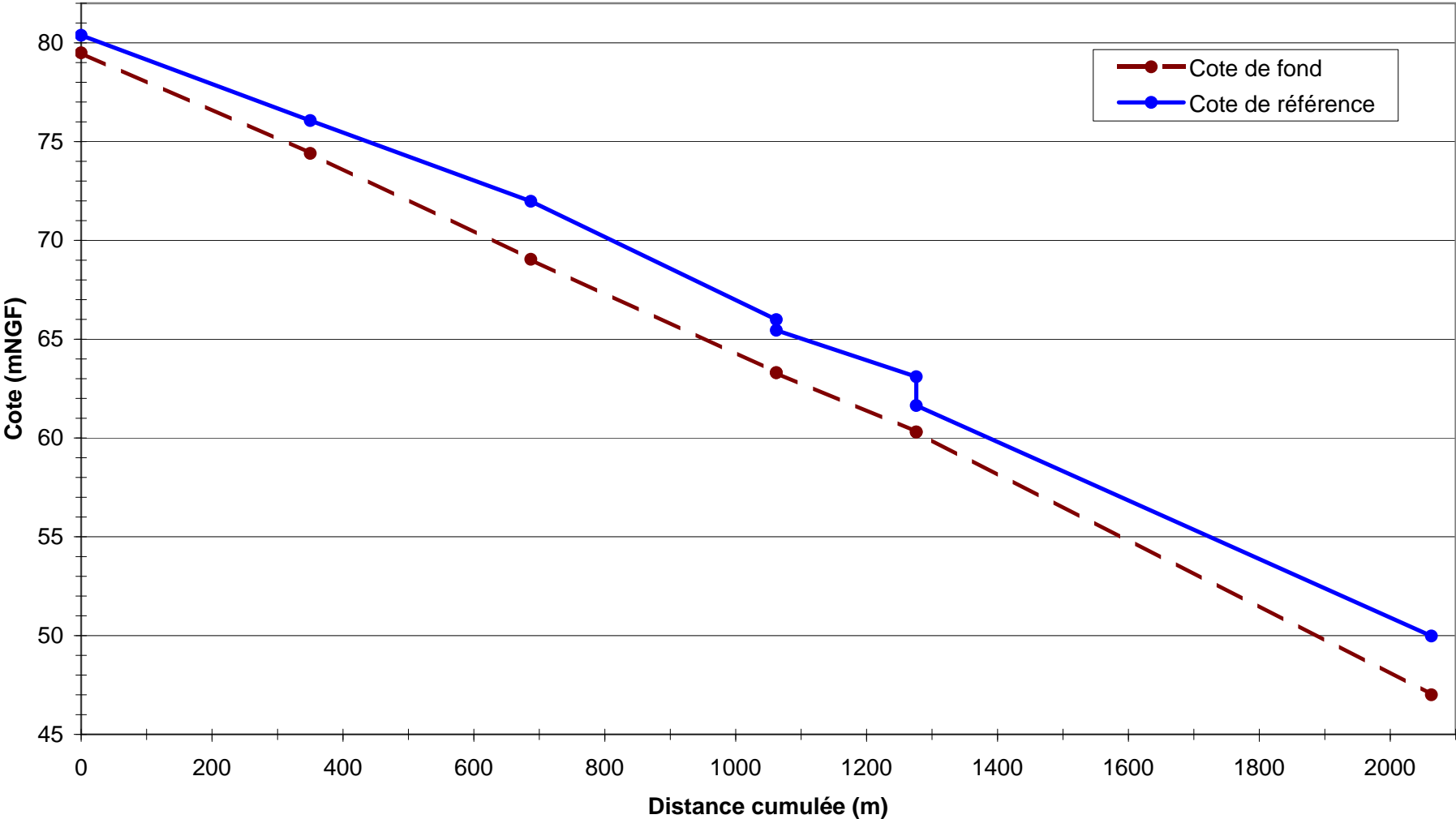
### Profil en long du Gara de Paille



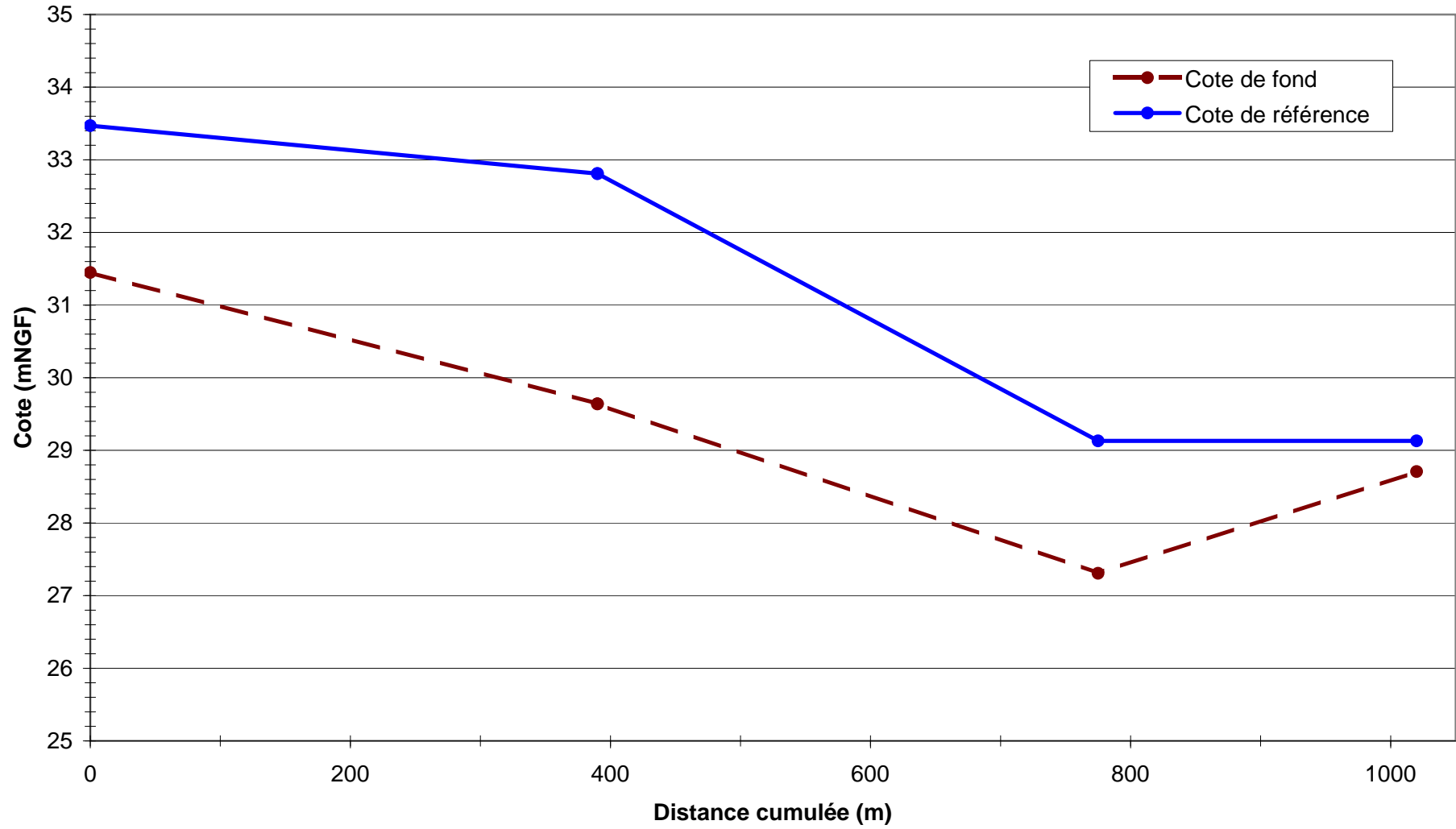
