



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 2 : Analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau

Syndicat Mixte du Bassin
Versant du Gapeau
Juin 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 PARTINELLI, 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 rues du bassin versant du Gapeau
NOMBRE DE PAGES	117
NOMBRE D'ANNEXES	3
OFFRE DE REFERENCE	150166 – Juin 2015

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	7
2. OBJET DU RAPPORT	7
3. Présentation du bassin du Gapeau	8
3.1. Géographie du bassin versant du Gapeau	8
3.1.1. Localisation et caractéristiques générales	8
3.1.2. Relief de la zone d'étude.....	9
3.1.3. Communes du bassin versant du Gapeau.....	10
3.2. Réseau hydrographique et influence sur les crues	12
3.2.1. Structure générale du réseau hydrographique.....	12
3.3. Contexte géologique	15
3.3.1. Rôle de la géologie et de l'hydrogéologie dans le fonctionnement hydrologique.....	15
3.3.2. Géologie du département du Var	15
3.3.3. Géologie et hydrogéologie du bassin versant du Gapeau	17
3.4. Usage et occupation des sols	22
3.5. Contexte climatique général.....	25
3.5.1. Pluviométrie et température sur le département du Var	26
3.5.2. Vents et éléments perturbateurs	28
3.6. Métrologie du bassin versant du Gapeau	29
3.6.1. Hydrométrie du bassin versant du Gapeau.....	29
3.6.2. Suivi pluviométrique	31
4. Analyse pluviométrique	33
4.1. Expression des besoins	33
4.2. Méthode appliquée.....	33
4.2.1. Définition des objectifs	33
4.2.2. Données et informations utilisées et analyse critique	34
4.2.3. Traitement et méthode d'exploitation des données	36
4.3. Bilan de l'analyse pluviométrique.....	36
4.3.1. Remarques préalables	36
4.3.2. Pluies journalières.....	37
4.3.3. Quantiles de pluies sur des durées inférieures à un jour	40
5. Analyse hydrologique	42
5.1. Méthode d'analyse	42
5.1.1. Principes de la méthode d'analyse hydrologique.....	42
5.1.2. Données disponibles et validité.....	42
5.1.3. Méthode d'identification de paramètres hydrologiques.....	43
5.1.4. Interprétation et synthèse des paramètres hydrologiques	44

5.1.5. Construction du modèle hydrologique.....	44
5.1.6. Constitution de scénarios pluviométriques.....	45
5.1.7. Prise en compte de la distribution des pluies dans la modélisation hydrologique.....	46
5.1.8. Importance de l'hétérogénéité spatiale des pluies	49
5.1.9. Méthode proposée pour les fortes pluies de projet	51
5.1.10. Simulation d'événements et traitement des résultats.....	52
5.2. Analyse de crues récentes.....	52
5.2.1. Débits maximaux de crue aux stations hydrométriques.....	52
Valeurs de référence statistiques à partir des mesures	52
Débits maximaux de crue et analyse de cohérence des stations.....	54
5.2.2. Rapport entre débit instantané et débit journalier	58
5.2.3. Débits pseudo-spécifiques de crue	59
5.2.4. Taux de ruissellement sur le bassin du Gapeau	61
5.2.5. Temps de propagation des crues du Gapeau	66
5.2.6. Temps caractéristiques des bassins versants	67
5.2.7. Cas des ruisseaux du bassin versant du Réal Collobrier.....	73
5.2.8. Conclusion de l'analyse hydrologique	75
5.3. Traitement statistique des volumes.....	77
6. Modélisation hydrologique.....	80
6.1. Choix du logiciel	80
6.2. Structure du modèle hydrologique	80
6.2.1. Principe de découpage en sous-bassins	80
6.3. Paramètres du modèle hydrologique	82
6.4. Exploitation des modèles hydrologiques.....	83
6.4.1. Niveau de calage et fiabilité du modèle	83
6.4.2. Crues de référence	83
Débits et volumes de crues courantes à moyennes	83
7. Scenarios hydrologiques de fortes crues du Gapeau.....	83
7.1. Méthode de construction.....	83
7.2. Scénarios proposés	85
7.3. Réponse aux scenarios pluviométriques	87
7.4. Bilan : débits de fortes crues.....	88
8. Intégration à l'étude	89
8.1. Stratégie de réduction de l'aléa.....	89
8.2. Caractérisation des enjeux.....	90
8.2.1. Objectif de la base de données.....	91
8.2.2. Sources de données	91
8.2.3. Typologie retenue	92
8.3. Pré inventaire des ZEC	95
8.3.1. Méthodologie.....	95

