



RAPPORT

Etude pour la définition d'une stratégie de réduction de l'aléa inondation et détermination des zones naturelles d'expansion des crues du BV du Gapeau

Mission 1 : Inventaire et analyse de la bibliographie, recherche de données complémentaires et synthèse des connaissances

Syndicat Mixte du Bassin
Versant du Gapeau
Juillet 2015


sce
Aménagement
& environnement



CLIENT

RAISON SOCIALE	SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
COORDONNÉES	Place Urbain Senès 83 390 PIERREFEU DU VAR
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Monsieur Patrick MARTINELLI, Président Madame TON Châu (chargée de mission) Tél : 04 94 13 53 01

SCE

COORDONNÉES	SCE 230 avenue de Rome VALPARC – Bat B 83500 LA SEYNE SUR MER Tel : 04.98.00.27.44 E-mail : toulon@sce.fr	AQUA CONSEILS 524 Chemin les Puntos 31450 BAZIEGE Tel : 05.34.66.09.09 E-mail : aquaconseils@club- internet.fr
	INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Monsieur VIGNOULLE Olivier

RAPPORT

TITRE	Etude pour la définition d'une stratégie de réduction de l'aléa inondation et détermination des zones naturelles d'expansion des crues du bassin versant du Gapeau
NOMBRE DE PAGES	43
NOMBRE D'ANNEXES	Cf. dossier dédié
OFFRE DE REFERENCE	150166 – Juillet 2015

SIGNATAIRE

REFERENCE	DATE	REVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA REVISION	REDACTEUR	CONTROLE QUALITE
150166	29/04/15	Edition 1		OVI	OVI
150166	10/06/15	Edition 2	Prise en compte remarques formulées au cours de la réunion de restitution : <ul style="list-style-type: none">• Création d'annexes,• Eléments pour crues de novembre 2014.	OVI	OVI
150166	08/07/15	Edition 3	Mise à jour synthèse débits, Annexes Carte AZI. Carte SD Pluvial au sein des annexes.	OVI	OVI

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	3
2. OBJET DU RAPPORT	3
3. Analyse des études existantes	4
3.1. Préalable	4
3.2. Etude hydraulique CEDRAT de 2001	6
3.2.1. Objectifs de l'étude.....	6
3.2.2. Principaux enseignements	6
3.3. Etude de cohérence hydraulique SCP	17
3.3.1. Objectifs de l'étude.....	17
3.3.2. Principaux enseignements	18
3.4. Autres études participant à la définition de la connaissance de l'alea inondation et à la stratégie de réduction de l'alea	27
3.4.1. Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) de TOULON – HYERES - Cartographie des surfaces inondables et des risques - Rapport explicatif	27
3.4.2. Détermination des zones inondables du Gapeau sur les communes de Belgentier – Solliès-Toucas – Solliès-Ville – Solliès-Pont – La Farlède – La Crau)	32
4. Analyse de la crue de janvier 2014	35
4.1. Analyse préalable des crues historiques.....	35
4.2. Crue des 18 et 19 janvier 2014	36
4.3. Crues de novembre 2014.....	42
5. Enseignements	43

FIGURES

<i>Figure 1 : Capacités hydrauliques des cours d'eau calculées par CEDRAT en 2001 ([1]).</i>	10
<i>Figure 2 : Propositions d'aménagement étudiées et testées par CEDRAT en 2001 ([1]).</i>	12
<i>Figure 3 : Actions retenues pour protéger la commune de Hyères des crues du Gapeau d'après CEDRAT 2001 ([1]).</i>	17
<i>Figure 4 : Graphique représentant les hydrogrammes Q10 et Q30 à St. Eulalie apparaissant dans la phase 2 de l'étude SCP de 2006 ([2]).</i>	19
<i>Figure 5 : Localisation des sites potentiels des grands barrages identifiés par la SCP en 1974.</i>	20
<i>Figure 6 : Emplacements des sites étudiés par la SCP en 2006 pour écreter les crues trentennales du Gapeau et ses affluents (en rouge les sites retenus).</i>	23
<i>Figure 7 : Estimations des débits décennaux et trentennaux en différents points du réseau hydrographique d'après analyse étude SCP de 2006 (en bleu Q₁₀ et en rouge Q₃₀).</i>	24
<i>Figure 8 : Localisation des sections de contrôle retenues par la SCP en 2006 pour quantifier l'incidence sur les lignes d'eau du programme de protection.</i>	26
<i>Figure 9 : Cours d'eau étudiés pour établissement de la cartographie du TRI Toulon – Hyères.</i>	28

Figure 10 : Cartographie descriptive du risque inondation établie dans le cadre du TRI Toulon Hyeres – partie aval (Hyères).....	30
Figure 11 : Cartographie descriptive du risque inondation établie dans le cadre du TRI Toulon Hyères – partie intermédiaire (La Crau, la Farlede, Sollies Pont).....	30
Figure 12 : Cartographie descriptive du risque inondation établie dans le cadre du TRI Toulon Hyeres – partie amont (Sollies-Pont, Sollies-Toucas, Belgentier).....	31
Figure 13 : Emprises des zones inondables du Gapeau pour une crue décennale et centennale entre Belgentier et la Crau.....	33
Figure 14 : Atlas des zones inondables.....	34
Figure 15 : cartographie comparant les emprises du PPRI à celle constatée en janvier 2014 (source wikhydro).....	36
Figure 15 : Conditions de contournement de la station hydrométrique de Sainte Eulalie (CEREMA, juillet 2014).....	37
Figure 17 : Niveau de charge à l'extrémité aval du déversoir les 18 et 19 janvier 2014 (CEREMA, juillet 2014).....	38
Figure 18 : Hydrogramme reconstitué déversé au niveau du déversoir de Plan du pont lors de la crue des 18 et 19 janvier 2014 (d'après données CEREMA de juillet 2014).....	38
Figure 19 : Graphiques représentant les hydrogrammes Q10 et Q30 à St. Eulalie apparaissant dans la phase 2 de l'étude SCP de 2006 ([2]). Q100 extrapolé en retenant un débit de pointe de 570 m ³ /s. Estimation des temps de déversement (début de déversement à 250 m ³ /s).....	39
Figure 20 : Débits évacués par le Gapeau reconstitués au droit de la station de Sainte Eulalie (avec représentation des apports du vallon des Borrels) – CEREMA juillet 2014.....	40
Figure 21 : Débits de pointe estimés par le CEREMA pour l'événement de crue des 18 et 19 janvier 2014.....	40
Figure 22 : Loi Niveau (m NGF) – Surface – Volume au niveau de Plan du Pont.....	41
Figure 23 : Débits de crue entre le 9 et le 14 novembre 2014.....	42
Figure 24 : Débits de crue entre le 25 et le 30 novembre 2014.....	42

TABLEAU

Tableau 1 : Débits de pointe de crue calculés par CEDRAT en 2001.....	7
Tableau 2 : Scénarios hydrologiques étudiés par CEDRAT en 2001 [1].....	8
Tableau 3 : Coefficients de rugosité (Manning) retenus dans le modèle ISIS développé par CEDRAT en 2001 ([1]).....	9
Tableau 4 : Actions n°7 à 11 étudiées par CEDRAT sur le bassin du Gapeau ([1]) avec indication des actions retenues.....	13
Tableau 5 : Actions n°12 à 14 étudiées par CEDRAT sur le bassin du Gapeau ([1]) avec indication des actions retenues.....	14
Tableau 6 : Actions n°15 et 16 étudiées par CEDRAT sur le bassin du Gapeau ([1]) avec indication des actions retenues.....	15
Tableau 7 : Actions retenues pour protéger la commune de Hyères des crues du Gapeau d'après CEDRAT 2001 ([1]).....	16
Tableau 8 : Débits de projet apparaissant dans l'étude de 1974 de protection des crues du Gapeau.....	18
Tableau 9 : Principales valeurs retenues pour les débits de référence dans les études antérieures à l'étude de 2006 selon la SCP.....	18
Tableau 10 : Emprises drainées et volumes utiles concernés par les trois grands barrages envisagés.....	19
Tableau 11 : Principes de dimensionnement des barrages retenus dans l'étude SCP de 1974.....	20
Tableau 12 : Synthèse des caractéristiques des sites retenus pour stocker les crues du Gapeau et ses affluents (en rouge et surligné les sites retenus).....	22
Tableau 13 : Sources d'informations utilisés pour les différents événements cartographiés dans le TRI pour le Gapeau.....	30
Tableau 14 : Débits de pointe (m ³ /s) apparaissant dans les études consultées.....	43

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le Gapeau est un fleuve méditerranéen caractérisé par des crues provoquant des inondations qui affectent de nombreux enjeux humains.

Les événements de ces dernières années et plus globalement de l'année 2014 démontrent **l'inéluctable nécessité d'engager des mesures de réduction des niveaux d'exposition aux risques dans les meilleurs délais.**

Certes, agacés par la récurrence des inondations, les collectivités et riverains sont tentés d'engager des travaux de recalibrage ou l'édification de digues sensées mieux protéger les populations. Ces initiatives peuvent s'avérer dangereuses aussi il convient rapidement de définir une **stratégie globale de réduction de l'aléa inondation.**

En particulier, l'analyse des zones naturelles d'expansion des crues apparaît comme une démarche intéressante car permettant d'établir les possibilités et conditions de ralentissement des crues en amont des zones à enjeux.

La stratégie globale devra s'inscrire dans la nouvelle dynamique de gestion globale et intégrée du Gapeau et son bassin versant instaurée depuis 2013, avec la refonte de la CLE et la mise en place du syndicat Mixte du bassin versant du Gapeau pour relancer le SAGE.

Le programme d'analyse se compose de quatre éléments de mission

- ✎ **Mission 1** : Inventaire et analyse de la bibliographie, recherche de données complémentaires et synthèse des connaissances ;
- ✎ **Mission 2** : Analyse Hydrologique du bassin versant du Gapeau ;
- ✎ **Mission 3** : Identification, caractérisation et cartographie des zones d'expansion des crues ;
- ✎ **Mission 4** : Définition d'actions de préservation, reconquête et renforcement de la capacité d'écrêtement et d'infiltration des ZEC.

2. OBJET DU RAPPORT

Le présent rapport présente les résultats obtenus à l'issue de la mission 1.

Il a pour objectif de synthétiser les enseignements des études existantes afin de définir une stratégie la plus pertinente possible. En particulier, une expertise de l'étude hydraulique (CEDRAT 2001) et de l'étude de cohérence hydraulique (SCP 2006) a été menée permettant d'apprécier les niveaux de protection envisagés et les aménagements envisagés.

La synthèse des études existantes a nécessité de collecter et numériser l'ensemble des études existantes.

Chaque étude a fait l'objet d'une attention particulière afin de faire ressortir les éléments intéressants la présente étude.

Une analyse fine des conditions de propagation des crues et des niveaux d'eau atteints en aval du bassin versant en janvier 2014 a été menée à partir des retours d'expérience des crues.

3. ANALYSE DES ETUDES EXISTANTES

3.1. PREALABLE

La mission a permis de collecter et numériser vingt (20) études dont les enseignements peuvent enrichir l'analyse. En particulier, les annexes 1 et 2 de l'étude SCP de 1999 sur le Gapeau ([3]) ne nous ont pas été communiquées.

n°	Intitulé	Année	Maitre d'ouvrage	Prestataire	Nb de pages	Numér.
1	Etude hydraulique sur la commune d'Hyères les Palmiers	2001	Ville de Hyères les Palmiers	CEDRAT Développement		
	Phase 1 : Etat initial	mars-01			59	X
	Phase 2 : Scénarios d'aménagement des cours d'eau	janv-01 révisé sept-01			70	X
	Phase 3 : Aménagements hydrauliques de protection contre les inondations - Avant-Projet	janv-02			78	X
	Dossier des annexes	nov-2000 révisé mars-01			141	X
	Complément diagnostic : détermination des apports polluants au milieu naturel	mars-01 complété déc-01			10	X
2	Etude de cohérence hydraulique du bassin versant du Gapeau	2006	SMBVG	SCP id Inge-nierie-Développement		
	Phase 1 (état des lieux diagnostic)	2006			30	X
	Phase 2 (propositions d'aménagement)	2007			61	X
3	Détermination des zones inondables du Gapeau sur les communes de Belgentier – Solliès-Toucas – Solliès-Ville – Solliès-Pont – La Farlède – La Crau),	déc-99	CCVG	SCP id Inge-nierie-Développement		X
	Rapport				62	X
	annexe 3 - cahiers de profils en travers					X
	Annexe 4 - cahier des ouvrages					X
4	Etude de l'aléa inondation du Gapeau dans la plaine de Hyères-Les-Palmiers	juil-01	DDE du Var	HGM Environnement	22	X
5	Etude hydraulique – Gestion des crues (rapport technique)	nov-96	DDE du Var (ville de Hyères-Les-Palmiers)	HGM Environnement	128	X

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.

n°	Intitulé	Année	Maitre d'ouvrage	Prestataire	Nb de pages	Numér.
6	Détermination des volumes maximum prélevables, Phases 1 à 4 (hors volet agricoles)	déc-10	SMBVG	SAFEGE Ingénieurs Conseils	146	X
7	Territoire à Risque Important d'Inondation (TRI) de Toulon-Hyères, Cartographie des surfaces inondables et des risques, Rapport explicatif	sept-13	DREAL PACA	DREAL PACA	46	X
8	Identification et préservation des ressources majeures en eau souterraine pour l'AEP (lot n°4) - Etudes des alluvions du Gapeau, et des alluvions et formations du Muschelkak de la plaine de l'Eygoutier - Rapport de phase 3	juil-14	AE RMC	Rivages Environnement / Grontmij / Environnement & Infrastructures	128	X
9	Diagnostic de la qualité des eaux superficielles du bassin versant du Gapeau	avr-05	SMBVG	Asconit Consultant	45	X
11	Etude de définition d'un programme de restauration et d'entretien de la ripisylve du Gapeau + fichier de recensement des ouvrages (Pont et autres ouvrages de franchissement, ponts, seuils barrages)	1998	CCVG	SIEE		
	Phase 1 Etat des lieux - Analyse, diagnostic et définition d'orientations d'interventions	nov-97			205	X
	Fichier de recensement des ouvrages	nov-97			110	X
	Phase 2 : programme pluriannuel d'entretien	juil-98			85	X
	Pièces graphiques	nov-97			89	X
	document de synthèse	déc-98			31	X
12	Etude hydrologique sur la commune de Cuers	1999	Commune de Cuers	SAEGE		X
13	Elaboration d'un programme de restauration, d'entretien et de mise en valeur du Réal Martin et du Réal Collobrier - Phase I Etat des lieux et Diagnostics (Fichier des points particuliers)	août-05	SMBVG	SIEE/GINGER		
	Etat des lieux et diagnostic	août-05			100	X
	Schéma d'aménagement	août-05			54	X
	Pièces graphiques	août-05			31	X
	Fichiers des points particuliers	août-05			183	X
14	Service d'évaluation et de suivi de l'assainissement et des milieux aquatiques	déc-08	ARPE	ARPE	175	X
15	Etude de l'impact de la prise d'eau du Haut Latay	sept-02	CG83	MRE	15	X
16	Etude de définition pour l'élaboration du SAGE Gapeau	oct-03	SMBVG	SIEE	106	X
17	Evaluation et renouvellement du plan de gestion et d'entretien du Gapeau (Phase 2)	janv-10	CCVG	CEREG	44	X
18	Etude Hydraulique / RD14 - Contournement Nord de Pierrefeu (avant-Projet)	déc-08	CG83	EGIS eau_BCEOM France	50	X

n°	Intitulé	Année	Maître d'ouvrage	Prestataire	Nb de pages	Numér.
19	Crue des 18 et 19 janvier 2014 sur le Gapeau - Volet 1 : Estimations de débits complémentaires sur le Gapeau aval	juil-14	Service de Prévion des Crues Méditerranée Est - Météo France	CEREMA	32	X
20	Règlement du Service de Surveillance, de Prévion et de transmission de l'information sur les Crues. Version 3.1.	sept-14	Préfecture de la région PACA	Service de Prévion des Crues Méditerranée Est - Météo France	57	X

3.2. ETUDE HYDRAULIQUE CEDRAT DE 2001

3.2.1. Objectifs de l'étude

L'étude réalisée en 2001 avait pour ambition de :

- Caractériser les bassins versants, la capacité des cours d'eau et fossés principaux, afin de définir les travaux et ouvrages à réaliser pour limiter l'impact d'un événement pluviaux défini ;
- Identifier les secteurs où le ruissellement devra être maîtrisé en quantité et qualité.

L'étude se décline en trois phases successives :

- Phase 1 : caractérisation de l'état initial
- Phase 2 : scénarios d'aménagement des cours d'eau
- Phase 3 : programme des travaux

Et deux postes :

- Poste 1 : détermination des apports polluants par temps de pluie
- Poste 2 : Détermination des zones de maîtrise de l'imperméabilisation des terrains.

Le rapport présentant les enseignements du second poste (Détermination des zones de maîtrise de l'imperméabilisation des terrains) n'a pas été récupéré.

3.2.2. Principaux enseignements

EMPRISE D'ETUDE

Les cours d'eau étudiés en termes de gestion des zones inondables sont :

- Le Roubaud et ses affluents (Verlaque, Sauvette)
- Ritorte,
- Saint Lazare et Pyanet,
- Gapeau et son affluent le Mataffe,
- Le quartier Costebelle.

Pour les modélisations hydrauliques, le Gapeau a été modélisé depuis sa confluence avec le Real Martin¹ jusqu'à la mer.

ANALYSE HYDROLOGIQUE

L'analyse hydrologique permettant de définir les débits de crue pour différentes périodes de retour repose sur une approche double :

- Pour les « petits bassins versants » :
 - Détermination des débits de pointe par comparaison des résultats issus de plusieurs méthodes (analyse statistique – Crupedix, Lama, Sogreah-, méthode déterministe – rationnelle, SCS -, méthode hydrométéorologique (Gradex,...), méthode de transposition des données d'un bassin versant à un autre par la formule de Myers ;
 - Développement d'un modèle Pluie-débit (CUMULUS) qui transforme un hétérogramme en hydrogramme.
- Pour le Gapeau :
 - Débits de crue définis à partir des résultats études HGM² et des données DIREN au barrage de Sainte Eulalie en 2000,
 - Hydrogrammes construits par homothétie de l'hydrogramme reconstitué.