### Profil en long du Grand Michel



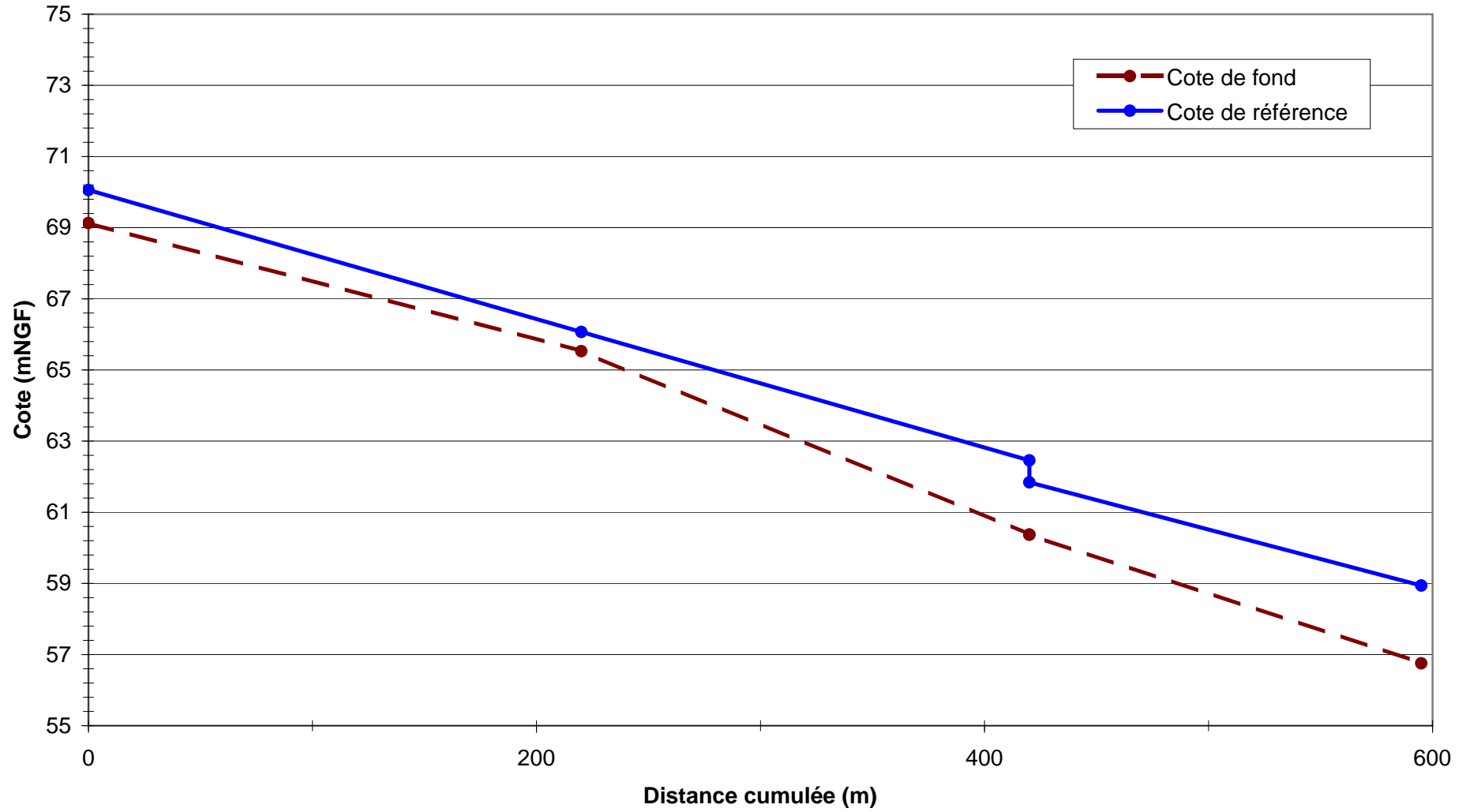
### Profil en long