ANNEXES

- ⌘ Annexe 1 : Ajustements statistiques de pluies journalières
- ⌘ Annexe 2 : Ajustements de Gumbel des débits maximaux journaliers annuels
- ⌘ Annexe 3 : Ajustements de Gumbel des débits maximaux instantanés

FIGURES

<i>Figure 1 : Altitudes du département du Var</i>	9
<i>Figure 2 : Relief du bassin versant du Gapeau</i>	9
<i>Figure 3 : Communes du bassin versant du Gapeau</i>	10
<i>Figure 4 : Réseau hydrographique principal du bassin versant du Gapeau</i>	12
<i>Figure 5 : Les trois ensembles géologiques du département du Var (source : Atlas des Paysages du Var)</i>	16
<i>Figure 6 : Densité de réseau hydrographique sur le département du Var (source : Atlas des Paysages du Var)</i>	17
<i>Figure 7 : Contexte géologique du bassin versant du Gapeau (source : BRGM, carte au 1/250 000)</i>	20
<i>Figure 8 : Contexte hydrogéologique et échanges nappes-rivières sur le bassin versant du Gapeau (source : Bilan du fonctionnement du Gapeau à l'étiage, SAFEGE, 2008)</i>	21
<i>Figure 9 : Occupation des sols du bassin versant du Gapeau (source : CORINE Land Cover Niveau 3 - 2006)</i>	23
<i>Figure 10 : Répartition des forêts communales dans le département du Var (source : DREAL PACA)</i>	24
<i>Figure 11 : Essences des boisements (source : Atlas départemental des Paysages)</i>	25
<i>Figure 12 : Données climatiques du Var (valeurs moyennes mensuelles)</i>	26
<i>Figure 13 : Valeurs moyennes des cumuls de précipitation sur le département du Var</i>	27
<i>Figure 14 : Valeurs moyennes des durés d'ensoleillement sur le département du Var</i>	28
<i>Figure 15 : Implantation des stations hydrométriques du bassin versant du Gapeau</i>	31
<i>Figure 16 : Implantation des stations pluviométriques de Météo France dans le département du Var</i>	32
<i>Figure 17 : Découpage du bassin versant du Gapeau en six régions pluviométriques</i>	34
<i>Figure 18 : Pluies journalières de fréquence décennale sur le bassin de l'Argens</i>	39
<i>Figure 19 : Pluies journalières de fréquence centennale sur le bassin de l'Argens</i>	39
<i>Figure 20 : Régions pluviométriques du bassin versant du Gapeau</i>	47
<i>Figure 21 : Ecart entre cumul des moyennes, des valeurs minimales et maximales de pluie horaire</i>	49
<i>Figure 22 : Importance de la distribution spatiale des pluies sur les lames d'eau moyennes cumulées</i>	50
<i>Figure 23 : Corrélation entre écart-type de cumul de pluie entre régions et cumul moyen de pluie</i>	51
<i>Figure 24 : Cohérence des débits instantanés maximaux du Gapeau amont et du Réal Martin avec le Gapeau aval</i>	57
<i>Figure 25 : Ajustement statistique de débits maximaux instantanés du Réal Martin à La Crau (Banque HYDRO)</i>	58
<i>Figure 26 : Corrélation entre lame d'eau de pluie par jour et taux de ruissellement</i>	63
<i>Figure 27 : Corrélation entre débit maximal et taux de ruissellement</i>	65
<i>Figure 28 : Relation entre vitesses de montée de crue du Gapeau à Sollès-Pont et à Hyères</i>	69
<i>Figure 29 : Relation entre vitesses de montée de crue du Réal Martin à La Crau et du Gapeau à Hyères</i>	69
<i>Figure 30 : Evolution de la vitesse de montées des crues du Gapeau et du Réal Martin depuis 1970</i>	70
<i>Figure 31 : Evolution du rapport entre débit de début du ressuyage et débit de pointe du Gapeau et du Réal Martin</i>	70
<i>Figure 32 : Réseau hydrographique naturel</i>	71
<i>Figure 33 : Evolution du rapport entre débit du début du ressuyage et débit de pointe du Gapeau et du Réal Martin</i>	72
<i>Figure 34 : Evolution du rapport entre débit du début de ressuyage et débit de pointe du Gapeau et du Réal Martin</i>	72
<i>Figure 35 : Ajustement en diagramme de Gumbel des volumes de crue sur le bassin du Gapeau</i>	77
<i>Figure 36 : Ajustement en diagramme de Gumbel des volumes de crue sur les stations amont</i>	78
<i>Figure 37 : Ajustement des volumes de crue ramenés sur 48 h</i>	78
<i>Figure 38 : Ajustement des volumes de crue sur les stations amont ramenés sur 48 h</i>	79
<i>Figure 39 : Structure topologique du modèle simplifié du bassin versant du Gapeau</i>	81
<i>Figure 40 : Structure topologique du modèle détaillé du bassin versant du Gapeau</i>	81