Il n'est toutefois pas fait mention du point de référence et de la superficie drainée pour le calcul des débits de pointe.

Les débits de pointe calculés (m³/s) apparaissent dans le tableau ci-après.

BV	BV drainé	Exutoire	Longueur thalweg	Pente	Q ₁	Q ₂	Q ₅	Q ₁₀	Q ₂₀	Q ₃₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Cr10 _{actuel}	Cr10 _{futur}
Roubaud	19.89 km ²	Mer	9.3 km	3.4%				40		77		108	0.37	0.39
Ritorte	2.89 km ²	Mer	5.1 km	3.7%	5	5.9	8.3	11	15	17	20	23	0.42	0.42
Pyanet	1.79 km ²	Canal de Roueff	3.3 km	0.7%	1.5	1.8	2.6	3.8	5.5	6.8	8.5	10.3	0.28	0.28
Mataffe	0.60 km ²	Gapeau RD	2.8 km	6.5%	2.1	2.4	3.6	4.5	6	7	8.2	9.4	0.52	0.52
Gapeau	?	aval confluence ave Real Martin	?	?		160	260	340	400	430	490	550	?	?

Tableau 1 : Débits de pointe de crue calculés par CEDRAT en 2001.

¹ La limite amont a été volontairement repoussée à l'amont du déversoir du Plan du pont afin de prendre en compte l'effet de surverse sur cet ouvrage, le laminage de la crue dans la plaine à l'aval, ainsi que les débordements du chenal de crue vers l'Oratoire. Les auteurs soulignent toutefois que cette partie du modèle (Camping du Vert Gapeau / Oratoire) reste simplifiée et ne constitue pas un modèle précis des phénomènes qui y prennent place.

² Q₁₀, Q₅₀ et Q₁₀₀ à Ste Eulalie et à l'embouchure en 1996. Crue de janvier 1999 à Saint Eulalie et au confluent avec le Réal Martin.

Les scénarii hydrologiques étudiés ont été définis en accord avec les services de la ville.

Scénario	Période de retour de l'événement		
	Gapeau	Roubaud, Sauvette, Verlaque et Font des Horts	Ritorte, Pyanet et Mataffe
1	30 ans	30 ans	30 ans
2	100 ans	100 ans	100 ans
3	30 ans	-	-
4	-	30 ans	10 ans
5	-	10 ans	30 ans

Tableau 2 : Scénarios hydrologiques étudiés par CEDRAT en 2001 [1].

Remarques : Les scénarii hydrologiques obtenus par reprise des résultats des études antérieures, par application de ratio ou encore en définissant des hydrogrammes par homothétie, ne peuvent pas être, en l'état, fiablement repris pour mener une caractérisation de l'aléa inondation et surtout servir de base pour constituer la stratégie de réduction de l'aléa.

En effet, même si il est illusoire de prétendre pouvoir définir très précisément les hydrogrammes pour les crues fréquentes à rares à partir d'une analyse hydrologique même très poussée, l'analyse hydrologique menée en 2001 apparaît trop sommaire pour permettre de justifier les partis d'aménagement retenus. En particulier, les volumes de crue potentiellement écrétables lors de leur passage au sein des zones de rétention ne sont pas du tout expliqués et justifiés, rendant impossible l'utilisation des résultats de cette étude en l'état.

ANALYSE HYDRAULIQUE

L'analyse capacitaire des cours d'eau a été conduite en retenant la formule de Manning-Strickler.

Le débit maximal avant débordement a été déterminé en retenant au droit de chaque ouvrage (pont, buse...) la formule des orifices en charge.

Les écoulements des débits de crues exceptionnelles ont été modélisés à l'aide du logiciel ISIS.

Les cours du Gapeau et du Roubaud ont été représentés par un modèle filaire. Ceux des petits affluents³ et les lits majeurs (ensemble de la plaine hyéroise) sous la forme de casiers.

La base aéronautique (BAN) n'a pas été explicitement modélisée (manque de données topographiques).

- Limites amont :
 - Pour le Gapeau : la confluence avec le Real Martin⁴,
 - Pour le Roubaud : à l'amont de l'autoroute.
- Limite aval : évolution des niveaux de la mer.

³ De la sorte, une hypothèse a été prise pour les hydrogrammes de crue de ces affluents. Ceux-ci sont diminués de la capacité d'évacuation minimale du lit mineur.

⁴ La limite amont a été volontairement repoussée à l'amont du déversoir du Plan du pont afin de prendre en compte l'effet de surverse sur cet ouvrage, le laminage de la crue dans la plaine à l'aval, ainsi que les débordements du chenal de crue vers l'Oratoire. Les auteurs soulignent toutefois que cette partie du modèle (Camping du Vert Gapeau / Oratoire) reste simplifiée et ne constitue pas un modèle précis des phénomènes qui y prennent place.

L'évolution des niveaux de la mer a été estimée sur la base des informations disponibles :

- Cycle normal : variation du niveau entre 0,18 m et 0,44 m NGF,
- Cycle de probabilité 30 ans : rehaussement de 38 cm, soit un maximum de 0,82 m NGF,
- Cycle de probabilité 100 ans : rehaussement de 56 cm, soit un maximum de 1,0 m NGF.

Pour les modélisations, en général les variations de la mer ont été assimilées à une marée « normale » sans surcote.

Calage du modèle

Le modèle a été calé :

- Sur les PHE relevés en plusieurs points entre le Plan du Pont et le Mer pour la crue du Gapeau du 18 janvier 1999 caractérisée en débit à partir des résultats de HGM au niveau du déversoir;
- Sur les niveaux constatés lors de la crue du Roubaud du 21 octobre 1999.

Au final, les coefficients de Manning suivants retenus sont les suivants :

GAPEAU	Lit mineur amont	0,033 à 0,03
	Lit mineur aval	0,02
	Berges boisées	0,1 à 0,05
ROUBAUD	Lit mineur naturel amont	0,04
	Lit mineur artificiel	0,03 à 0,025
	Lit mineur naturel aval	0,033

Tableau 3 : Coefficients de rugosité (Manning) retenus dans le modèle ISIS développé par CEDRAT en 2001 ([1]).

Le diagnostic hydraulique a permis d'identifier les insuffisances suivantes :

Essentiellement à cause de la faible pente couplée à un sous-dimensionnement des ouvrages et des gabarits, les cours d'eau ne peuvent véhiculer une crue décennale sans débordement. Certains sont mêmes saturés pour des périodes bien inférieures.

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.

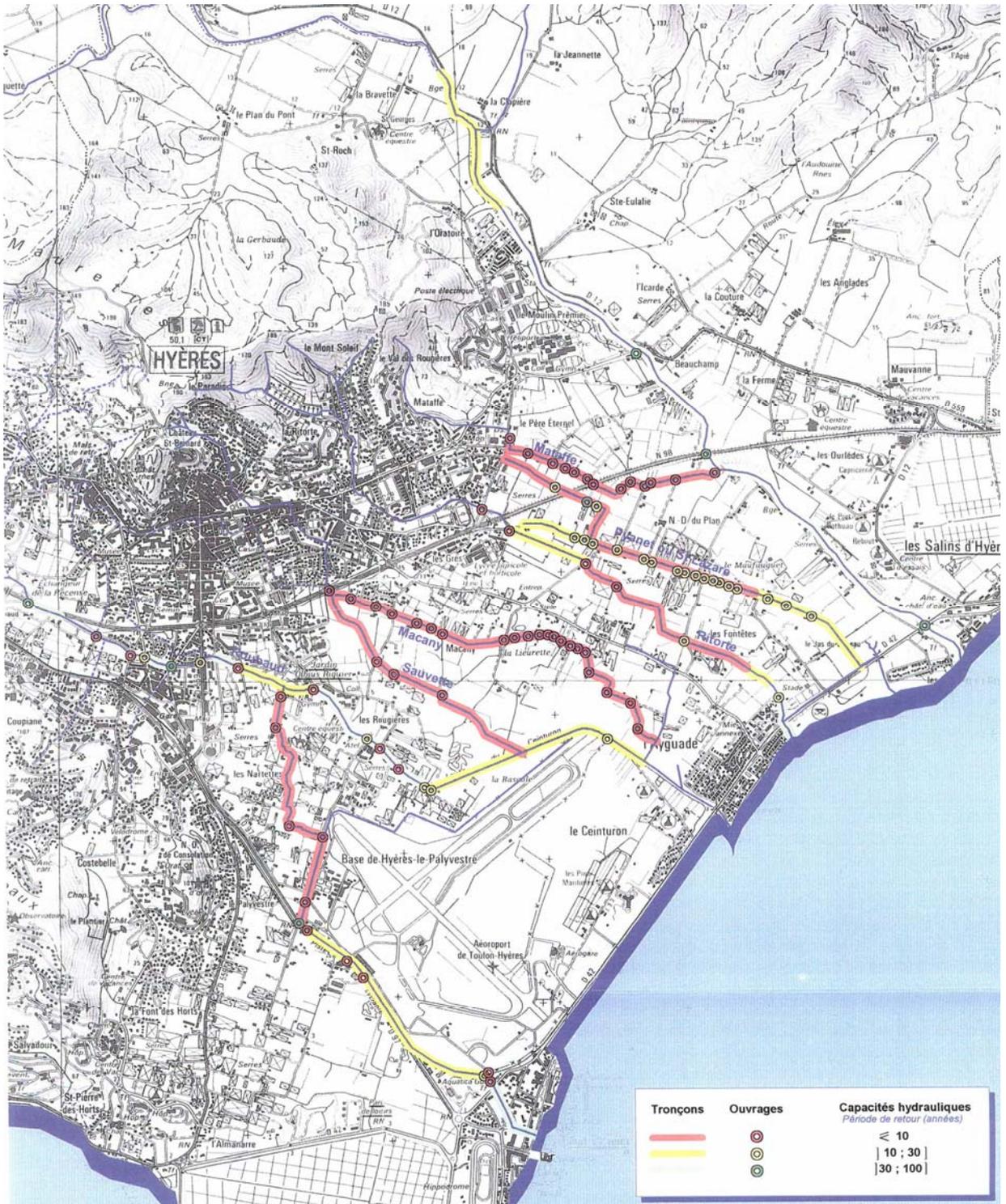


Figure 1 : Capacités hydrauliques des cours d'eau calculées par CEDRAT en 2001 ([1]).

L'observation relative des différentes capacités des cours d'eau a conduit CEDRAT à estimer qu'il n'y avait pas du tout (ou très peu et très localement) de marge de manœuvre au niveau des lits mineurs, dans le cas d'une crue trentennale, pour imaginer des transferts inter-cours d'eau sans recalibrage important, sauf à partir de l'hypothèse de crues isolées (crue du Gapeau seule, crue du Roubaud seule, crue des petits cours d'eau sans crue du Gapeau et Roubaud).

<i>Crue trentennale</i>	<i>Crue centennale</i>
<p>Le déversoir du Plan du pont permettrait d'évacuer un débit maximal de 100 m³/s en direction de la Bravette et du chenal de crue. L'ensemble du lit majeur est inondé ; Sans que la voie Olbia ne soit submergée, la mise en charge des ouvrages de franchissement génère un remous de 50 cm à 1 m.</p> <p>Compte tenu de la topographie et de l'endiguement du cours d'eau à l'aval de la voie Olbia, les eaux de débordement du Gapeau s'étendent sur l'ensemble de la rive gauche de la Ritorte, jusqu'au cours aval du Gapeau. les secteurs sensibles identifiés en lit majeur sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> -le rive droite du chenal de crue du Gapeau, le long de l'Oratoire : - la traversée du chemin de Moulin Premier, - une bande de largeur environ 100 m à l'amont de la voie Olbia, vers le Père Eternel, - les rives droites et gauche du cours aval de la Ritorte 	<p>Les débordements du Gapeau sur le déversoir du Plan du Pont atteignent 225 m³/s. L'étalement de ce déversement se traduit par un exhaussement des hauteurs de submersion de 10 cm sur le quartier de l'Oratoire. Les débordements en rive droite au niveau du lycée, sont augmentés de 50 % (par rapport à la situation trentennale), surinondant les casiers aval.</p>

Influence de la surcote marine

L'influence d'une surcote marine se ferait ressentir jusqu'à 600 m de l'embouchure

Tout comme pour l'occurrence trente ans, l'influence d'une surcote marine se ferait ressentir jusqu'à 600 m de l'embouchure. Compte tenu de la forte inondation du lit majeur, le remous ne peut pas se propager dans les casiers limitrophes de façon très sensible.

PROPOSITIONS ET PROGRAMME D'AMENAGEMENT

Dix-sept (17) actions ont été étudiées. 9 concernaient le Gapeau (numérotées de 7 à 16).

L'action 7 n'apparaît pas sur la figure puisqu'elle correspond à la création de près de 3 000 000 m³ de rétention dispersés sur le bassin versant en amont.

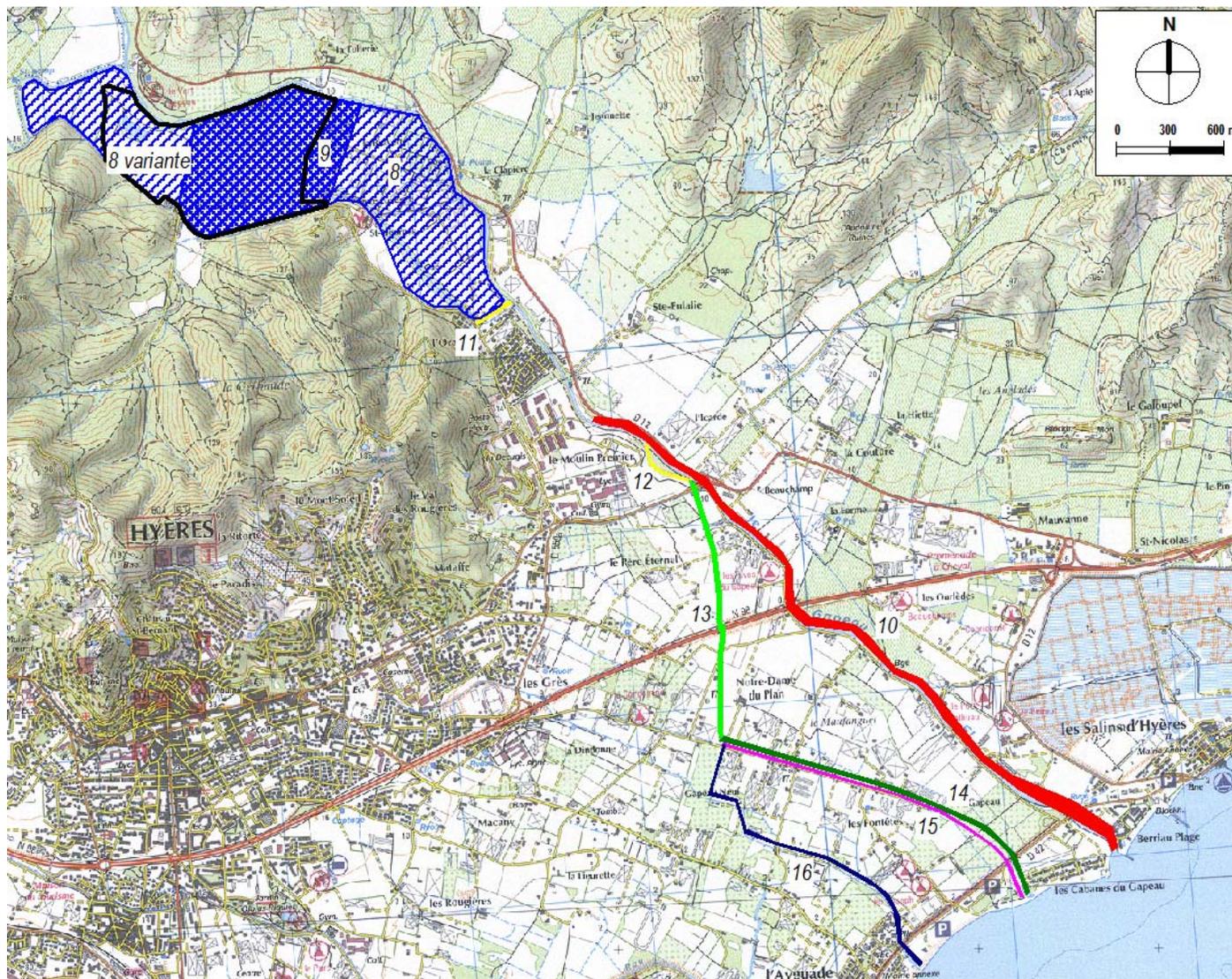


Figure 2 : Propositions d'aménagement étudiées et testées par CEDRAT en 2001 ([1])

Action étudiée par CEDRAT en 2001	Intitulé	Principe	Objectif hydraulique	Emprise foncière	Coût en € estimé en 2002	Coût actualisé en € (2014)	retenu
7	Rétention totale amont sur le Gapeau dans le cadre du SAGE	Création de bassins de rétention sur le Gapeau et le real Martin d'un volume total de 3 000 000 m ³ .	Crue centennale écrêtée et non débordante	150 ha (2 m de rétention en moyenne)	4 900 000 €	6 027 000 €	/
8	Rétention amont sur le Gapeau	Création de bassins de rétention, d'un volume total de 2 300 000 m ³	Crue centennale écrêtée sur la commune et non débordante	115 ha (2 m de rétention en moyenne)	3 305 000 €	4 065 150 €	/
8 variante	Création d'un vaste zone de rétention pour le Gapeau	Création d'une digue au niveau de la route de la Bravette pour retenir les eaux arrivant du déversoir du plan du Pont. Un volume de rétention de 800 000 m ³ environ est nécessaire.	Crue centennale écrêtée sur la commune et non débordante	60 ha (1,4 m de rétention en moyenne)	1 006 000 €	1 237 380 €	Z8
9	Rétention amont sur le Gapeau, de faible volume	Création d'un bassin de rétention d'un volume de 800 000 m ³ .	Crue trentennale écrêtée et non débordante	40 ha (2 m de rétention en moyenne)	690 000 €	848 700 €	/
10	Recalibrage du lit et des ouvrages du Gapeau	Elargissement de 3 m du lit du Gapeau sur une longueur de 3500 m, élévation localisée des berges, recalibrage du pont de l'ancienne RN98.	Augmentation de la capacité du Gapeau pour permettre le transit d'une crue trentennale	2 ha (3,5 km de long)	10 700 000 €	13 161 000 €	/
11	Digue de 250 m de longueur	Création d'une digue à l'amont du lotissement de l'Oratoire. Le niveau de protection affiché est trentennale (sans aucun autre aménagement réalisé en aval de l'ancienne RN98)	Protection amont des habitations	environ 2000 m ²	976 000 €	1 200 480 €	Z7

Tableau 4 : Actions n°7 à 11 étudiées par CEDRAT sur le bassin du Gapeau ([1]) avec indication des actions retenues.