du Campagne



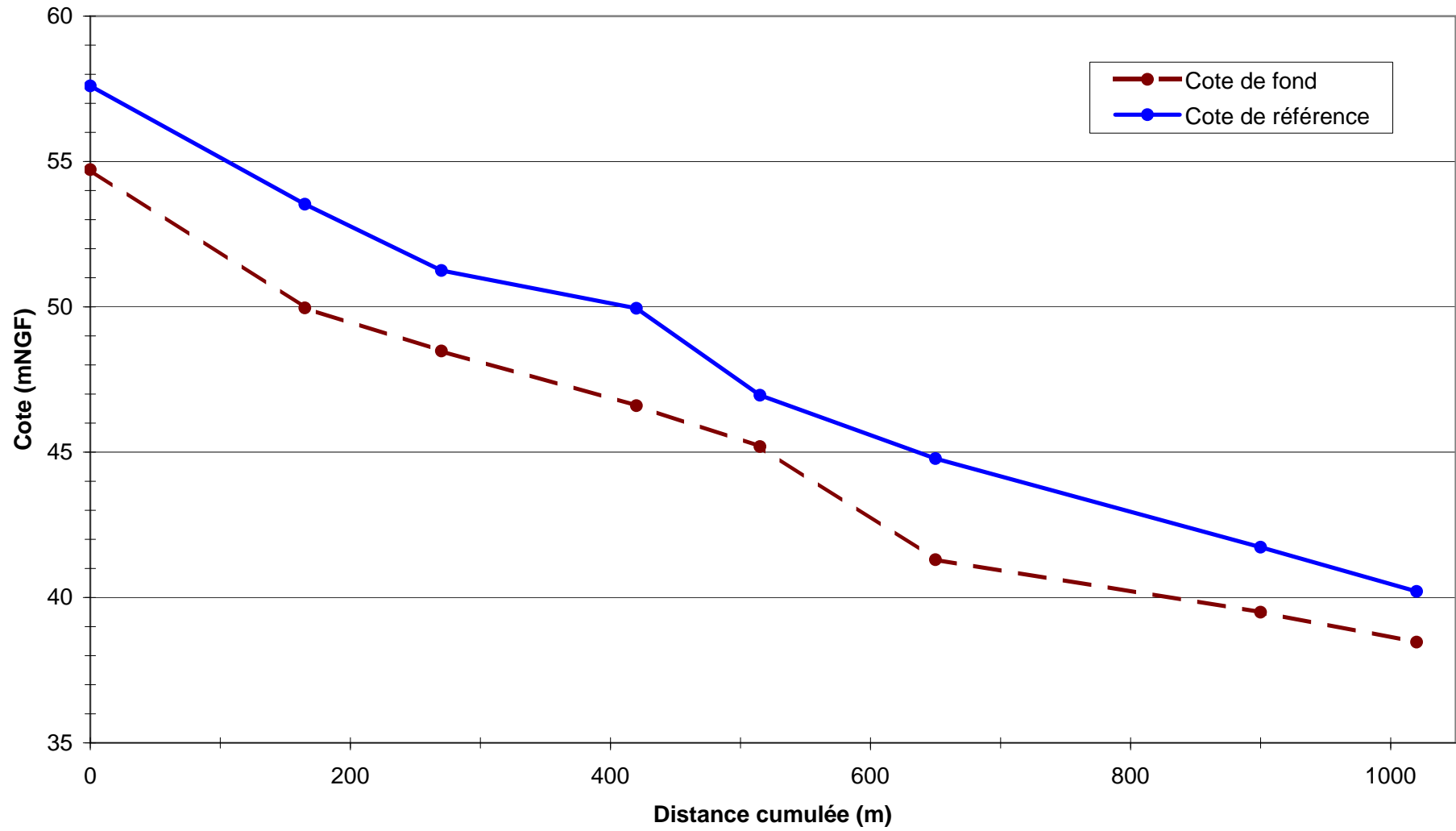
### Profil en long du Valdebane