Figure 41 : Zones à enjeux liées à l'activité humaine.....	93
Figure 42 : Zones à enjeux environnementaux.....	94
Figure 43 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées.....	96
Figure 44 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées au niveau confluent Gapeau / Real Martin.....	97
Figure 45 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées sur bassin du Gapeau.....	98
Figure 46 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées sur bassin du Real Martin.....	99

TABLEAUX

Tableau 1: Distribution de la surface du bassin versant du Gapeau entre communes du territoire.....	11
Tableau 2 : Caractéristiques des principaux cours d'eau du bassin versant du Gapeau.....	13
Tableau 3 : Stations de suivi hydrométrique en service ou hors service du bassin versant du Gapeau.....	30
Tableau 4 : Stations pluviométriques du bassin versant du Gapeau utilisées dans l'étude.....	32
Tableau 5 : Valeurs statistiques des pluies journalières avec intervalle de confiance à 70 %.....	37
Tableau 6 : Valeurs statistiques des pluies journalières locales en tout point du bassin versant du Gapeau.....	38
Tableau 7: Gradex des pluies journalières locales sur le bassin versant du Gapeau.....	40
Tableau 8 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de 1 heure sur le bassin versant du Gapeau.....	41
Tableau 9 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de 2 heures sur le bassin versant du Gapeau.....	41
Tableau 10 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de 3 heures sur le bassin versant du Gapeau.....	41
Tableau 11 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de 6 heures sur le bassin versant du Gapeau.....	41
Tableau 12 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de 12 heures sur le bassin versant du Gapeau.....	41
Tableau 13: Quantiles de pluie de projet d'une durée de 24 heures sur le bassin versant du Gapeau.....	41
Tableau 14 : Ecart entre pluie moyenne et valeurs minimales / maximales sur le bassin amont du Réal Martin.....	47
Tableau 15 : Débits journaliers statistiques aux stations par ajustement de Gumbel (source : DREAL PACA).....	53
Tableau 16 : Débits instantanés statistiques aux stations par ajustement de Gumbel (source : DREAL PACA).....	54
Tableau 17 : Débits instantanés de fréquence centennale par extrapolation des ajustements statistiques.....	54
Tableau 18 : Débits instantanés maximaux de crues récentes du Gapeau (source : Banque HYDRO).....	55
Tableau 19 : Cohérence des débits instantanés maximaux de crues récentes du Gapeau.....	56
Tableau 20 : Rapport entre débits instantanés maximaux et débits journaliers maximaux (selon ajustements).....	59
Tableau 21 : Débits pseudo-spécifiques de crue et comparaison avec des valeurs régionales.....	60
Tableau 22 : Taux de ruissellement sur le bassin versant du Gapeau (période 2008-2015).....	61
Tableau 23 : Paramètres représentatifs du ruissellement sur le bassin versant du Gapeau.....	66
Tableau 24 : Vitesse de propagation des crues sur le bassin versant du Gapeau.....	67
Tableau 25 : Temps caractéristiques des crues aux stations hydrométriques du bassin versant du Gapeau.....	68
Tableau 26 : Caractéristiques hydrologiques de cours d'eau du bassin du Réal Collobrier (source : Banque HYDRO).....	73
Tableau 27 : Débits pseudo-spécifiques de crue décennale des cours d'eau du bassin du Réal Collobrier.....	74
Tableau 28 : Paramètres caractéristiques des crues des cours d'eau du bassin versant du Réal Collobrier.....	75
Tableau 29 : Débits de référence sur le bassin du Gapeau par ajustement de Gumbel.....	76
Tableau 30 : Ajustement statistique des volumes de crue (en millions de m ³) et valeur ramenée sur 48 h aux stations du bassin du Gapeau.....	79
Tableau 31 : Paramètres hydrologiques des sous-bassins dans le modèle hydrologique simplifié.....	82
Tableau 32 : Estimation des volumes de pluies à l'origine d'une crue centennale du Réal Martin et du Gapeau sur la zone aval.....	84

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.

<i>Tableau 33 : Définition des scénarios pluviométriques pour une crue centennale du Gapeau aval.....</i>	<i>85</i>
<i>Tableau 34 : Définition des scénarios pluviométriques pour une crue centennale du Gapeau aval.....</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 35 : Répartition des cumuls de pluie par région pluviométrique pour les quatre scénarios</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 36 : Débits maximaux pour les quatre scénarios pluviométriques de fortes crues.....</i>	<i>87</i>

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 2 : Analyse hydrologique du bassin versant du Gapeau.**

Il a pour objectif de présenter de manière détaillée et justifiée la pluviométrie sur le territoire d'étude, le fonctionnement hydrologique du Gapeau en période de crue, la réponse de ses sous-bassins versants à des événements de fortes pluies, ainsi que l'évolution de ce fonctionnement au cours des dernières décennies. Cette analyse s'appuie sur l'exploitation des jeux de données disponibles puis sur une modélisation hydrologique des bassins du Gapeau et de ses affluents avec simulation d'événements pluvieux de diverses périodes de retour statistiques.