Action étudiée par CEDRAT en 2001	Intitulé	Principe	Objectif hydraulique	Emprise foncière	Coût en € estimé en 2002	Coût actualisé en € (2014)	retenu
12	Renforcement de la digue au niveau du Collège Marcel Rivière	Renforcement de la digue jusqu'à un niveau de 7,6 m NGF, soit un rehaussement maximal de 1 m, sur une longueur de 400 m. Le niveau de protection affiché est trentennale (sans aucun autre aménagement réalisé en aval de l'ancienne RN98)	Protection des zones scolaires et militaire	environ 2000 m ²	46 000 €	56 580 €	Z6
13	Création d'un gros chenal de décharge du Gapeau, partie amont	Création d'une prise d'eau dans le Gapeau puis d'un chenal à ciel ouvert (étanchéification éventuelle en cas de risque d'assèchement de la nappe alluviale). Le niveau de protection affiché est trentennale (sans aucun autre aménagement réalisé en aval de l'ancienne RN98)	Diminution du débit du Gapeau	4 ha (1,5 km de long)	2 107 000 €	2 591 610 €	/
14	Création d'un gros chenal de décharge du Gapeau, partie aval	Chenal à ciel ouvert puis aménagement de l'exutoire à la mer (étanchéification éventuelle en cas de risque d'assèchement de la nappe alluviale). Le niveau de protection affiché est trentennale (sans aucun autre aménagement réalisé en aval de l'ancienne RN98).	Diminution du débit du Gapeau	6 ha (2,2 km de long)	3 600 000 €	4 428 000 €	/

Tableau 5 : Actions n°12 à 14 étudiées par CEDRAT sur le bassin du Gapeau (11) avec indication des actions retenues.

Action étudiée par CEDRAT en 2001	Intitulé	Principe	Objectif hydraulique	Emprise foncière	Coût en € estimé en 2002	Coût actualisé en € (2014)	retenu
15	Recalibrage du Saint Lazare en petit chenal de décharge du Gapeau	Chenal à ciel ouvert puis aménagement de l'exutoire à la mer (étanchéification éventuelle en cas de risque d'assèchement de la nappe alluviale). Le niveau de protection affiché est trentennale (sans aucun autre aménagement réalisé en aval de l'ancienne RN98)	Diminution du débit du Gapeau	6 ha (2,2 km de long)	2 500 000 €	3 075 000 €	/
16	Recalibrage de la Ritorte en petit chenal de décharge du Gapeau	Chenal à ciel ouvert suivant le cours de la Ritorte et/ou le canal Decugis (étanchéification éventuelle en cas de risque d'assèchement de la nappe alluviale). Le niveau de protection affiché est trentennale (sans aucun autre aménagement réalisé en aval de l'ancienne RN98)	Diminution du débit du Gapeau	4 ha (2,2 km de long)	2 500 000 €	3 075 000 €	/

Tableau 6 : Actions n°15 et 16 étudiées par CEDRAT sur le bassin du Gapeau ([1]) avec indication des actions retenues.

Au final, le cabinet CEDRAT présente le scénario retenu par la collectivité tenant compte des contraintes notamment foncières.

Les trois actions retenues sur le bassin du Gapeau sont :

Intitulé	Objectif hydraulique	Emprise foncière	Coût en € estimé en 2002	Coût actualisé en € (2014)	retenu
Création d'un vaste zone de rétention pour le Gapeau	Crue centennale écrêtée sur la commune et non débordante	60 ha (1,4 m de rétention en moyenne)	1 006 000 €	1 237 380 €	Z8
Digue de 250 m de longueur	Protection amont des habitations	environ 2000 m ²	976 000 €	1 200 480 €	Z7
Renforcement de la digue au niveau du Collège Marcel Rivière	Protection des zones scolaires et militaire	environ 2000 m ²	46 000 €	56 580 €	Z6
Total			2 028 000 €	2 494 440 €	

Tableau 7 : Actions retenues pour protéger la commune de Hyères des crues du Gapeau d'après CEDRAT 2001 (1).

Le rapport préconisait ainsi l'aménagement d'un grand bassin de rétention dans la plaine du Plan du Pont. D'une superficie noyée de 60 ha, il permettrait, d'après le cabinet CEDRAT, d'écrêter la crue trentennale du Gapeau qui serait alors évacuée sans dommages.

Des aménagements ponctuels à l'amont du lotissement de l'Oratoire et au niveau du collège Marcel Rivière permettraient selon les mêmes auteurs en outre d'éliminer les débordements majeurs concernant des zones sensibles lors d'une crue centennale.

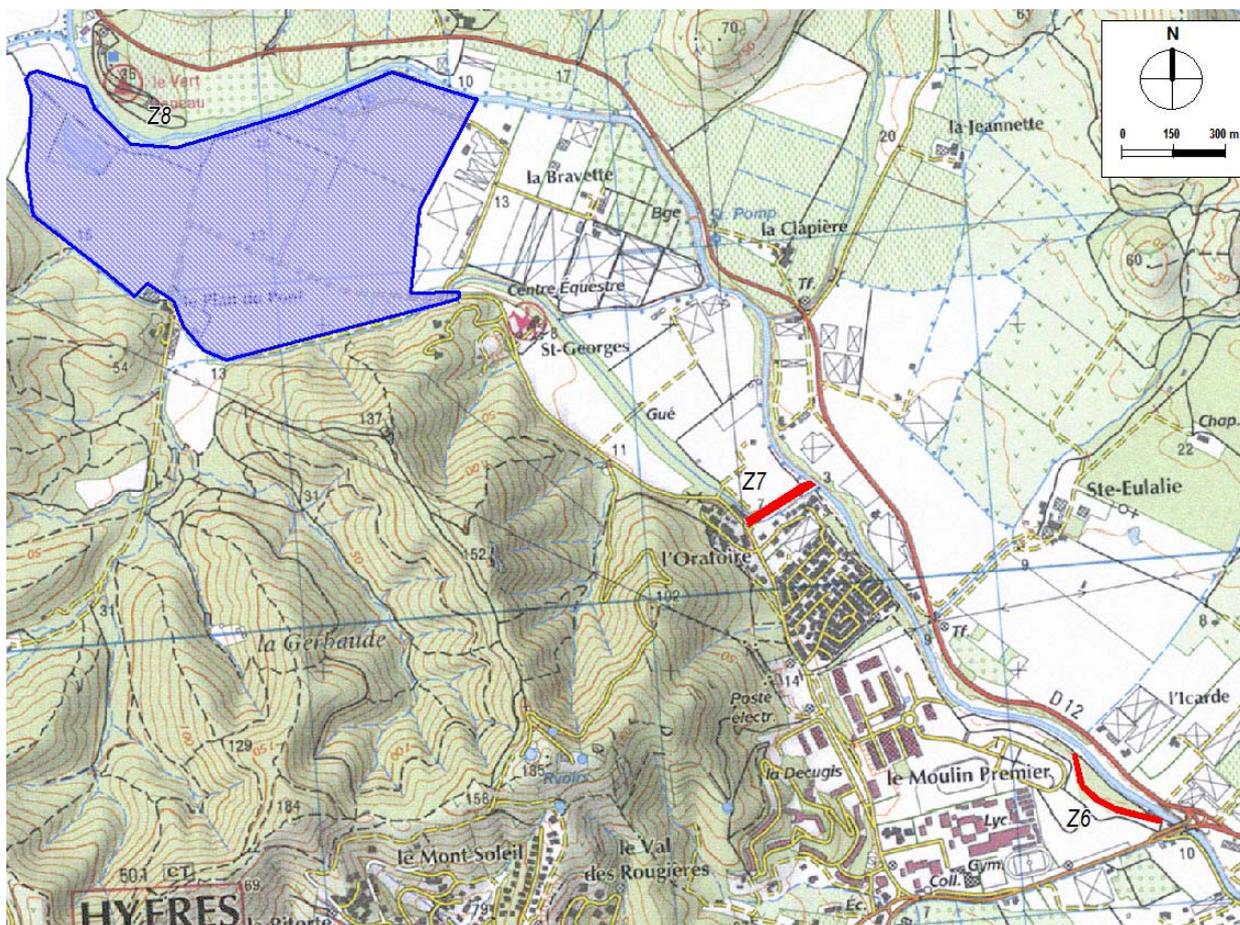


Figure 3 : Actions retenues pour protéger la commune de Hyères des crues du Gapeau d'après CEDRAT 2001 ([1]).

3.3. ETUDE DE COHERENCE HYDRAULIQUE SCP

3.3.1. Objectifs de l'étude

L'étude réalisée en 2006 avait pour ambition de doter l'ancien syndicat mixte des éléments permettant la réalisation d'aménagements capables d'offrir une protection trentennale aux secteurs les plus exposés.

- La première phase d'étude était sensée établir un état des lieux d'ensemble du bassin versant du Gapeau.
- La seconde étape d'analyse avait pour objectif de définir des solutions et les principales caractéristiques des aménagements à retenir (au niveau faisabilité).

En introduction du rapport de seconde étape, les auteurs estiment que :

« Actuellement la protection existante est jugée globalement satisfaisante pour des crues de temps de retour de 10 ans, l'objectif des aménagements proposés est de porter cette protection dans les secteurs les plus exposés à une période de retour 30 ans, conformément aux exigences du maître d'ouvrage. »

3.3.2. Principaux enseignements

HYDROLOGIE

Le rapport de phase 1 rappelle les débits projet de crue retenus dans le cadre de l'étude « fondatrice » de 1974⁵ :

Fréquence - Occurrence	Débit en m ³ /s	
	Saint Eulalie	Mer
1/10 – décennale	300	320
1/100 – centennale	500	530
1/1000 - millénaire	690	730

Tableau 8 : Débits de projet apparaissant dans l'étude de 1974 de protection des crues du Gapeau.

Le rapport de phase 2 synthétise les débits de référence des études conduites entre 1974 et 2000 en aval du Gapeau.

Etude	Q _{10ans}	Q _{30ans}	Q _{100ans}
SCP 1999	270	-	600
SCP 1974	300	-	500 (extrapolé)
CEDRAT 2000	320	420	
HGM 1996	260	-	490 (extrapolé)
HGM 1999	-	400	-
SOGREAH 1970	300	-	600

Tableau 9 : Principales valeurs retenues pour les débits de référence dans les études antérieures à l'étude de 2006 selon la SCP

Au final, le cabinet SCP estime plausible de retenir à Sainte Eulalie la plage des valeurs de référence suivantes :

- Q_{10ans} = 300 à 320 m³/s
- Q_{30ans} = 400 à 420 m³/s.

A noter : ces analyses hydrologiques reposent année après année sur une reprise des valeurs des études antérieures (ex : l'étude CEDRAT a repris les estimations hydrologiques des études HGM). Ainsi, le semblant de répétabilité des estimations est surtout provoqué par la non-remise à plat des analyses hydrologiques.

Le modèle pluie-débit CRUEPROJ développé en 2006 a été calé sur ces estimations :

⁵ Protection contre les crues du bas Gapeau – Aménagement hydraulique du lit – APS / SCP – 1974 : cette étude faisait suite aux crues de septembre 1968 et du 28 décembre 1972.

- $Q_{10\text{ans}} = 326$ pour $320 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100\text{ans}} = 412$ pour $420 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les hydrogrammes établis à saint Eulalie ont été également définis en prenant comme postulat que le volume d'eau évacué pour une crue trentennale au dessus du débit de pointe dix ans est d'environ 1 Mm^3 .

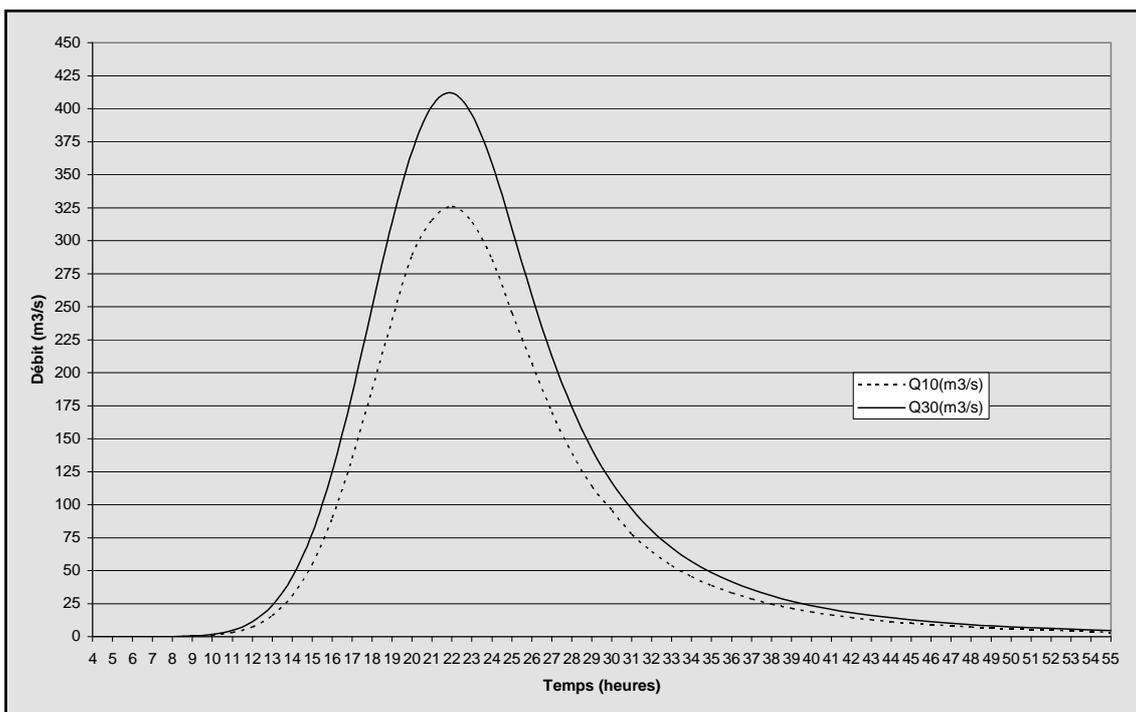


Figure 4 : Graphique représentant les hydrogrammes Q10 et Q30 à St. Eulalie apparaissant dans la phase 2 de l'étude SCP de 2006 ([2]).

HYDRAULIQUE

Le rapport de phase 1 présente la localisation des sites de stockage potentiels proposés lors de l'étude de 1974.

Trois grands barrages avaient été envisagés :

Cours d'eau	Situation	Surface du bassin	Volumes utiles (Mm^3)		
			1/10	1/100	1/1000
Gapeau	Montrieux	92 km^2	6.2	8.6	10.4
Réal Martin	Les Vidaux	63 km^2	5.1	7.1	8.5
Réal Collobrier	Pont de Fer	74 km^2	7.1	9.8	11.8

Tableau 10 : Emprises drainées et volumes utiles concernés par les trois grands barrages envisagés.

Remarque : ces volumes seront revus à la baisse en fonction des débits de fuite retenus.

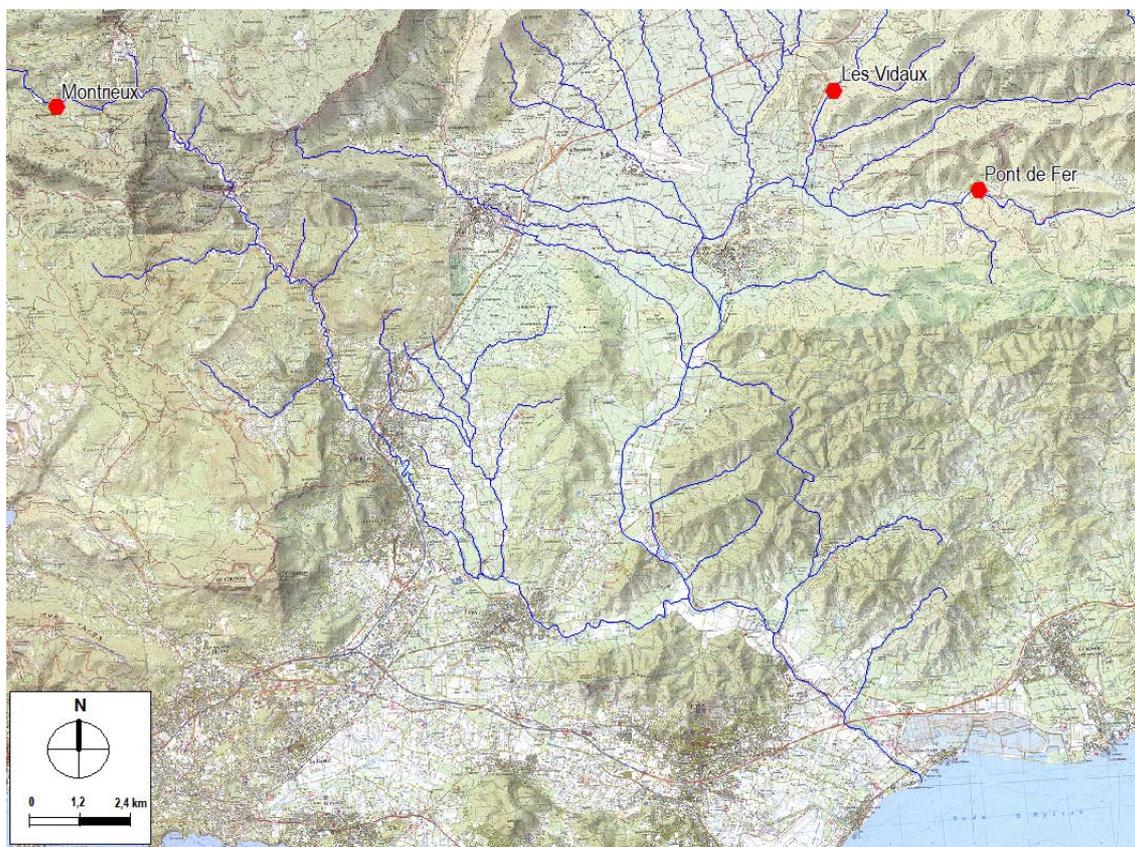


Figure 5 : Localisation des sites potentiels des grands barrages identifiés par la SCP en 1974.