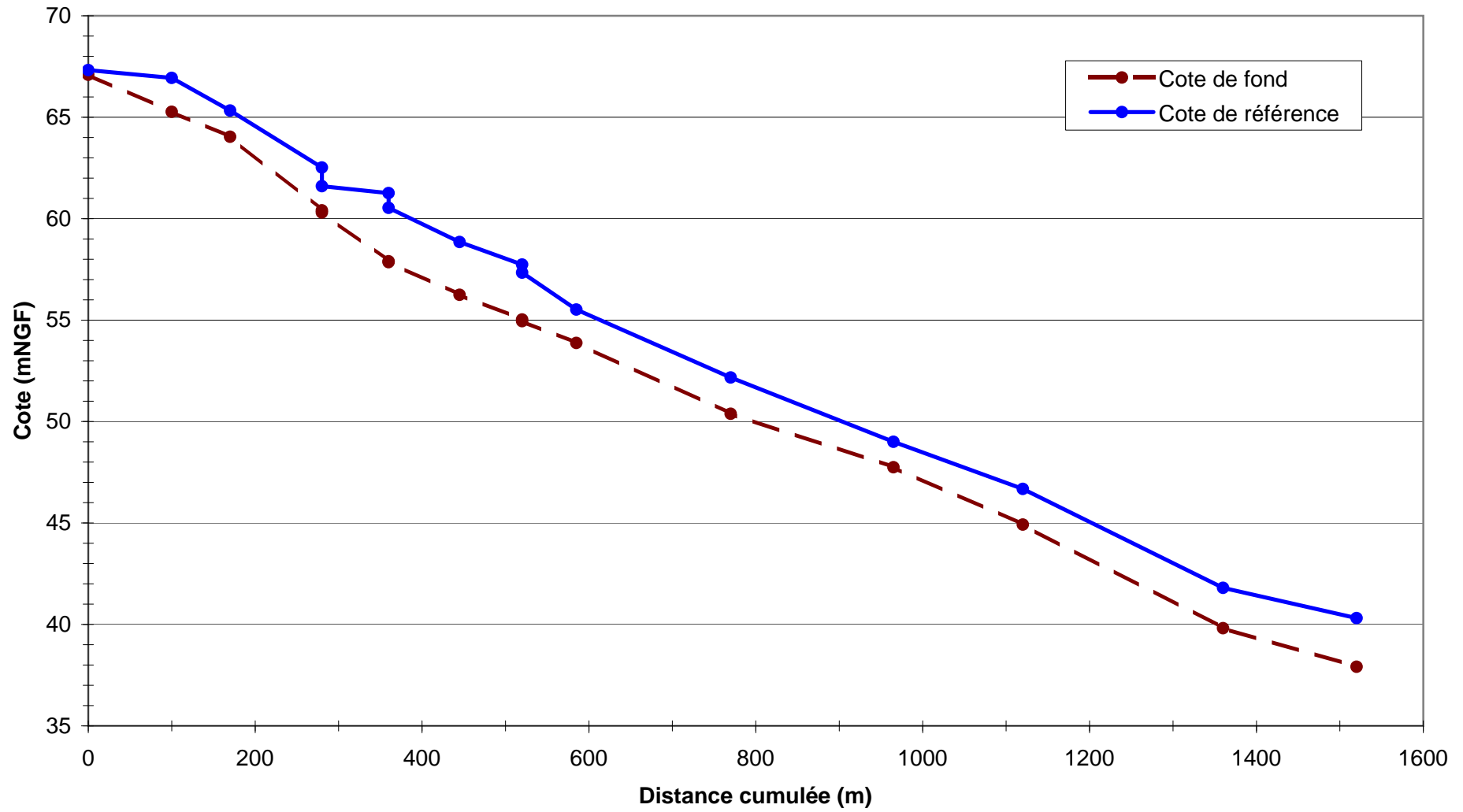
### Profil en long du Cabassan



### Profil en long du Gour

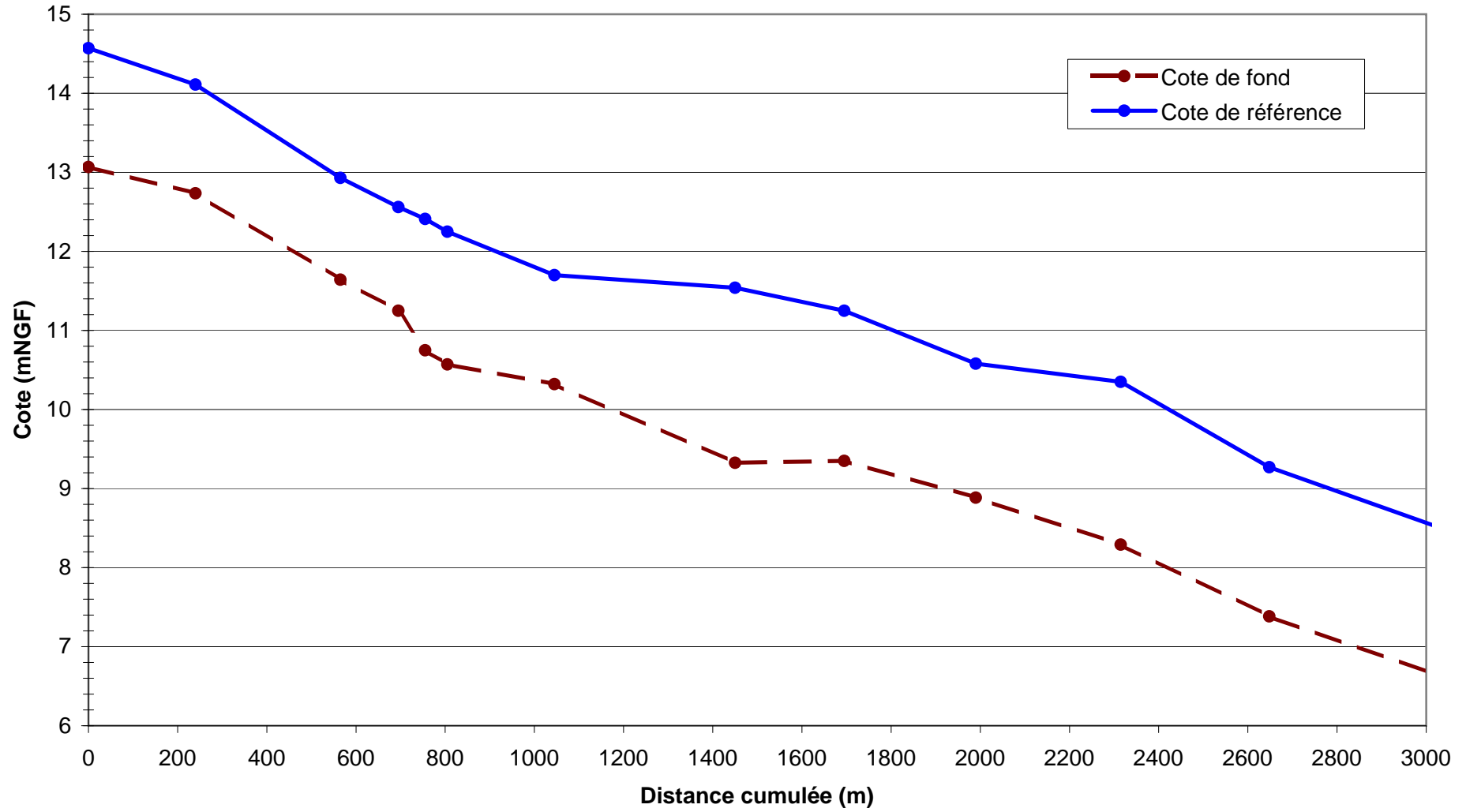