Les résultats d'analyse et de simulation hydrologique correspondent d'une part à des valeurs de références des débits maximaux, des hydrogrammes et des volumes de crues de diverses périodes de retour le long du Gapeau et de ses affluents, d'autre part au modèle hydrologique qui permet de simuler tout type de pluie affectant le partie du bassin du Gapeau (au moins en partie), cet outil pouvant servir dans l'analyse d'efficacité des Zones d'Expansion des Crues, dans la définition d'une stratégie de réduction de l'aléa, mais aussi dans des études hydrauliques locales sur le territoire ou encore dans la conception et l'exploitation de systèmes d'alerte et de prévision des crues.

3. PRESENTATION DU BASSIN DU GAPEAU

3.1. GEOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

3.1.1. Localisation et caractéristiques générales

Le bassin versant du Gapeau possède une superficie de 548 km² entièrement intégrée dans le département du Var. ce bassin versant couvre une zone calcaire du Nord de Toulon, mais aussi une partie du massif des Maures, avant de traverser la plaine côtière de Hyères-les-Palmiers pour se jeter dans la mer Méditerranée.

Il convient toutefois de noter que la valeur de cette superficie reste indicative, considérant que la délimitation précise du contour du bassin versant n'est pas possible à partir des cartes de l'IGN, particulièrement sur la partie Nord-Est où le relief est très peu marqué. A cet égard, on constate que chaque auteur d'étude propose alors un contour légèrement différent...

Le Gapeau est, en fait, formé par confluence de trois cours d'eau principaux :

- Le Gapeau lui-même possède un bassin versant amont de forme allongée et orienté selon un axe Nord-Ouest → Sud-Est qui s'inscrit dans le massif calcaire et partiellement karstique marqué par un relief très contrasté.
- Le Réal Martin est le principal contributeur des crues observées sur la zone de l'estuaire du Gapeau. Ce cours d'eau traverse du Nord-Est vers le Sud-Ouest une vaste plaine agricole tout en recevant des nombreux cours d'eau provenant des collines qui encadrent cette plaine. Il converge avec le Gapeau seulement 8 kilomètres en amont de l'embouchure.
- Le Réal Collobrier est le principal affluent du Réal Martin. Il draine un bassin versant d'axe Est-Ouest marqué par un socle schisteux induisant une assez faible infiltration et un réseau hydrographique fortement ramifié.

Ces trois cours d'eau sont marqués par des valeurs assez faibles pour leurs pentes moyennes, mais ils possèdent de nombreux affluents provenant de zones caractérisées par un relief très prononcé, particulièrement en ce qui concerne le haut bassin du Réal Collobrier, mais aussi la moitié Est du bassin du Réal Martin.

Du fait de leur implantation, des usages anciens se sont développés le long de ces cours d'eau à partir d'interventions d'artificialisation plus ou moins poussée de ces cours d'eau avec en particulier :

- Plusieurs dizaines de seuils présentant, pour certains, des hauteurs de chute de plusieurs mètres sur le Gapeau en amont de la plaine et une minéralisation de son lit dans la traversée de zones urbaines ;
- Quelques seuils dans le lit du Réal Martin pour des usages d'irrigation et de production d'eau, ainsi qu'une forte densification du réseau de drainage de la plaine agricole le long de ce cours d'eau ; ce réseau d'hydraulique agricole sert, en outre, aujourd'hui d'exutoire pour les ruisseaux et vallons descendant des coteaux, ainsi que pour les systèmes d'assainissement pluvial des zones urbaines et des infrastructures.
- Un endiguement de la moitié aval du Réal Collobrier.

Il est alors nécessaire, pour appréhender le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Gapeau, de considérer séparément ces trois cours d'eau principaux puisqu'ils possèdent des caractéristiques naturelles sensiblement différentes, tant en ce qui concerne le relief que la géologie, l'occupation des sols et le taux d'artificialisation du lit des cours d'eau.