23 petits barrages avaient également été pressentis au cours de cette première étape. Les barrages ont été dimensionnés en supposant qu'ils stockent la totalité du volume ruisselé dans le bassin versant qu'ils contrôlent :

Désignation	Volume utile en Mm ³			Débits écrêtés		
	1/10	1/100	1/1000	1/10	1/100	1/1000
Grands barrages	18	25	31	65	150	270
Petits barrages	11	15	18	65	100	140

Tableau 11 : Principes de dimensionnement des barrages retenus dans l'étude SCP de 1974.

L'étude SCP conclut en phase 1 sur la stratégie retenue jusqu'à 2006 visant « **une politique d'amélioration de la capacité du lit** » motivée selon le bureau d'études par :

- Des critères économiques et les moyens financiers,
- La situation physique et l'état du bassin versant,
- Les données hydrométéorologiques existantes,
- La situation sociopolitique de l'époque, le taux de rentabilité...

L'accroissement de la capacité d'évacuation des lits mineurs permettrait, selon les auteurs, de supprimer globalement les dégâts engendrés par les crues dont la période de retour est inférieure à 10 ans.

Dès lors l'ambition de l'étude a été de définir un programme de travaux permettant « d'améliorer la sécurité des biens et des personnes pour un événement de fréquence trentennale, en prenant en compte la fonctionnalité du bassin versant dans son ensemble. »

Ce programme reposerait alors sur des zones de stockage réparties sur l'ensemble du bassin versant favorisant un « accroissement de la protection des populations et limitant le risque de défaillance générale du système ».

Pour établir les aménagements envisageables, le cabinet SCP a posé comme postulat que les aménagements envisagés n'auraient pas d'impact sur les crues d'occurrence inférieure à 10 ans. Les aménagements de stockage seront vides en période normale et remplis à leur capacité maximale en cas de crue trentennale. L'étude de 2006 n'a pas précisé les conditions de ressuyage de ces zones de stockage (temps optimal de vidange) estimant qu'elles le seraient dans le cadre des études spécifiques.

Le choix des sites s'est fait à l'époque sur les critères suivants :

- « Sites déjà mis en évidence dans le passé à travers d'études hydrauliques,
- Visites systématiques sur chaque site avec les représentants des communes concernées et concertation sur la faisabilité,
- Faisabilité hydraulique et de génie civil
- Consensualité : les aménagements proposés doivent correspondre dans leur globalité (point de vue écologique, critères des associations de chasse, pêche, etc.)
- Financier et foncier : recherche d'un moindre coût dans les sites appropriés
- Répartition équilibrée : prise en compte les caractéristiques globales entre les deux grands bassins versants, le Gapeau et le Réal Martin
- Dimensionnement dans une logique à long terme : l'action d'aménagement pourrait être poursuivie dans le futur pour accroître d'avantage le degré de protection
- Modularité des aménagements : il est tout à fait envisageable de procéder par étapes (en fonction des ressources financières ou foncières par exemple). »

Le tableau de la page suivante présente la localisation des sites retenus.

Pour celui du Plan du Pont, la solution technique proposée s'appuie sur un aménagement partiel de la zone A2. Au final, les auteurs estiment que « seulement » 253 000 m³ sont nécessaires pour, a priori, atteindre l'objectif visé (passer de Q_{30ans} à Q_{10ans}).

Site	BV	Cours d'eau	Commune	BV drainé	Superficie	Rive	Capacité maximale estimée	Hauteur moyenne	Hauteur maximale des digues	Alimentation de la zone	Coût d'investissement		Remarque
											total	spécifique	
<u>A</u> <u>Plan du Pont</u>	Gapeau	Gapeau	HYERES	n.c.	37 ha	droite	253 000 m ³	0.7 - 1.8 m (plusieurs casiers)	1-5 à 2 m	par débordement latéral sur déversoir existant	573 500 €	2.2 €/m ³	la solution technique proposée s'appuie sur un aménagement partiel de la zone A2 (18 / 47 ha). Au final, les auteurs estiment que « seulement » 253 000 m ³ sont nécessaires pour, a priori, atteindre l'objectif visé (passer de Q30ans à Q10ans).
<u>B</u> <u>Site de Montrieux-le-Vieux</u>	Gapeau	Gapeau	MEOUNES-LES-MONTRIEUX	85.5	3.2 + 3.5 = 6.7 ha	droite	50000 + 120000 = 170 000 m ³	3.5 - 4 m pour B1 et 6,5 m pour B2	n.c.	gravitaire par remontée progressive du niveau	850 000 €	5.0 €/m ³	Le BV drainé en ne considérant pas le site de saint Clair est de 43,5 km ² .
<u>C</u> <u>Site de Méounes-les-Montrieux</u>	Gapeau	Le Naï	MEOUNES-LES-MONTRIEUX		3.2 ha	droite et gauche	35 000 m ³	1 m	n.c.	surinondation du lit majeur du Naï	245 000 €	7.0 €/m ³	
D Site de Saint Clair	Gapeau	Latay	SIGNES	n.c.	0.5 ha	droite et gauche	25 000 m ³	4-5 m	n.c.	Deux ouvrages calibrés situés dans le lit mineur du cours d'eau	875 000 €	35.0 €/m ³	
<u>E</u> <u>Site de la Gravière</u>	Réal Martin	Réal Martin	PIERREFEU-DU-VAR	n.c.	35 ha	gauche	350 000 m ³	1-1.5 m	n.c.	gravitaire par remontée progressive des niveaux ou déversoir sur Réal Martin	1 050 000 €	3.0 €/m ³	
F Site de Beausseas	Réal Martin	torrent de Beausseas	PIERREFEU-DU-VAR	n.c.	3.2 ha	n.c.	35 000 m ³	1.25 m	n.c.	direct sur le cours d'eau	210 000 €	6.0 €/m ³	
<u>G</u> <u>Site du Pont de Fer</u>	Réal Martin	Réal Collobrières	PIERREFEU-DU-VAR	n.c.	environ 8 ha	droite et gauche	186 000 m ³	4 m	n.c.	direct sur le cours d'eau	930 000 €	5.0 €/m ³	
<u>H</u> <u>Site les Vidoux</u>	Réal Martin	Réal Martin	PIERREFEU-DU-VAR	n.c.	7.8 ha	droite et gauche	80 000 m ³	env. 1 m	env. 2 m	gravitaire par remontée progressive des niveaux	640 000 €	8.0 €/m ³	
I Retenue de Camp Bourjas	Réal Martin	torrent de Camp Bourjas	COLLOBRIERES	n.c.	n.c.		4 000 m ³			modification des consignes de gestion de la retenue DFCI	16 000 €	n.c.	ajouter à sa fonction première un rôle supplémentaire de défense contre les inondations
<u>J</u> <u>Retenue de Valescure</u>	Réal Martin	torrent de Valescure	COLLOBRIERES	n.c.	n.c.		6 600 m ³			Etablir un nouveau plan d'eau 1 m plus bas (retenue actuelle envasée)	66 000 €		
<u>K</u> <u>Site de Carnoules</u>	Réal Martin	La Font de l'Ile	CARNOULES		4 ha	droite	20 000 m ³	env. 0.5 m	1.0 - 1.5 m	gravitaire	140 000 €	7.0 €/m ³	

Tableau 12 : Synthèse des caractéristiques des sites retenus pour stocker les crues du Gapeau et ses affluents (en rouge et surligné les sites retenus)

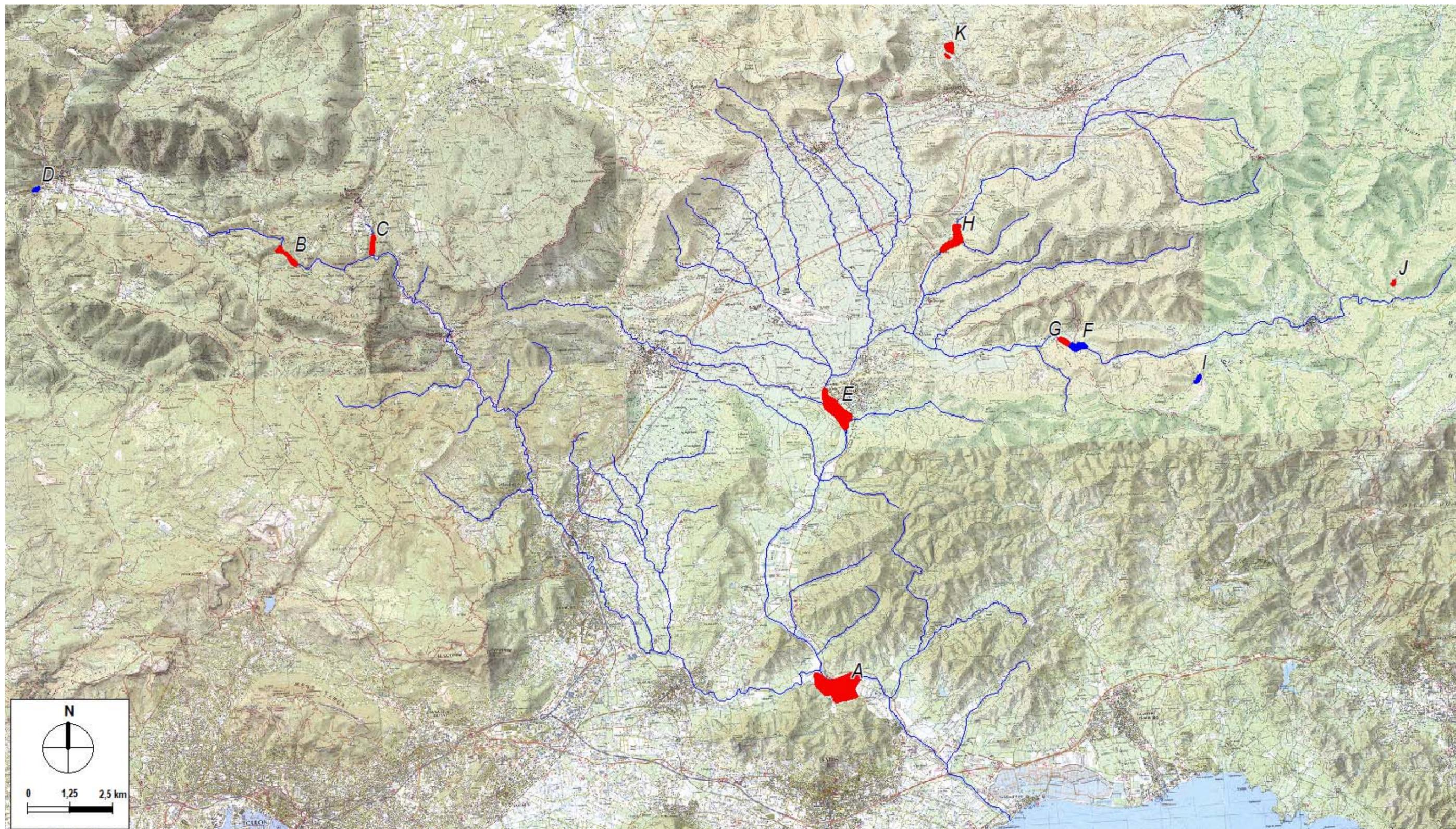


Figure 6 : Emplacements des sites étudiés par la SCP en 2006 pour écrêter les crues trentennales du Gapeau et ses affluents (en rouge les sites retenus).

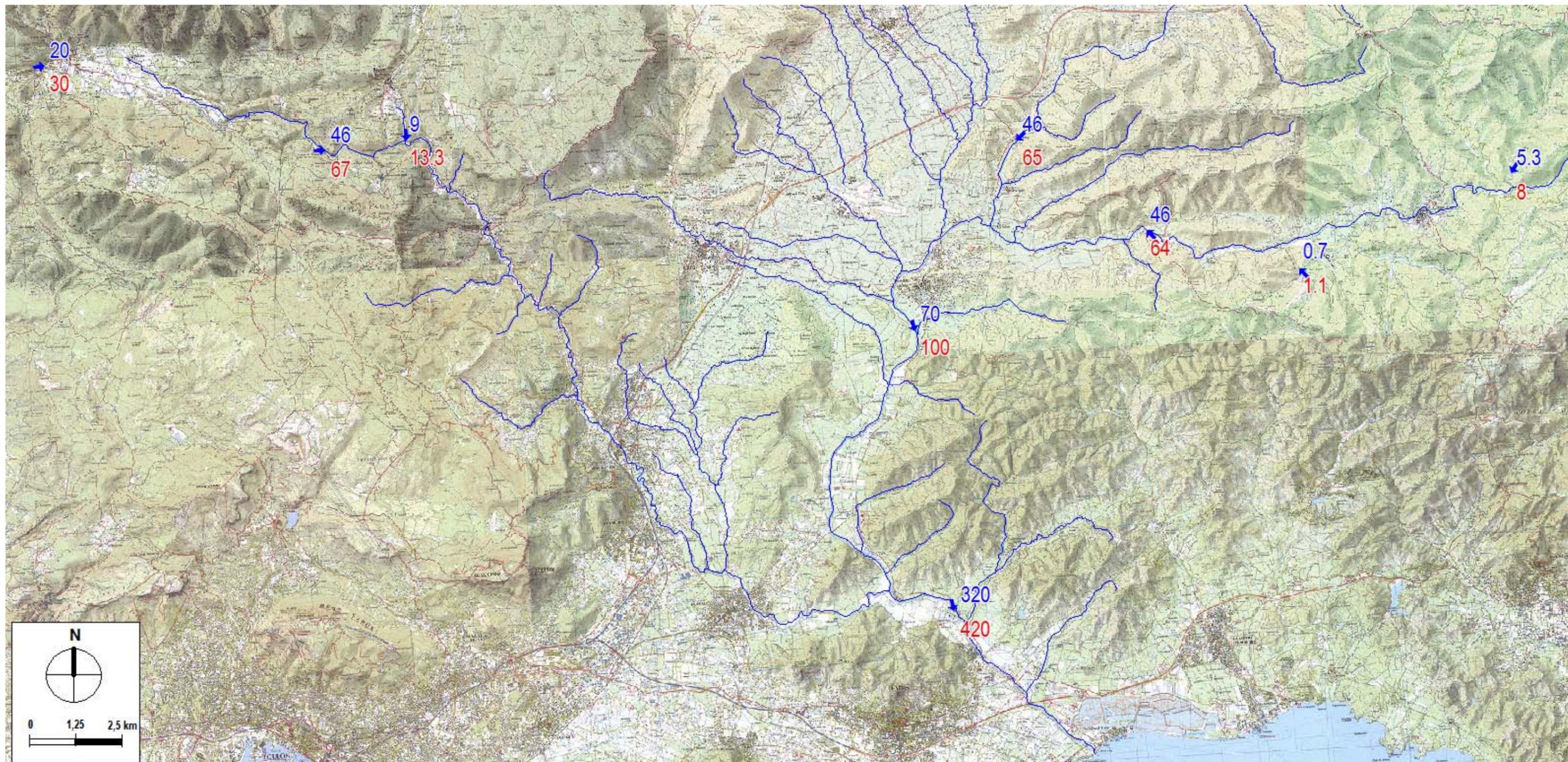


Figure 7 : Estimations des débits décennaux et trentennaux en différents points du réseau hydrographique d'après analyse étude SCP de 2006 (en bleu Q_{10} et en rouge Q_{30})

Les incidences attendues des aménagements, une fois les sites retenus aménagés, ont été estimées par la SCP :

1. La baisse du niveau du plan d'eau a été estimée dans une zone sensible aux inondations, la partie amont de l'agglomération de Solliès-Toucas, en cas de crue trentennale le plan d'eau va se situer environ 0.3-0.4m plus bas.
2. La baisse du niveau du plan d'eau a été estimée dans une zone assez sensible aux inondations, la traversée de l'agglomération de Collobrières. Grâce aux aménagements proposés en situation de crue trentennale le plan d'eau va se situer environ 0,15-0,20m plus bas. Cette baisse modeste du plan d'eau en situation de crue est due au potentiel réduit du site de Valescure
3. En amont du site du Plan-du-Pont (en aval de la confluence entre Le Gapeau et Le Réal Martin) la baisse du niveau du plan d'eau a été estimée dans une zone sensible aux inondations, en amont du déversoir du Plan-du-Pont, au droit du camping « Le Gapeau Vert »
4. Au niveau de l'Oratoire, la réalisation de la totalité des aménagements proposés dans le bassin versant du Gapeau, d'un volume total de 1.100.000 m³, aurait comme effet une baisse de plan d'eau, au niveau du quartier de l'Oratoire et en cas de crue trentennale, d'environ 0,60 m.