### Profil en long de l'Arriasse





### Profil en long de la Lone



## **Annexe 2 : hydrogrammes d'apports injectés dans le modèle « plaine »**







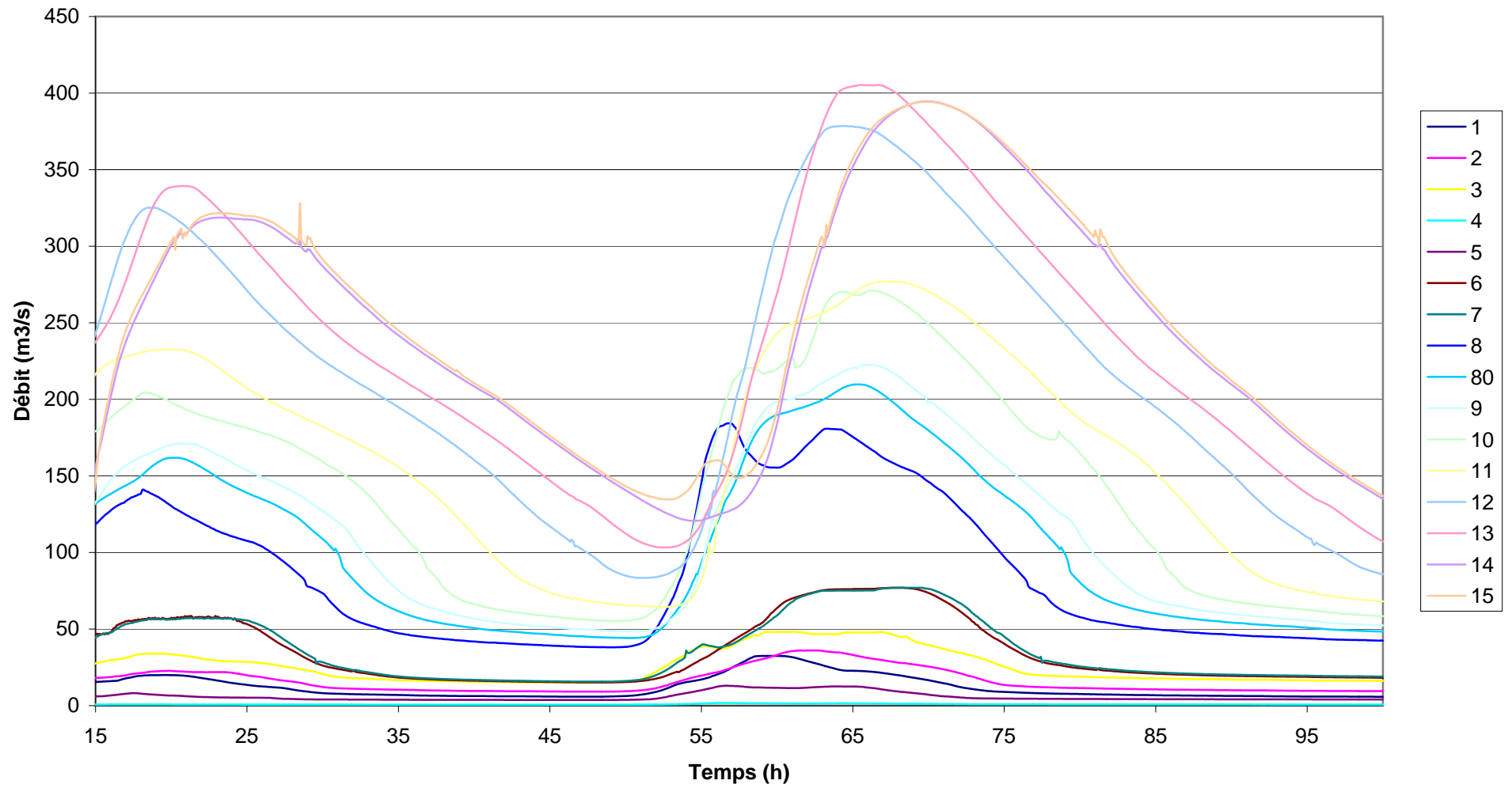