3.1.2. Relief de la zone d'étude

La figure suivante montre le contexte topographique de la zone d'étude :

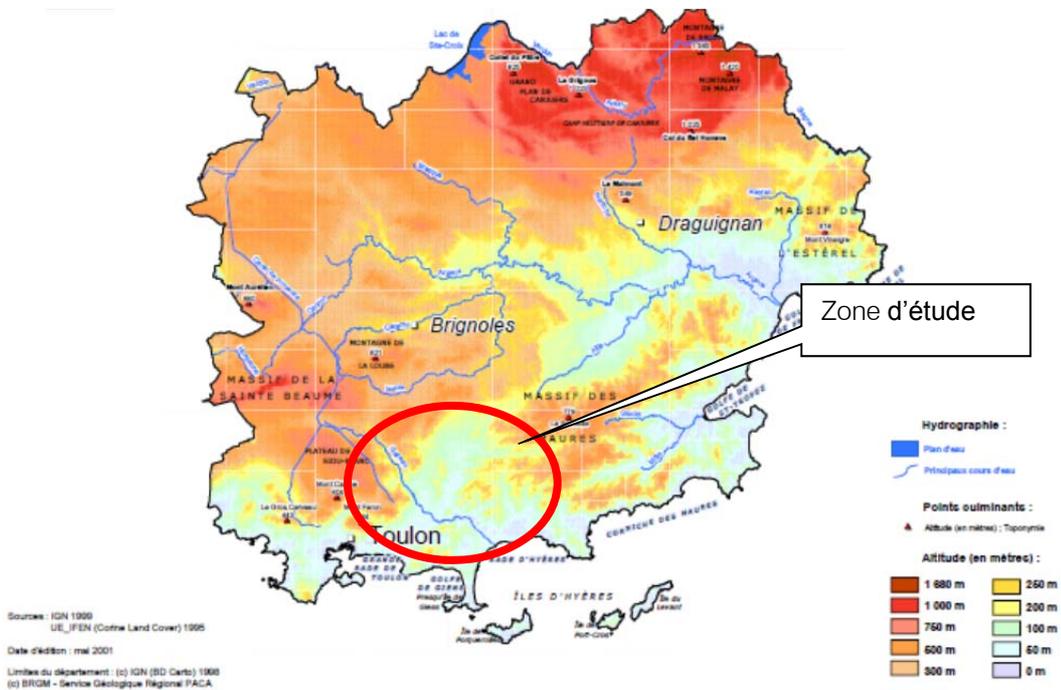


Figure 1 : Altitudes du département du Var

Le traitement du MNT du département centré sur la zone d'étude permet en outre de mettre en évidence la forte irrégularité du relief sur le bassin versant du Gapeau :

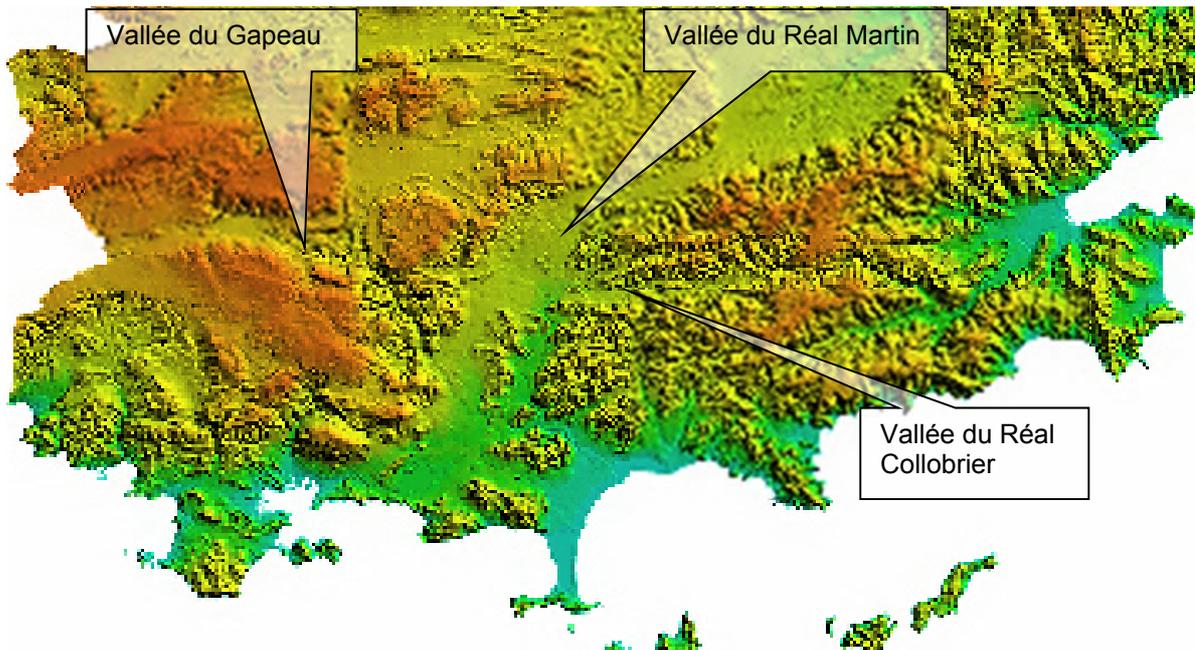


Figure 2 : Relief du bassin versant du Gapeau

Ces deux figures mettent clairement en évidence de fortes différences d'un secteur à l'autre, avec :