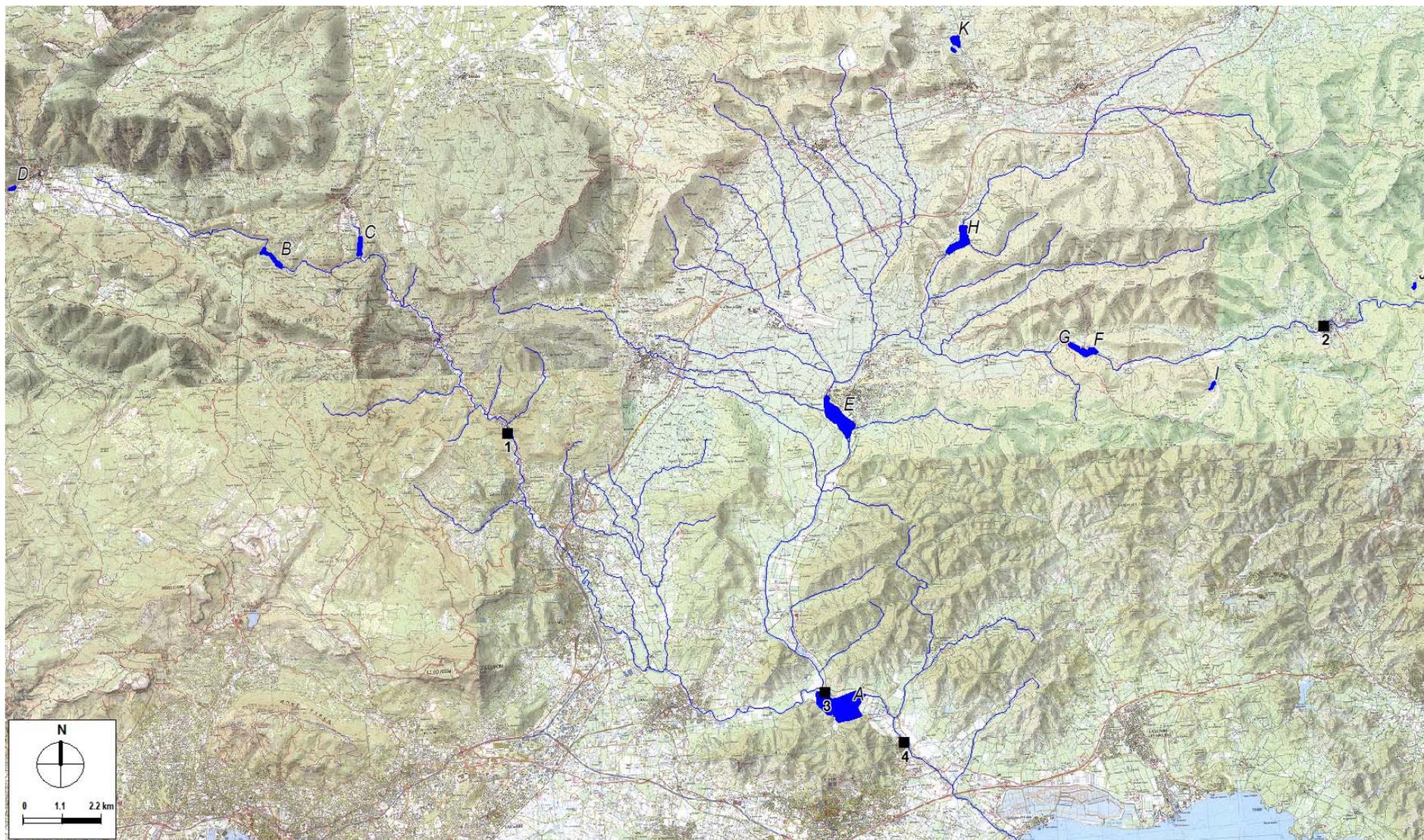


Figure 8 : Localisation des sections de contrôle retenues par la SCP en 2006 pour quantifier l'incidence sur les lignes d'eau du programme de protection.

3.4. AUTRES ETUDES PARTICIPANT A LA DEFINITION DE LA CONNAISSANCE DE L'ALEA INONDATION ET A LA STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA

3.4.1. Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) de TOULON – HYERES - Cartographie des surfaces inondables et des risques - Rapport explicatif

La mise en œuvre de la Directive Inondation vise à fixer un cadre d'évaluation et de gestion des risques d'inondation à l'échelle du bassin Rhône-Méditerranée tout en priorisant l'intervention de l'État pour les territoires à risque important d'inondation (TRI).

31 TRI ont été arrêtés le 12 décembre 2012 sur le bassin Rhône-Méditerranée.

La sélection du TRI de Toulon – Hyères s'est appuyée en première approche sur l'arrêté ministériel du 27 avril 2012 qui demande de tenir compte, a minima, des impacts potentiels sur la santé humaine et l'activité économique de l'évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI).

Les phénomènes d'inondation identifiés comme prépondérants sur le TRI de Toulon – Hyères sont :

- les débordements de la Reppe, du Las, de l'Eygoutier, du Vallat de Faveyrolles, du Gapeau et du Roubaud,
- et les phénomènes de submersions marines.

La figure ci-après présente les cours d'eau pris en compte pour l'établissement de la Cartographie. Sur le bassin du Gapeau, seul le Gapeau a été pris en compte.



Figure 9 : Cours d'eau étudiés pour établissement de la cartographie du TRI Toulon – Hyères.

La cartographie du TRI de Toulon – Hyères se décompose en différents jeux de carte au 1/ 25 000e pour :

- **les débordements de chacun des cours d'eau précités :**
 - un jeu de 3 cartes des surfaces inondables pour les événements fréquent⁶, moyen⁷, extrême⁸ présentant une information sur les surfaces inondables et les hauteurs d'eau ;
 - une carte de synthèse des débordements du cours d'eau considéré cartographiés pour les 3 scenarii retenus ;
 - une carte des risques présentant les enjeux situés dans les surfaces inondables ;
 - une information sur les populations et les emplois exposés par commune et par scénario.
- **les submersions marines :**
 - un jeu de 4 cartes des surfaces inondables par submersions marines pour les événements fréquent, moyen, moyen avec changement climatique, extrême présentant une information sur les surfaces inondables, les hauteurs d'eau ;

⁶ L'événement fréquent correspond à l'événement historique, ou causant les premiers dommages, de période de retour comprise entre 10 et 30 ans.

⁷ L'événement moyen correspond à l'événement historique de période de retour comprise entre 100 et 300 ans.

⁸ L'événement extrême correspond à l'événement historique de période de retour supérieure à 1000 ans.

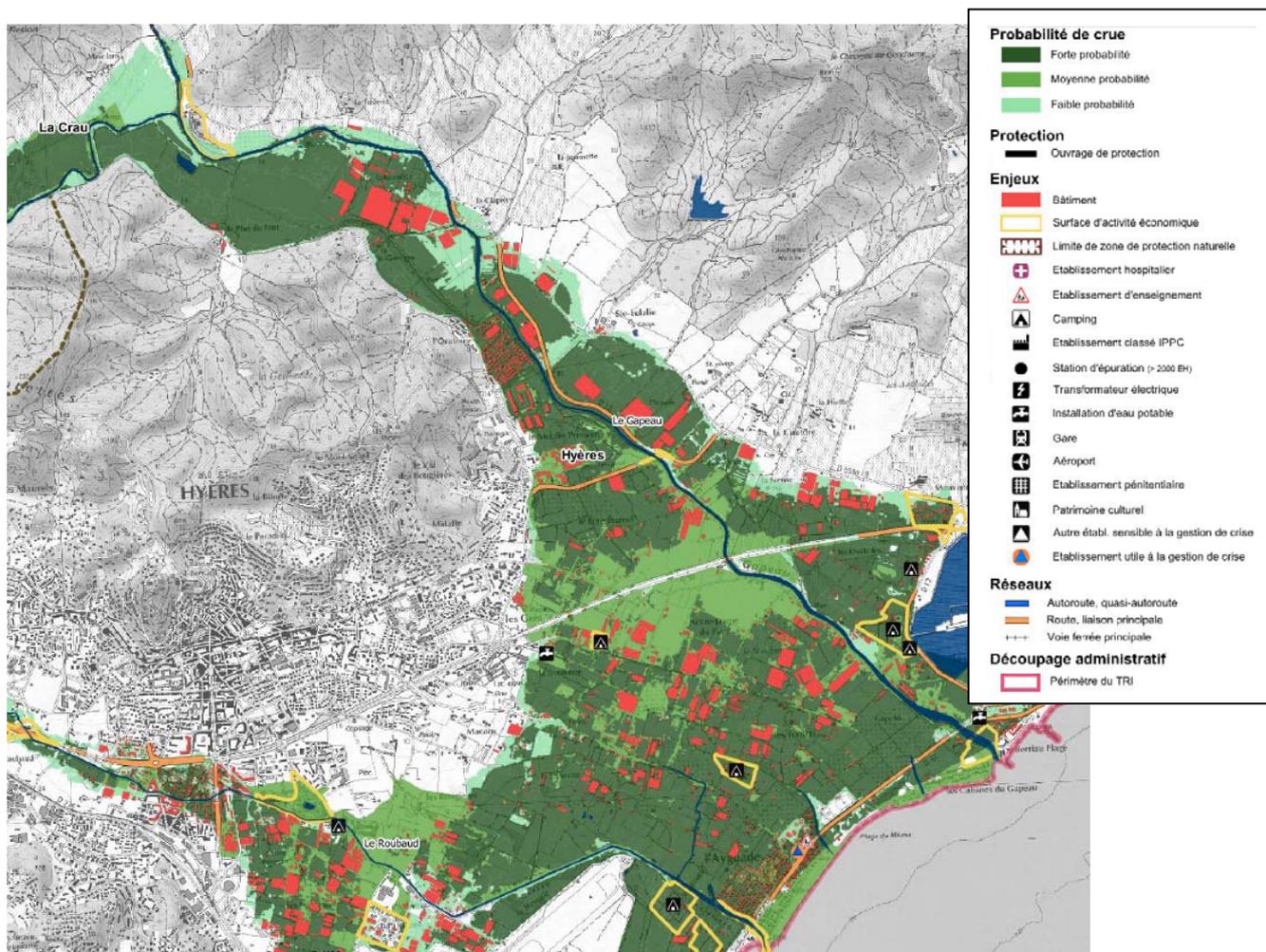
SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.

- une carte de synthèse des submersions marines pour les 4 scenarii retenus ;
- une carte des risques présentant les enjeux situés dans les surfaces inondables par submersions marines ;
- une information sur les populations et les emplois exposés par commune et par scénario.

Sur la base des données de débits issues de SHYREG, des données disponibles sur la Banque HYDRO, des études réalisées pour le PPRI du Gapeau , et après analyse du CETE Méditerranée, les débits retenus à l'exutoire pour la cartographie sont de :

- $Q_{\text{fréquent}} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{\text{extrême}} = 1340 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le modèle 1D a été construit à l'aide de CARTINO et caractérisé par 262 profils en travers, sur un linéaire de 25,2 km⁹. Le coefficient de Strickler utilisé est de 15, sans distinction entre le lit mineur et le lit majeur. Les résultats ont été soumis pour avis à la DDTM 83, puis pour validation à la DREAL PACA. Le rapport explicatif précise que la section en aval de l'autoroute a été difficile à modéliser avec un modèle 1D (secteur endigué, confluence avec le Roubaud, présence des étangs d'Hyères).



⁹ Aucune donnée topographique n'est disponible en amont de Belgentier, d'où l'arrêt de la cartographie en aval de Belgentier.

Figure 10 : Cartographie descriptive du risque inondation établie dans le cadre du TRI Toulon Hyères – partie aval (Hyères)

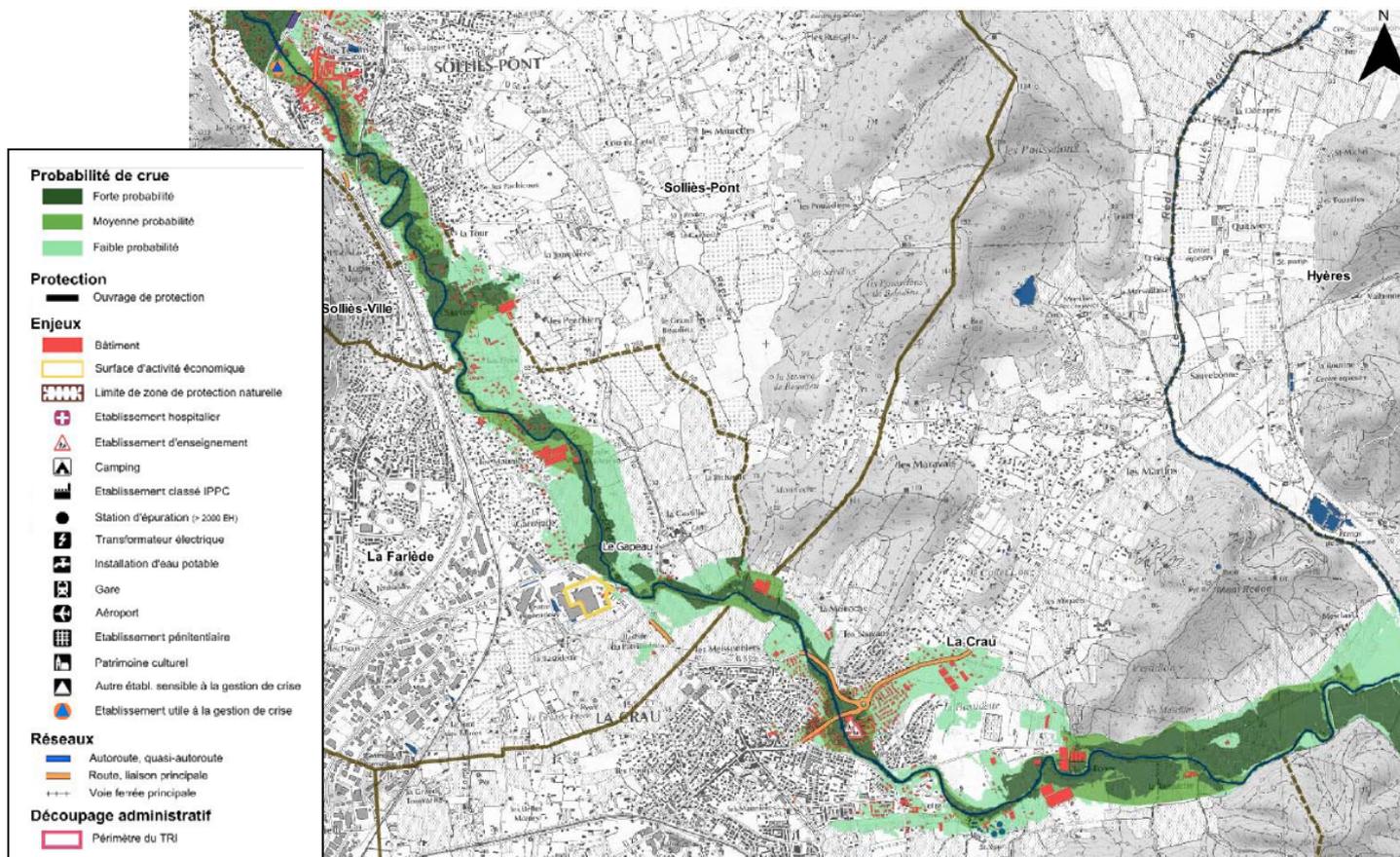


Figure 11 : Cartographie descriptive du risque inondation établie dans le cadre du TRI Toulon Hyères – partie intermédiaire (La Crau, la Farlède, Solliès Pont).

Pour les différents événements pris en compte, le tableau ci-après présente les sources d'information utilisées.

Événement	Source d'informations
fréquent	Résultats de l'outil de modélisation simplifié CARTINO / CETE Méditerranée / DREAL PACA/2013
moyen	Sur Hyères : « Etude hydraulique – Gestion des crues » et « Etude de l'aléa inondation du Gapeau dans la plaine de Hyères-les-Palmiers » / HGM Environnement / DDE 83/ 1996 et 2001
	Sur les autres communes incluses dans le TRI : « Détermination des zones inondables du Gapeau sur les communes de Belgentier, Solliès-Toucas, Solliès-Ville, Solliès-Pont, La Farlède et La Crau » / SCP/ Communauté de communes de la vallée du Gapeau / 1999
extrême	Résultats de l'outil de modélisation simplifié CARTINO / CETE Méditerranée / DREAL PACA/2013

Tableau 13 : Sources d'informations utilisés pour les différents événements cartographiés dans le TRI pour le Gapeau.

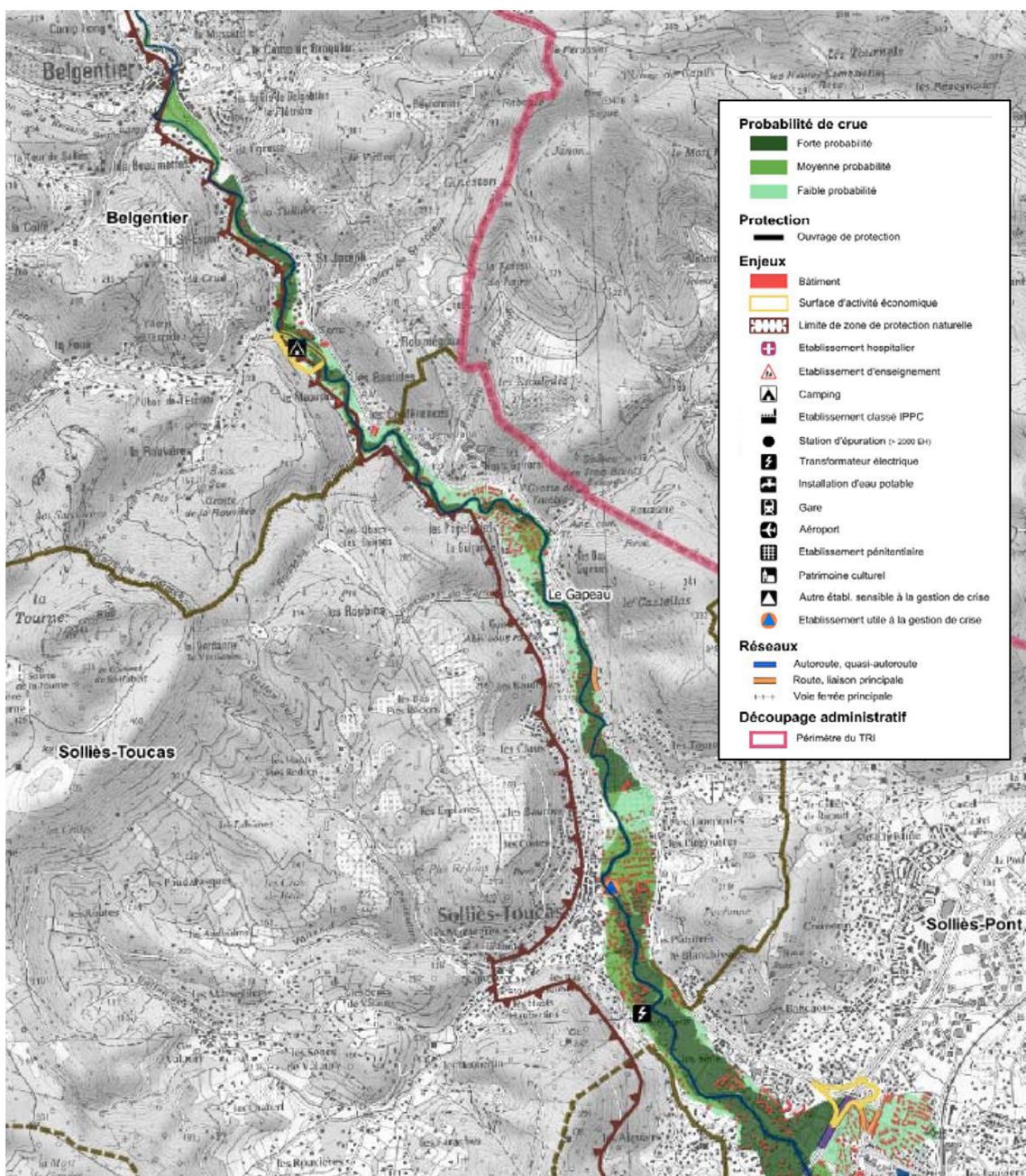


Figure 12 : Cartographie descriptive du risque inondation établie dans le cadre du TRI Toulon Hyeres – partie amont (Sollès-Pont, Sollès-Toucas, Belgentier)

Les analyses menées sur les TRI ont permis également de cartographier les zones inondables par submersion marine. Les niveaux de référence suivants ont été retenus :

- Un niveau marin de 1.30 m NGF a été retenu pour l'événement fréquent,
- Un niveau marin de 2 m NGF a été retenu pour l'événement moyen,
- Le niveau marin pour un événement moyen avec prise en compte du changement climatique est alors de 2.40 m NGF,
- Un niveau marin de 2.80 m NGF a été retenu pour l'événement extrême.