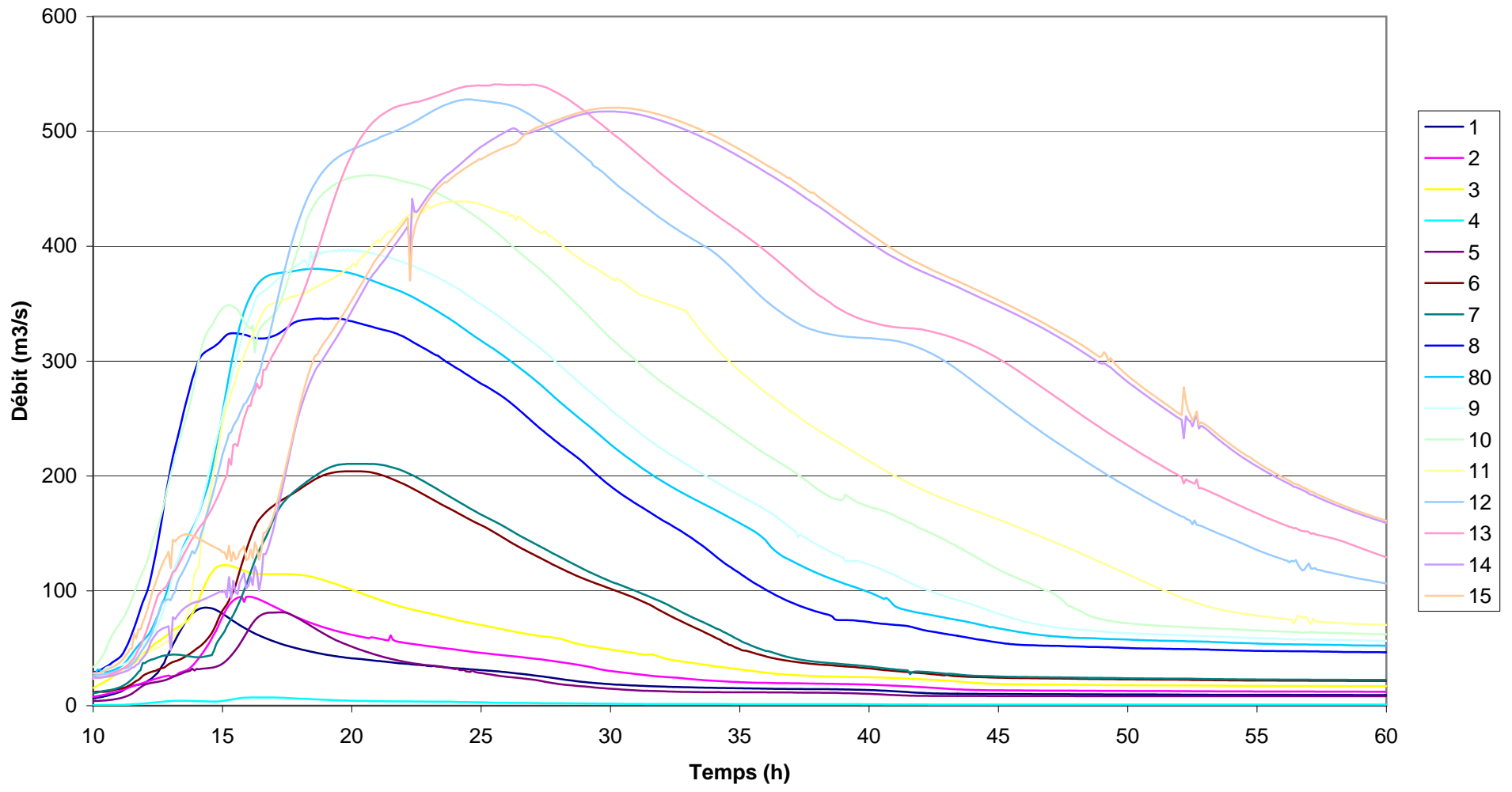
## **Annexe 3 : hydrogrammes calculés sur le Vistre et le Buffalon**