- Un plateau calcaire qui occupe la majeure partie du haut bassin du Gapeau, avec un fort dénivelé par rapport au fond de vallée (400 à 500 mètres).
- Un relief modéré le long de la vallée du Réal Martin, correspondant à l'extrémité du plateau calcaire perché sur la partie Nord-Ouest de la plaine, et à un relief très irrégulier de collines sur la partie Est de cette vallée.
- Un relief très accidenté mais assez peu haut pour l'ensemble de la vallée étroite du Réal Collobrier.

Cette hétérogénéité de configuration et de relief sur le bassin versant du Gapeau est associée à de nettes différences de structure géologique ; elle induit en outre une organisation différente d'un secteur à l'autre du réseau hydrographique, les zones de plateaux calcaires possédant un réseau peu développé voire presque inexistant sur des secteurs karstiques, alors que les secteurs dominés par les schistes montrent une succession de petits ravins (ou vallons) généralement peu ramifiés.

Ces points généraux de la géographie du bassin du Gapeau sont détaillés dans le paragraphe suivant.

3.1.3. Communes du bassin versant du Gapeau

La figure suivante montre les limites communales sur le bassin versant du Gapeau :

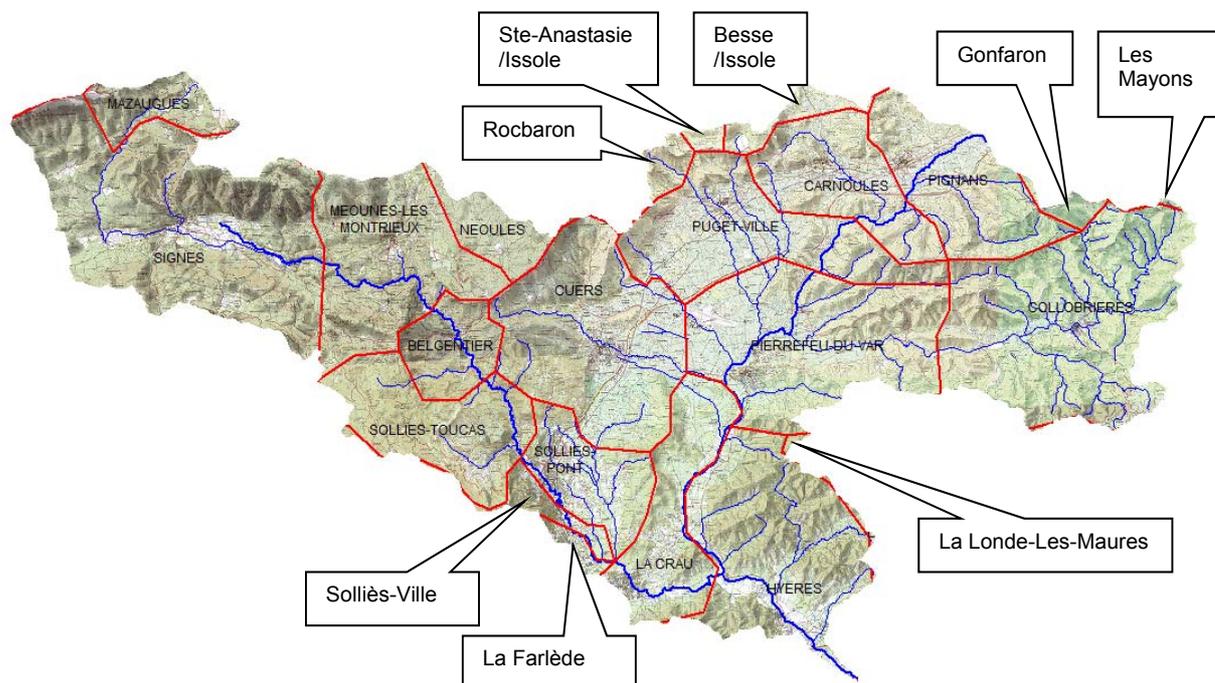


Figure 3 : Communes du bassin versant du Gapeau

Le bassin versant du Gapeau couvre donc en totalité ou en partie 23 communes, dont 15 sont membres du Syndicat Mixte du Bassin du Gapeau. Les communes hors de ce syndicat sont, en fait, concernées par des faibles superficies qui correspondent de plus à des franges situées sur la partie amont de sous-bassins versants, à l'exception de Mazaugues et de Rocbaron, qui portent les zones de sources du ruisseau du Latay (riche d'enjeux écologiques) et du Canadel (ruisseau qui traverse la zone urbaine de Puget-Ville). La partie du territoire de Néoules

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.

intégrée au bassin versant du Gapeau est une zone de plateau et de petits vallons calcaires sans cours d'eau notable.