3.4.2. Détermination des zones inondables du Gapeau sur les communes de Belgentier – Solliès-Toucas – Solliès-Ville – Solliès-Pont – La Farlède – La Crau)

Cette étude confiée à la SCP en 1999 avait pour ambition de délimiter les zones exposées au risque inondation sur le territoire des communes de Belgentier, Solliès-Toucas, Solliès Ville, Solliès Pont, la Farlède et la Crau par le Gapeau sur un linéaire de 22 km environ.

L'étude hydraulique menée repose sur le développement d'un modèle 1D d'écoulement (logiciel LIDO) constitué à partir de relevés de profils en travers (84), des principaux ouvrages (26 ponts et 19 seuils).

Les débits de référence projet repose sur une analyse statistique des mesures de débits aux stations de Solliès Pont, Sainte Eulalie et Decapris complétée par une utilisation de la méthode Crupedix ou encore l'abaque SOGREAH pour estimer les débits d'occurrence 10 ans. Le débit de période de retour 100 ans a été extrapolé en utilisant la méthode Crupedix et celle du Gradex. Un modèle pluie-débit a également été mis en œuvre (programme RASSUR).

A l'issue de cette analyse, ont été cartographiées :

- Les champs d'expansion des crues décennales et centennales,
- Les courbes iso-hauteurs et iso-vitesses pour la crue décennale,
- Les courbes iso-hauteurs et iso-vitesses pour la crue centennale,
- La cartographie de l'aléa inondation.

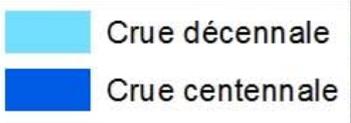
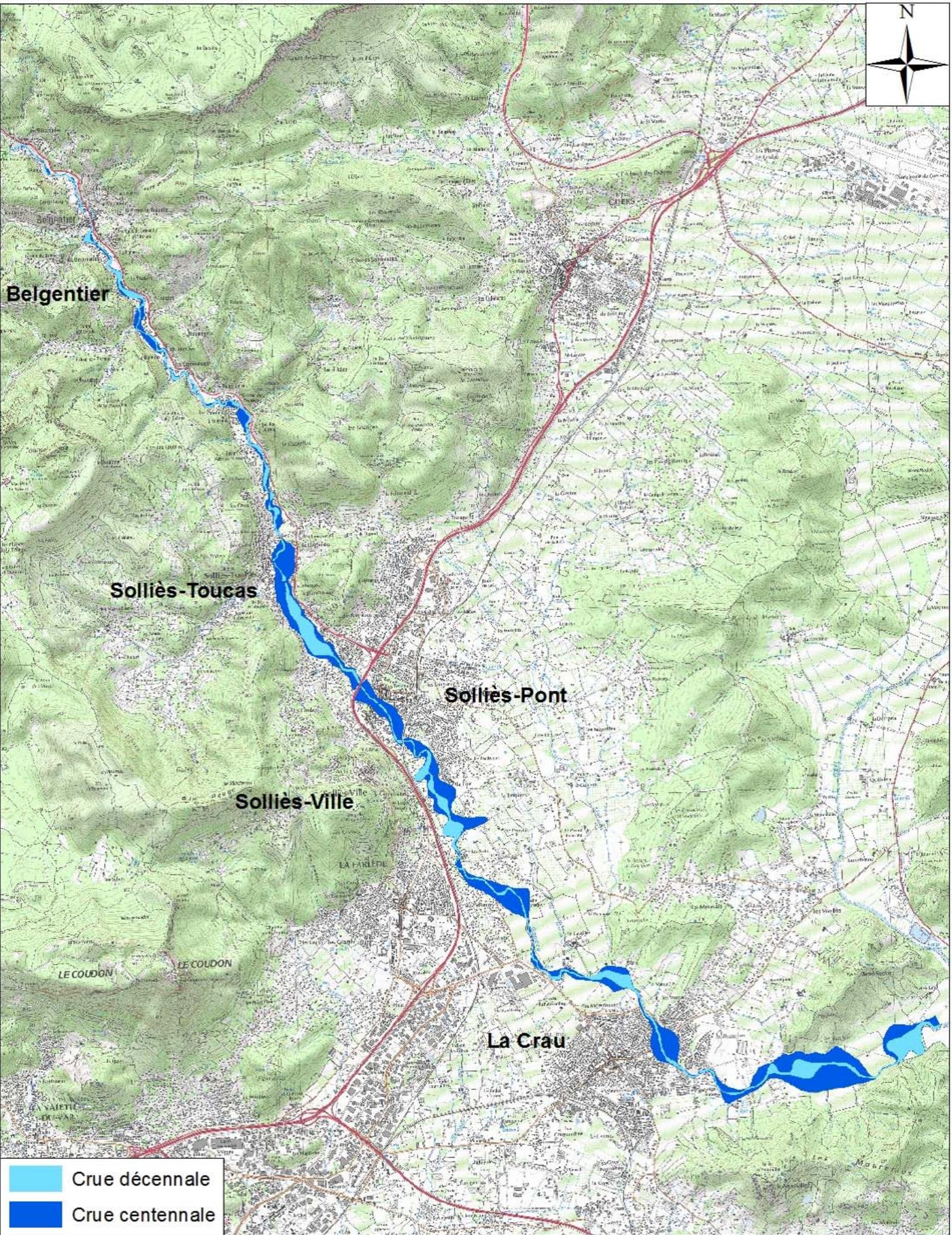
Les cartographies existent uniquement sous forme papier. Pour la présente étude et afin de permettre au cours de la mission 3 de confronter les limites de ces zones inondées avec les ZEC identifiées, une digitalisation de ces zonages a été réalisée par notre équipe de projet (emprises des zones inondables 10 et 100 ans).

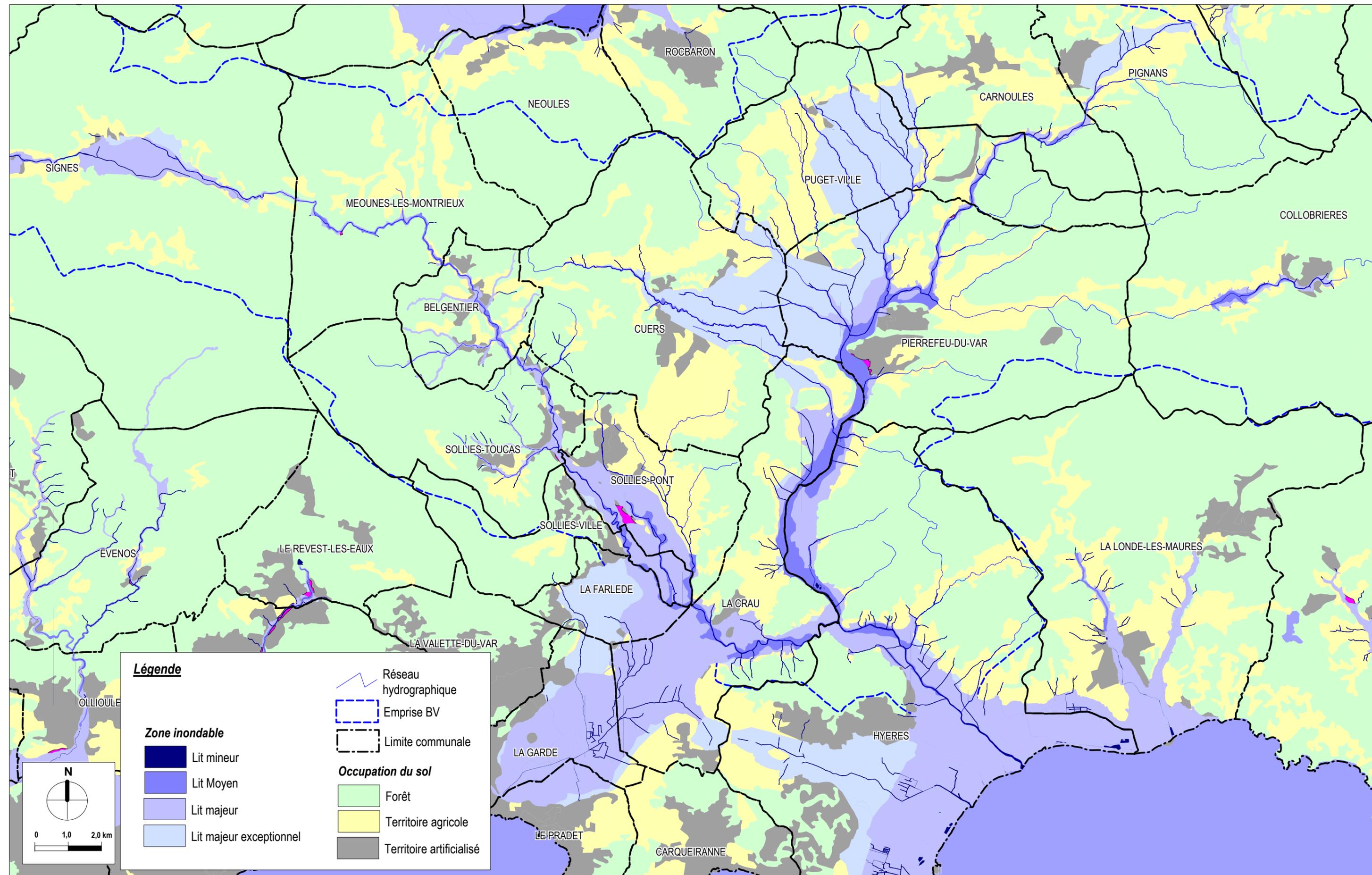
Les limites atteintes apparaissent sur la figure de la page suivante.

Cette étude, outre le fait d'établir les limites des zones inondées fréquemment à rarement, a mis en exergue le besoin d'entretien du cours d'eau pour faire transiter les crues courantes.

Depuis plusieurs communes s'efforcent d'entretenir de façon régulière le cours d'eau (ex : Solliès-Pont). Les représentants de la ville confirment que cette initiative permet d'assurer le libre écoulement des crues courantes du Gapeau.

Pour établir les zones potentiellement inondables sur le Real Martin et le Real Collobrier, les limites hydrogeomorphologiques ont été digitalisées sur l'ensemble du bassin versant à partir des cartographies de l'atlas des zones inondables (figure 14)

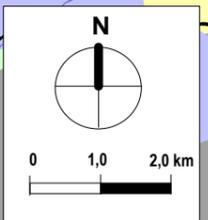




Légende

- Zone inondable**
- Lit mineur
 - Lit Moyen
 - Lit majeur
 - Lit majeur exceptionnel

- Occupation du sol**
- Forêt
 - Territoire agricole
 - Territoire artificialisé
- Autres symboles**
- Réseau hydrographique
 - Emprise BV
 - Limite communale



4. ANALYSE DE LA CRUE DE JANVIER 2014

4.1. ANALYSE PREALABLE DES CRUES HISTORIQUES

Le Service de prévision des crues a établi un recensement relativement exhaustif des crues vécues ces soixante-dix dernières années sur le bassin versant.

- *25 & 27 janvier 1948* « ... murs renversés sur de grandes longueurs ... les habitants de certaines fermes se réfugient au 1er étage ... »
- *26 novembre 1961* « ... L'eau se répandit sur la nationale 98 entre le pont du Gapeau et l'entrée d'Hyères pour s'étendre à travers la plaine. »
- *28/12/1972* : Une hauteur de 3 mètres est mesurée à l'échelle de Hyères - Sainte Eulalie. 124 m³/s ont été mesurés à la station de Solliès-pont.
- *04/02/1976* : 2,76 m à l'échelle de Hyères - Sainte Eulalie
- *17/01/1978* : 2,69 m à l'échelle de Hyères - Sainte Eulalie
- *25/01/1996* : Une crue fait suite à un épisode pluvieux prolongé de 5 jours. Des quartiers d'Hyères sont inondés. Cette crue présente deux pointes consécutives ce qui a conduit à un volume ruisselé important (34,8 millions de m³).
- *17 et 18/01/1999* : Principale inondation des 50 dernières années sur le Gapeau en amont de la confluence avec le Réal Martin. La hauteur maximale de 3,50 m mesurée à Solliès-Pont est la plus haute enregistrée à cette station pour un débit voisin de 140 m³/s. Dans la plaine de Hyères : inondation par débordement du cours d'eau et par ruissellement ; 600 familles sont touchées notamment au quartier de l'Oratoire. Le débit estimé à l'entrée de Hyères est de 400 m³/s (plus ou moins 15%) comprenant la part ayant quitté le lit au déversoir de Plan du Pont. En amont du Gapeau, 300 familles furent sinistrées en janvier 1999 sur les communes de Belgentier, Solliès-Toucas et Solliès-Pont par une inondation partiellement due à des embâcles et mises en charge de ponts. Les travaux d'entretien ou d'aménagement menés depuis lors par la communauté de commune contribuent à réduire l'aléa au moins jusqu'à un niveau de crue trentennale.
- *15 décembre 2008* : Coupures de routes par débordement du Réal Martin. Sur Hyères, le Gapeau est resté sous la limite de débordement mais de nombreux dégâts et pertes d'embarcations se sont produites au port de plaisance qui occupe les berges entre le pont de la D98 et l'embouchure.
- *9 Novembre 2011* : débordement d'ampleur limitée au déversoir de Plan du Pont sur la commune de Hyères avec une hauteur de 2,66 m à l'échelle de Ste Eulalie. Evacuations préventives effectuées en aval.
- *19 Janvier 2014* : Principale crue enregistrée dans les 50 dernières années sur l'aval du Gapeau, le Réal-Martin et le Réal Collobrier. Des dégâts considérables sont causés sur les communes traversées, de même que sur celles des bassins adjacents du Maravanne et du Batailler (communes de La Londe-les-Maures, Bormes-Les-Mimosas et Le Lavandou). Le bilan global de l'événement fait état de 2 morts, 1400 interventions, 1800 logements inondés, 600 véhicules endommagés.

La crue de novembre 2014 n'a pas fait l'objet d'un retour d'expérience. Les équipes du CEREMA étaient mobilisées sur l'Aude à cette période.

4.2. CRUE DES 18 ET 19 JANVIER 2014

La crue du 19 janvier 2014 est la plus forte mesurée sur Hyères. La station de Hyères – St Eulalie a enregistré une hauteur de 3,01m ce qui correspond à un débit voisin de 400 m³/s à la station, auquel il convient d'ajouter les débits déversés en amont (notamment au déversoir de Plan du Pont), estimés entre 150 et 250 m³/s qui se sont écoulés dans la plaine et le chenal de crue à l'écart de la station. Cela représente un total voisin de 600 m³/s à plus ou moins 10% pour le débit de pointe du Gapeau à l'entrée de Hyères (estimation Cerema juillet 2014).

Le site wikhydro¹⁰ présente des informations sur la crue de janvier 2014. Pour Hyères, une cartographie comparant les emprises du PPRi à celle constatée en janvier montre que le PPRi de Hyères a été largement débordé sur la rive gauche du Gapeau, à l'aval du Réal Martin. La cartographie de ce PPRi (HGM Environnement, 2001) ne prend en compte que le Gapeau alors que ce sont les apports des affluents (Les Borrels, Sainte Eulalie, la Couture, ..) qui ont généré cette zone inondée en janvier 2014.

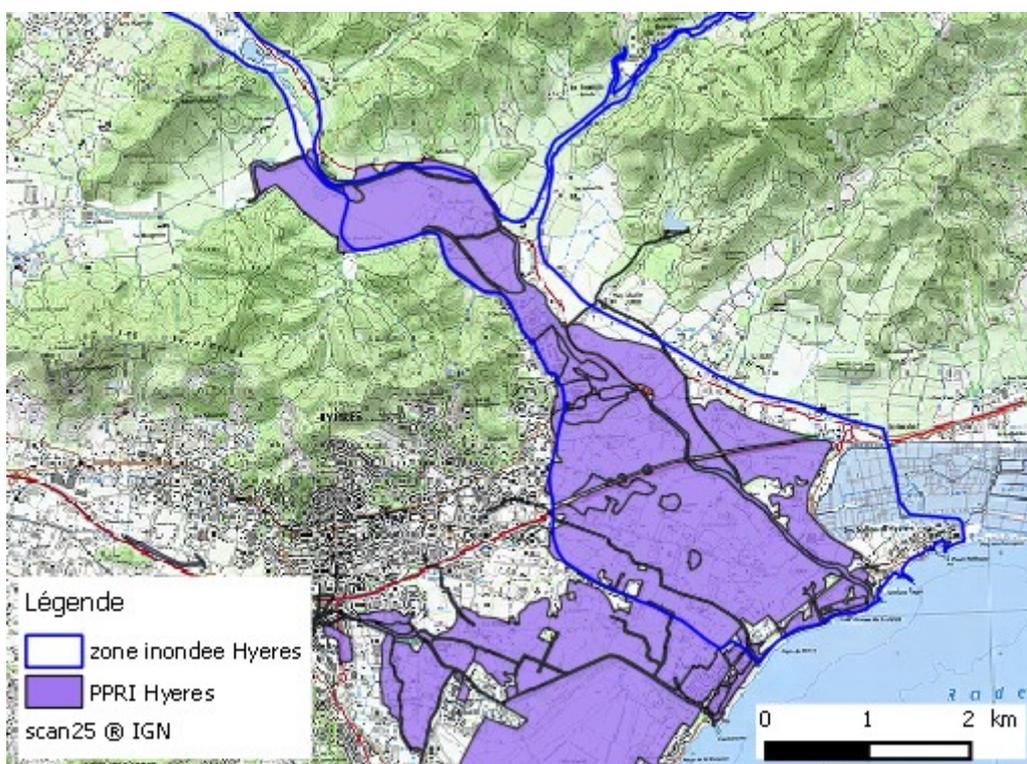


Figure 15 : cartographie comparant les emprises du PPRi à celle constatée en janvier 2014 (source wikhydro).