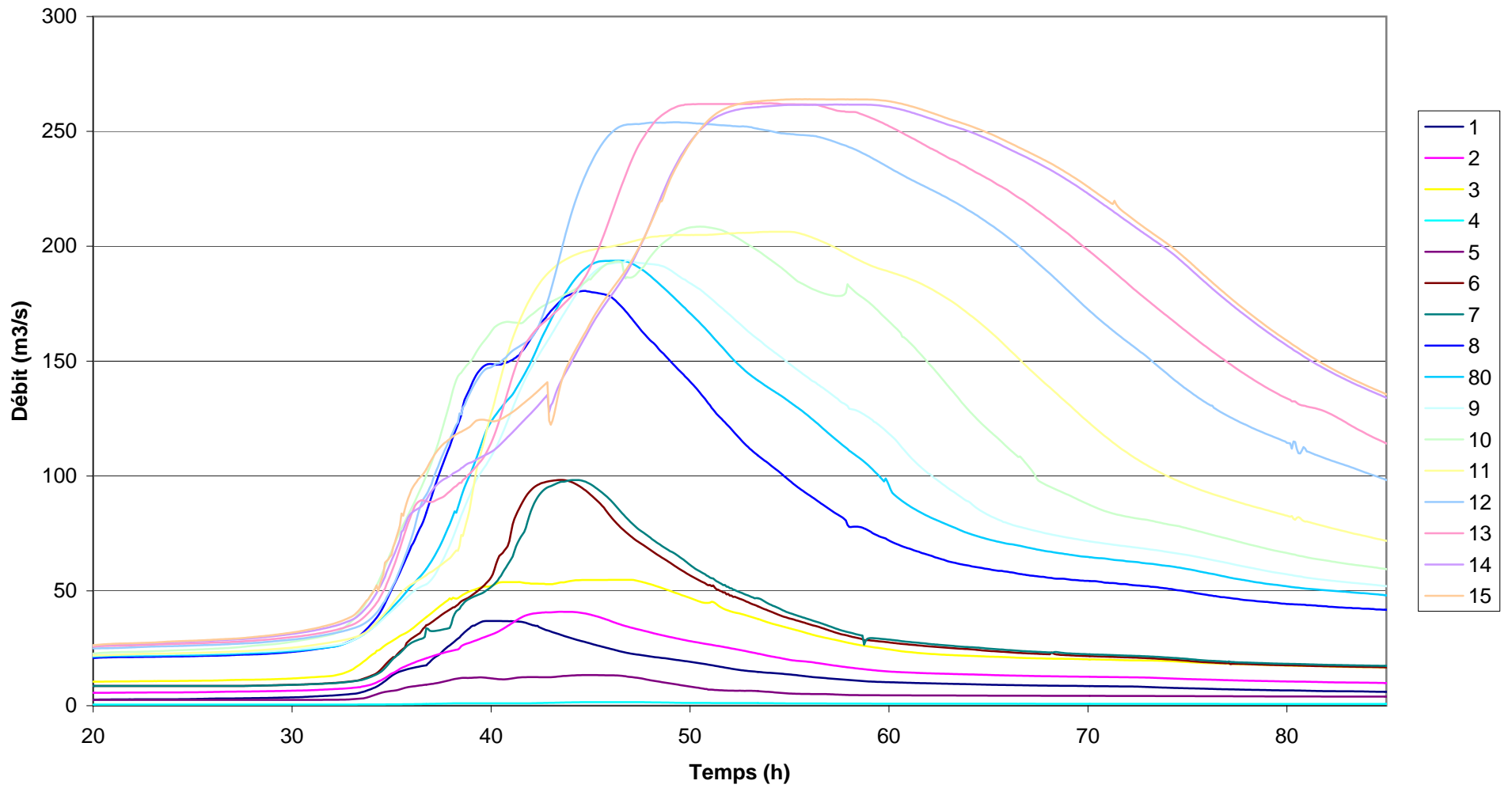
### Hydrogrammes aux lignes de contrôles crue 2005



### Hydrogrammes aux lignes de contrôles crue 100 ans



### Hydrogrammes aux lignes de contrôles crue 10 ans



### Hydrogrammes aux lignes de contrôles crue 1988