A noter que selon la précision du tracé retenu pour la délimitation du bassin versant, quatre communes supplémentaires sont concernées : Le Revest-les-Eaux, Plan-d'Aups-la-Sainte-Baume, Bormes-les-Mimosas et La Roquebrussanne. Ces communes ne sont pas prises en compte ici.

Le tableau suivant indique la distribution du bassin versant du Gapeau entre les diverses communes qui couvrent ce territoire :

N°	Commune	Superficie (ha) sur le bassin
1	SIGNES	7 659
2	MEOUNES-LES-MONTRIEUX	3 900
3	BELGENTIER	1 327
4	SOLLIES-TOUCAS	2 838
5	SOLLIES-PONT	1 805
6	SOLLIES-VILLE	521
7	LA FARLEDE	214
8	LA CRAU	2 577
9	HYERES	4 647
10	CUERS	5 076
11	PIERREFEU-DU-VAR	5 229
12	COLLOBRIERES	6 484
13	PUGET-VILLE	3 751
14	CARNOULES	2 579
15	PIGNANS	2 867
16	MAZAUGUES	1 028
17	NEOULES	954
18	ROCBARON	360
19	SAINTE-ANASTASIE-SUR-ISSOLE	142
20	BESSE-SUR-ISSOLE	483
21	GONFARON	234
22	LES MAYONS	26
23	LA LONDE-LES-MAURES	100

Tableau 1: Distribution de la surface du bassin versant du Gapeau entre communes du territoire

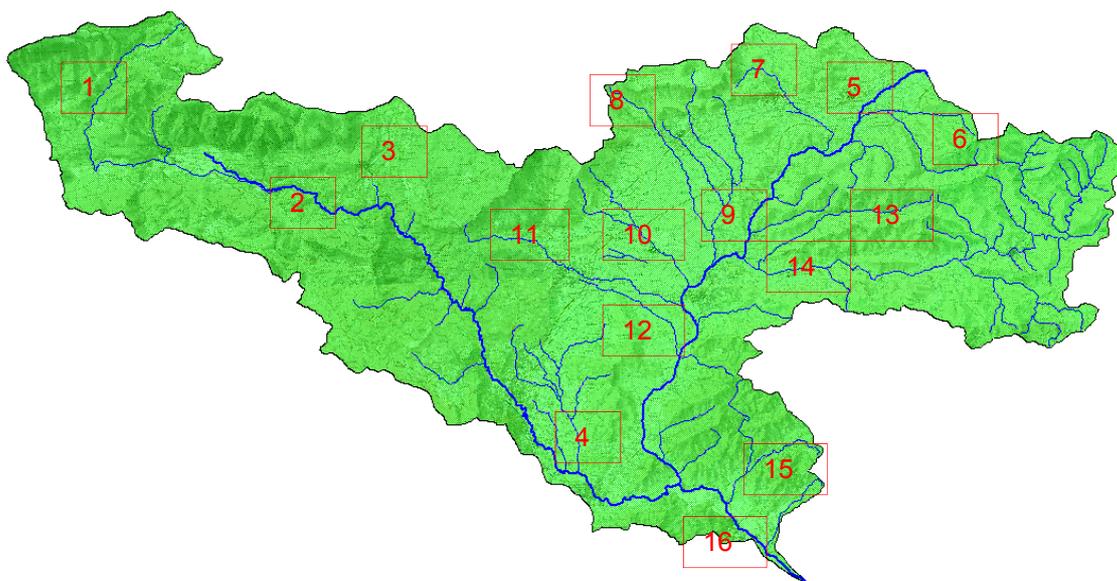
Dans ce tableau, obtenu par croisement sous SIG des limites de communes et de celle du bassin versant, les quinze premières communes (notées en gras) sont celles du Syndicat Mixte du Bassin Versant du Gapeau.

3.2. RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET INFLUENCE SUR LES CRUES

3.2.1. Structure générale du réseau hydrographique

Comme la plupart des fleuves côtiers de la région, le Gapeau est marqué par un réseau hydrographique fortement influencé par la géologie et le relief, avec une partie amont à pente assez forte puis une plaine alluviale large et enfin une plaine côtière constituant autrefois une vaste zone de divagation du lit. Cet espace aval a été par le passé aménagé à partir d'une rectification du lit du fleuve, qui se trouve par endroit perché par rapport à la plaine : cette structure « en toit » résulte d'un effet d'accumulation de sables et de sédiments fins sur les berges lors des débordements du cours d'eau, ces accumulations faisant des bourrelets peu visibles mais qui expliquent la formation de chenaux de crue dans la plaine plus ou moins déconnectés du lit mineur.