Le CEREMA, eu égard aux importants débordements et au fonctionnement hydraulique autour de la station de prévision de Ste Eulalie (contournement pour des débits de crues de supérieurs à 250m³/s, déversement dans un chenal de crue d'une partie du débit, apports d'affluents à l'amont du pont de jaugeage) a mené une analyse particulière sur les conditions de déversement au niveau du déversoir de Plan du pont.

¹⁰http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Crue_de_janvier_2014_dans_le_Var:_Retour_d%27Exp%C3%A9rience

Lorsque le débit à la confluence du Gapeau et du Réal Martin atteint **250 m³/s** environ¹¹, une partie du débit s'écoule par un déversoir de crue (déversoir de Plan du Pont), s'étale dans la plaine puis rejoint un chenal de crue.

Remarque : Au regard des estimations de débits existantes, les déversements vers Plan du pont aurait une période de retour inférieure à 10 ans.

La figure 14 présente très schématiquement la problématique du contournement de la station hydrométrique telle que diagnostiquée par le CEREMA.

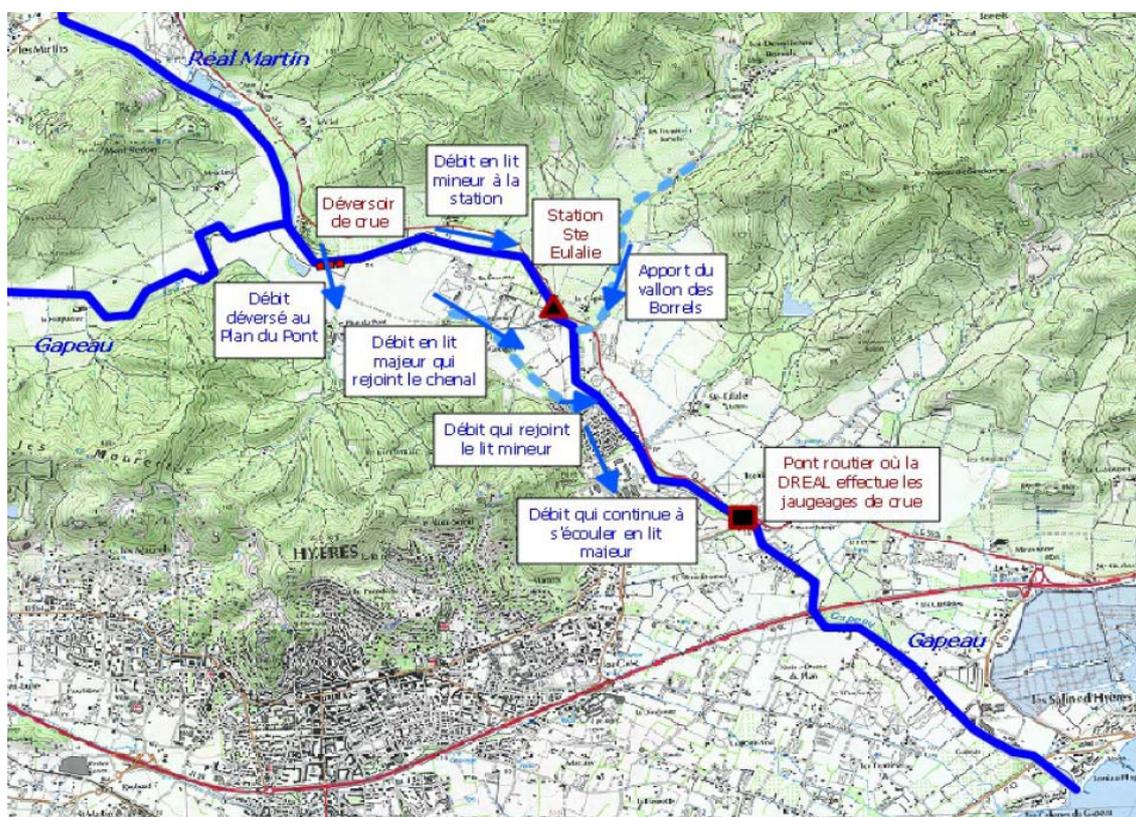


Figure 16 : Conditions de contournement de la station hydrométrique de Sainte Eulalie (CEREMA, juillet 2014)

Le déversoir de crue est un ouvrage qui a été aménagé en octobre 1961 afin de réduire et réguler les débordements du Gapeau. Il a été construit au niveau d'un point de faiblesse de la digue du Plan du Pont (digue en rive droite du Gapeau qui est construite sur 1 km environ à partir de la confluence du Gapeau et du Réal Martin).

Le déversoir est constitué d'un seuil en béton surmonté d'un rideau de béton (dalles de béton insérées dans des poutres métalliques) calé à la cote 15 m NGF. Il mesure 88 m de long.

En janvier 2014, le niveau au niveau du déversoir a atteint 16,3 m NGF, soit un déversement d'une lame d'eau de 1,3 m.

¹¹ D'après service du SPC

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
 ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
 INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
 CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.

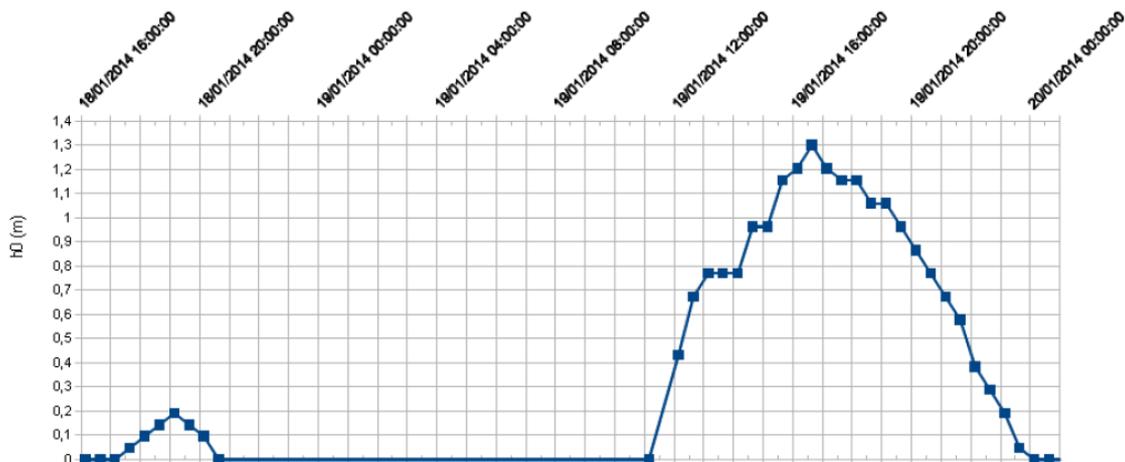


Figure 17 : Niveau de charge à l'extrémité aval du déversoir les 18 et 19 janvier 2014 (CEREMA, juillet 2014).

Par application raisonnée de la formule du déversoir latéral de Dominguez, le débit maximum écoulé par le déversoir le 19 janvier 2014 a été évalué à **180 m³/s** entre 16h et 17h UTC.

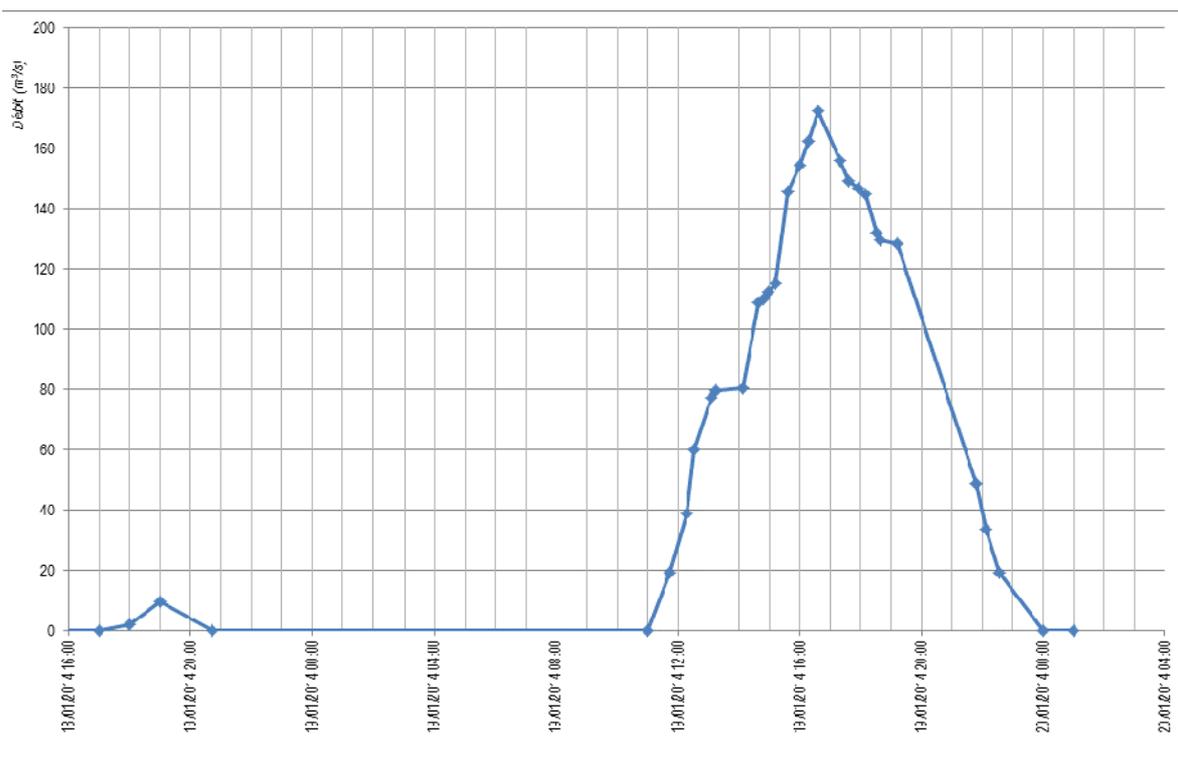


Figure 18 : Hydrogramme reconstitué déversé au niveau du déversoir de Plan du pont lors de la crue des 18 et 19 janvier 2014 (d'après données CEREMA de juillet 2014).

Le volume déversé le 19 janvier 2014 atteint alors 4 Mm³.

Remarque : Ce volume est largement supérieur au volume utile potentiellement optimisable tel qu'envisagé dans les études précédentes (volume variant entre 250 000 et 800 000 m³).

Il est intéressant de comparer le temps de déversement (13 heures le 19 janvier 2014) au temps de déversement qui découlerait des hydrogrammes décennal et trentennal de crue apparaissant dans l'étude SCP de 2006, respectivement 5h40 et 8h20. Si l'on procédait par homothétie à la création d'un hydrogramme centennal culminant à 570 m³/s (débit moyen estimé par le CEREMA pour le Gapeau au niveau de Sainte Eulalie, cf. ci-après). Le temps de déversement (10h40) apparaît significativement inférieur à celui constaté en janvier 2014 (13h00).

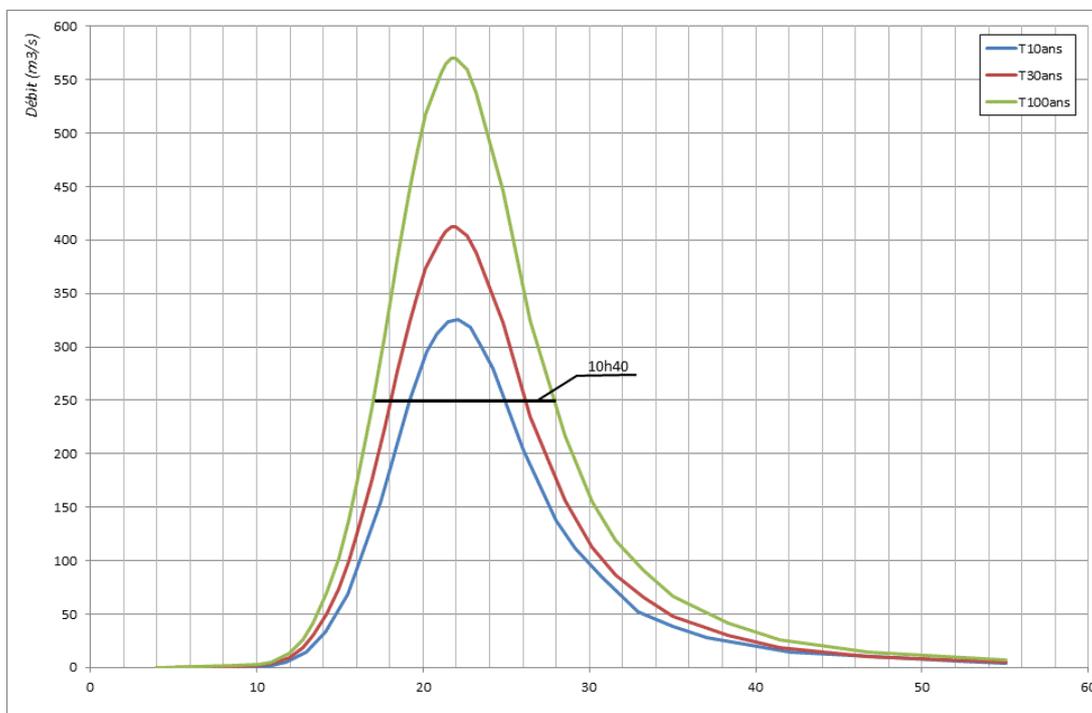
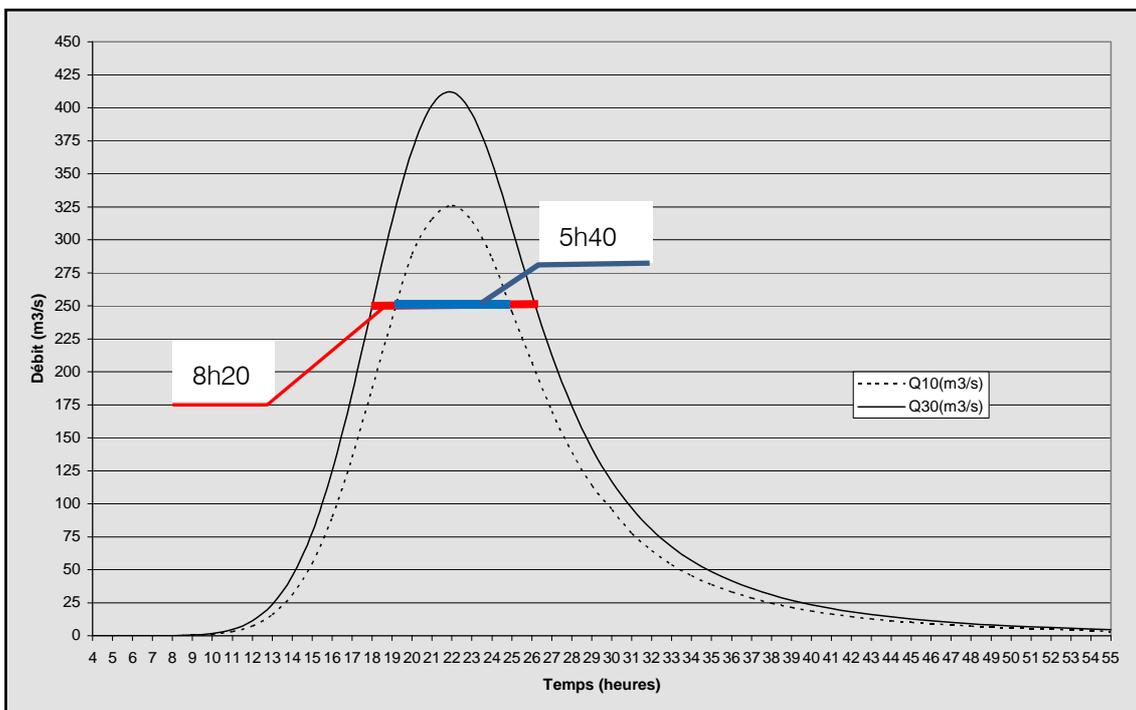


Figure 19 : Graphiques représentant les hydrogrammes Q10 et Q30 à St. Eulalie apparaissant dans la phase 2 de l'étude SCP de 2006 ([2]). Q100 extrapolé en retenant un débit de pointe de 570 m³/s. Estimation des temps de déversement (début de déversement à 250 m³/s).

Le CEREMA a mené une analyse fine des conditions d'écoulement à la station de Sainte Eulalie pour établir l'ensemble des débits transitant au droit de la station. De la sorte, l'hydrogramme représentatif des débits transitant à l'aval du bassin versant du Gapeau en janvier 2014 a pu être reconstitué (intégrant le déversement sur Plan du pont et le débit de crue du vallon des Borrels – 100 m³/s en pointe déversé).

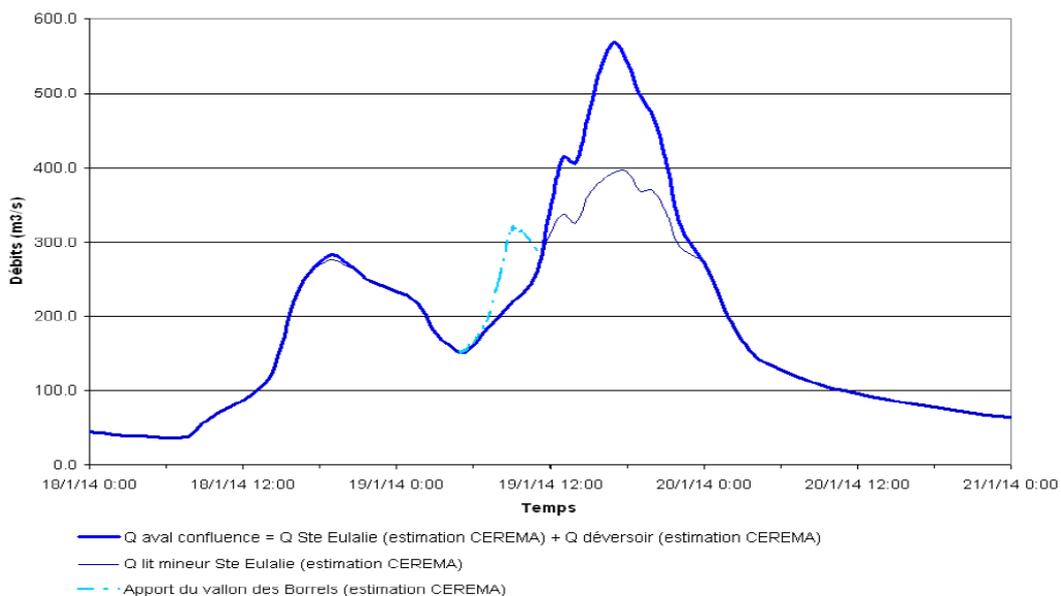


Figure 20 : Débits évacués par le Gapeau reconstitués au droit de la station de Sainte Eulalie (avec représentation des apports du vallon des Borrels) – CEREMA juillet 2014.

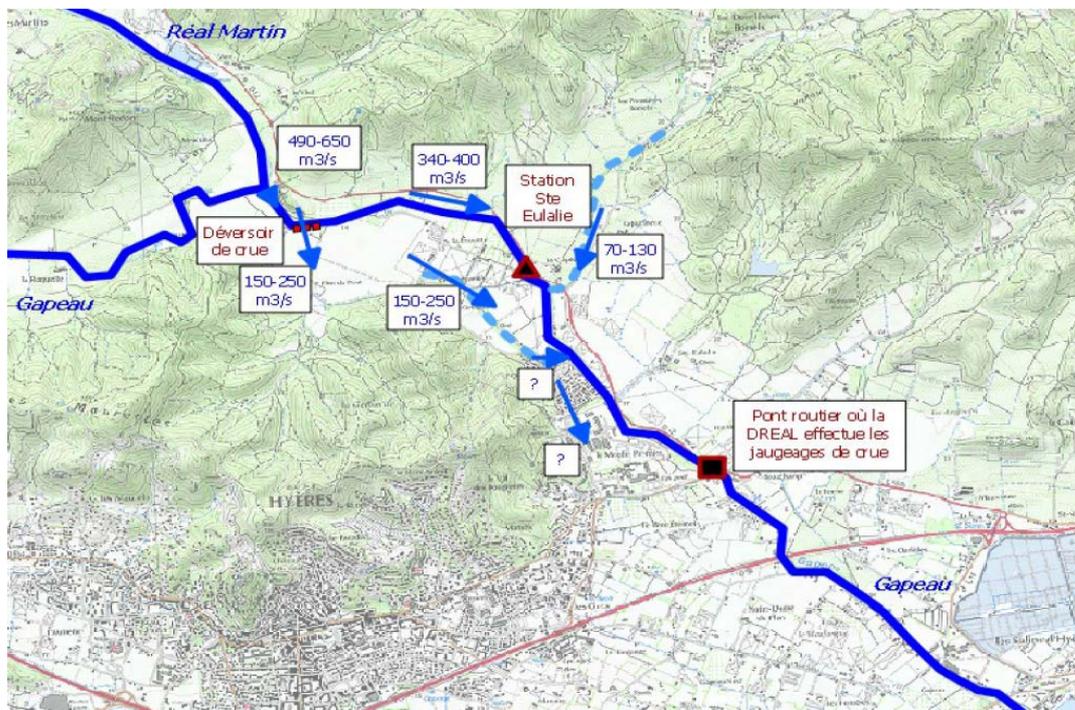


Figure 21 : Débits de pointe estimés par le CEREMA pour l'événement de crue des 18 et 19 janvier 2014.

A partir des informations topographiques disponibles (relevés LIDAR), nous avons établi la relation Niveau – Surface – Volume au niveau de la zone de Plan du Pont.

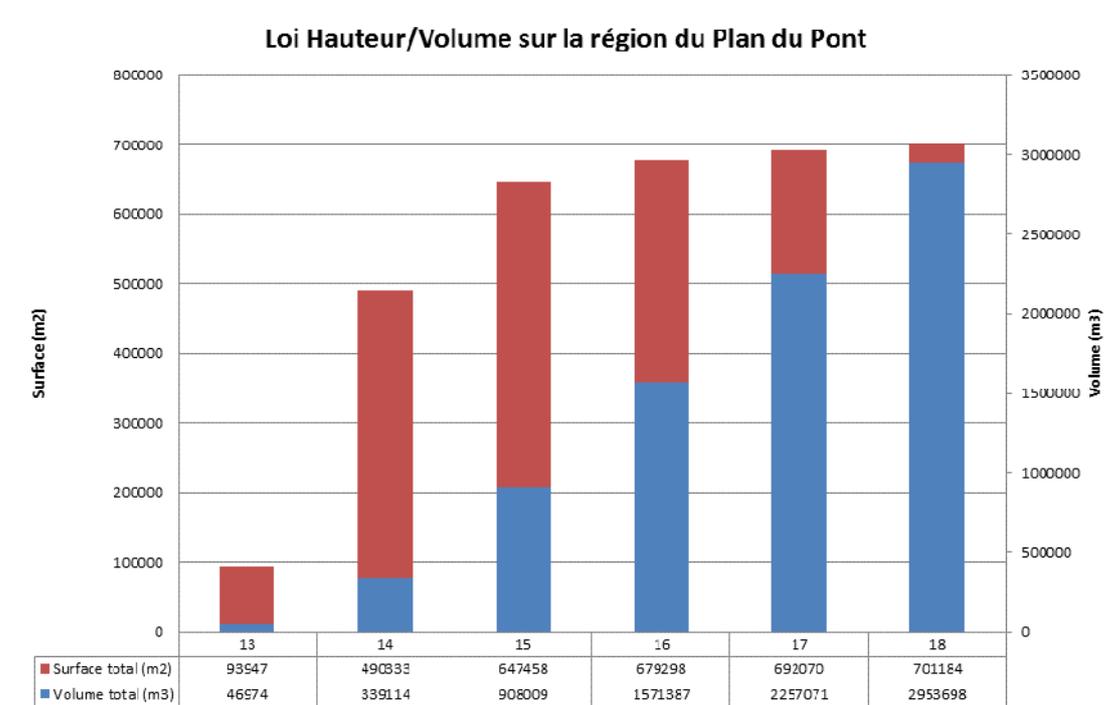
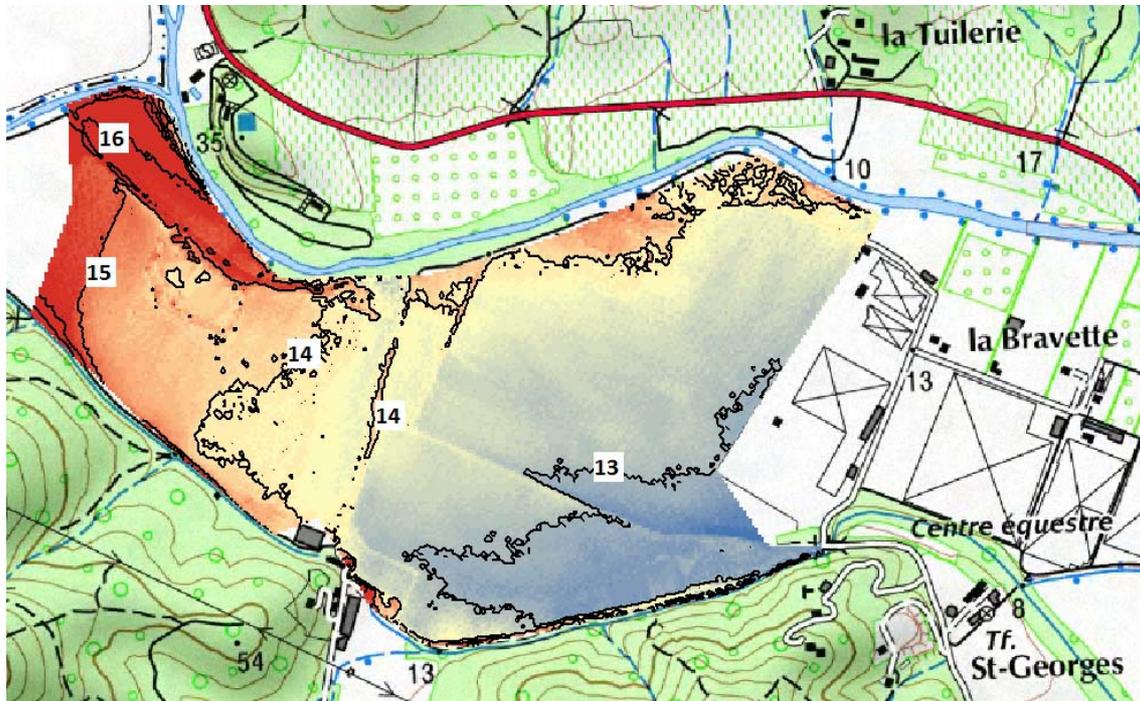


Figure 22 : Loi Niveau (m NGF) – Surface – Volume au niveau de Plan du Pont.

4.3. CRUES DE NOVEMBRE 2014

Les crues de novembre 2014 sont également remarquables même si les intensités mesurées sont moins importantes que l'événement de janvier. Ces crues, si elles ont été enregistrées, n'ont pas été documentées et analysées comme celle du début de l'année. En particulier, le CEREMA a été mobilisé sur un autre bassin versant et n'a pas pu participer au retour d'expérience sur le département.

Les figures ci-après présentent les débits mesurés aux stations existantes.

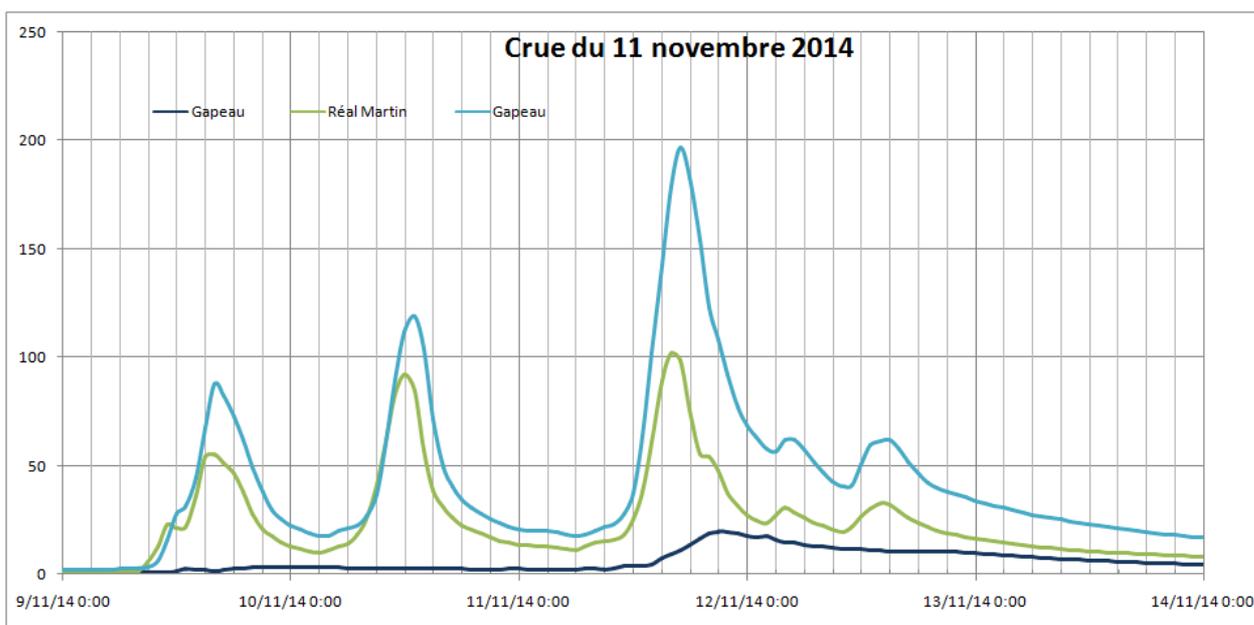


Figure 23 : Débits de crue entre le 9 et le 14 novembre 2014.

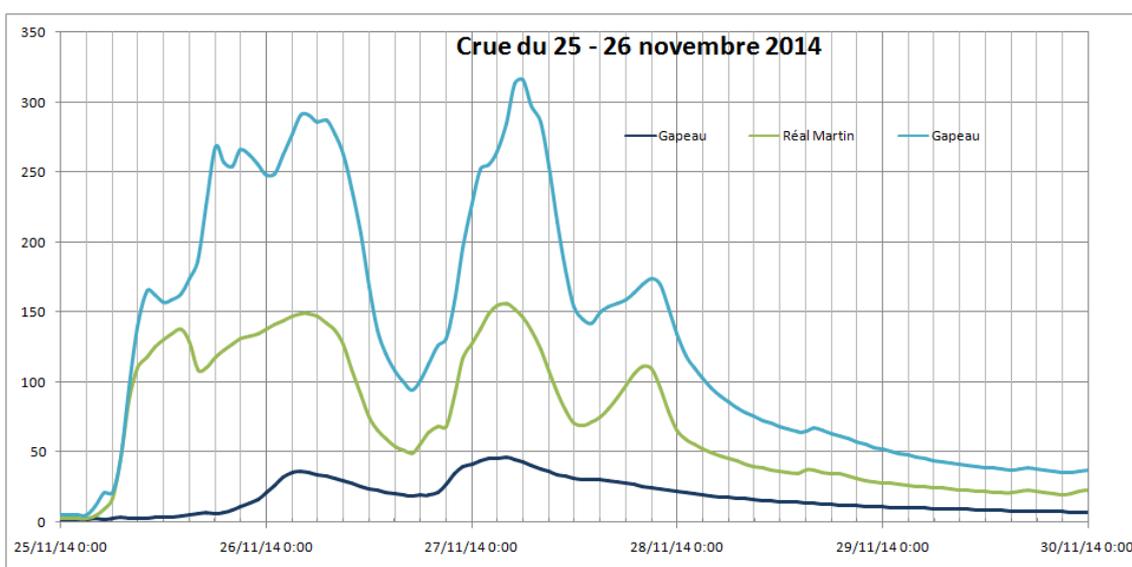


Figure 24 : Débits de crue entre le 25 et le 30 novembre 2014.

5. ENSEIGNEMENTS

Les études menées sur le bassin versant permettent d'apprécier l'aléa inondation essentiellement sur la partie aval du bassin versant.

L'aléa inondation sur le Real Martin et le Real Collobrier est aujourd'hui peu documenté.

Les études menées par CEDRAT et la SCP sont complémentaires. Elles ne suffiront toutefois pas pour arrêter un programme d'actions. En effet, l'analyse des phénomènes mis en jeu (hydrologie, analyse de l'aléa) est aujourd'hui trop sommaire et les pistes d'aménagement étudiées n'apparaissent pas exhaustives pour lancer, sur leurs simples enseignements, les études de conception. En particulier, une analyse poussée des actions de protection contre les crues sur le territoire de Hyères a été menée sans pour autant disposer de pareille analyse sur l'ensemble du bassin versant.

A la lecture des études existantes, aucune analyse d'opportunité de préserver voire optimiser les zones d'expansion des crues n'a été menée jusqu'alors.

Parmi les quelques sites potentiels identifiés en tant que zone d'expansion de crue, seul le site de Plan du Pont fait l'objet de premières analyses qu'il conviendra de compléter pour légitimer l'aménagement de ce dernier. En particulier, il conviendra de mieux appréhender les conditions de déversement (à partir de quelle occurrence, quels seront les volumes, quel niveau de protection pour les secteurs à l'aval, quels sont les volumes réellement mobilisables, quel(s) exutoire(s) ?...).

Les volumes et sites de rétention proposés par la SCP en 2006 ne peuvent pas être retenus en l'état car ils obligent à envisager des barrages aux écoulements dont on ne connaît pas les conditions et fréquences de remplissage, les élévations ou encore les réductions d'aléa à attendre (réduction des zones inondées).

Il ressort de toutes les études consultées qu'il apparaît ambitieux de pouvoir protéger les enjeux existants pour des événements d'occurrence 100 ans.

En outre les incertitudes sur la validité des estimations des débits de référence et des hydrogrammes de crue nous amènent à la plus grande prudence sur la pertinence des incidences hydrauliques des différentes ZEC étudiés jusqu'à présent, y compris celle de Plan du Pont.

A ce stade, les estimations de débits apparaissant dans les études consultées sont synthétisées dans le tableau ci-après.

Etude	Réal Martin			Gapeau			Réal Martin			Gapeau						
	Jacarels (80,3 km ²)			Solliès Pont (169 km ²)			Décapris (277 km ²)			Sainte Eulalie (506 km ²)			Embouchure (540 km ²)			
	T = 10 ans	T = 30 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 30 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 30 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 30 ans	T = 100 ans	T = 10 ans	T = 30 ans	T = 100 ans	
SOGREAH	1970										300		600			
SCP	1974										300		500	320	530	
HGM Environnement	1996	50	70	85	100	150	170	220	330	380	260	420	490	275	440	520
SCP	1999				90		200	170		380	270		600			
HGM Environnement	1999											400				
CEDRAT Développement	2001										340	430	550			
SCP	2006										300 à 320	400 à 420				
DREAL	2013						200							280		
Banque HYDRO	2015				92	T = 20 ans : 110 T = 50 ans : 130		180	T = 20 ans : 220 T = 50 ans : 270		310	T = 20 ans : 370 T = 50 ans : 450				

Tableau 14 : Débits de pointe (m³/s) apparaissant dans les études consultées.



www.sce.fr

GRUPE KERAN