La figure suivante montre le réseau hydrographique principal, issu de la BD Carthage sous forme de cours d'eau au Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE).



Numéro	Cours d'eau	Numéro	Cours d'eau	Numéro	Cours d'eau
1	Latay	6	Réal Rimauresq	11	Meige Pan
2	Gapeau (amont)	7	Rau de Carnoules	12	Rau des Cougourdes
3	Naï	8	Canadel	13	Maraval
4	Petit Réal	9	Merlançon	14	Réal Collobrier
5	Réal Martin	10	Farembert	15	Rau des Borrels
				16	Gapeau (aval)

Figure 4 : Réseau hydrographique principal du bassin versant du Gapeau

Cette carte qui ne montre que le réseau hydrographique principal met clairement en évidence des configurations très différentes d'un secteur à l'autre :

- Le Gapeau est caractérisé par l'absence d'affluents : jusqu'à La Crau, il ne reçoit que de très petits affluents issus du plateau calcaire et karstique. Les deux principaux affluents sont le Latay, qui correspond, en fait, à la partie amont du bassin versant du Gapeau et qui est le cours d'eau traversant la plaine alluviale de Signes, ainsi que le Naï qui draine le secteur de Méounes-les-Montrieux. Ce n'est qu'en aval de Solliès-Pont qu'il reçoit les apports du ruisseau de la Jonquière et surtout du Petit Réal, qui sont deux cours d'eau de plaine agricole dont les caractéristiques et le fonctionnement hydrologique actuel est proche de celui des cours d'eau affluents de rive droite du Réal Martin.
- Le Réal Martin est marqué par des apports réguliers tout le long de son cours en provenance de sa rive droite majoritairement : il s'agit de cours d'eau naissant dans les collines ou sur le plateau calcaire en limite Ouest du bassin versant et qui traversent la vaste plaine agricole tout en recevant les apports des zones urbaines et des infrastructures en bordure de cette plaine. Ce secteur constitue la principale zone d'apports en période de crue.
- Le Réal Collobrier, ainsi que les autres affluents de rive gauche du Réal Martin, sont des cours d'eau marqués par des tracés rectilignes et de pente assez élevée, mais qui drainent des bassins versants schisteux relativement peu productifs de débit du fait de leur couverture végétale et du microrelief qui créent une multitude de zones d'accumulation des eaux de ruissellement ; la dureté et la relativement faible érodabilité du socle rocheux expliquent en outre que le réseau hydrographique reste peu développé, sauf sur la partie amont du Réal Collobrier.

Le tableau suivant résume les caractéristiques morphométriques de ces principaux cours d'eau du bassin versant du Gapeau :

Cours d'eau	Longueur	Point haut	Dénivelée	Pente moyenne
Latay	18,6 km	710 m	520 m	2,8 %
Gapeau	42,7 km	320 m	320 m	0,8 %
Petit Réal	13,8 km	140 m	95 m	0,7 %
Réal Martin	27,9 km	200 m	180 m	0,7 %
Ruisseau de Carnoules	7,5 km	300 m	180 m	2,4 %
Merlançon	10,5 km	410 m	350 m	3,3 %
Farembert	7,6 km	440 m	385 m	5,1 %
Meige Pan	12,2 km	550 m	500 m	4,1 %
Réal Collobrier	23,8 km	590 m	515 m	2,2 %
Ruisseau des Borrels	6,2 km	190 m	185 m	3,0 %

Tableau 2 : Caractéristiques des principaux cours d'eau du bassin versant du Gapeau

Les trois cours d'eau principaux du bassin versant (Gapeau, Réal Martin et Réal Collobrier) possèdent des pentes moyennes relativement faibles, caractéristique de rivières de plaine, alors que leurs affluents possèdent des pentes moyennes comprises entre 2 et 5 %, du fait de leur inscription sur des versants.

Dans le cas des affluents de rive droite du Réal Martin, en particulier le ruisseau de Carnoules, le Merlançon (et le Canadel), le Farembert et le Meige Pan, la pente est forte sur la partie amont (dépassant 15 %) avant de s'atténuer fortement dans la traversée de la plaine agricole où elle chute à moins de 1%, à l'image du Petit Réal par exemple. Cette configuration se traduit, **pour les bassins versants ayant conservé un fonctionnement naturel**, par une crue intense et très rapide du bassin amont puis, sur la partie aval, par un débordement fréquent et sur de grandes surfaces, avec activation de zones d'expansion des crues et net ralentissement de la propagation de la crue. On note cependant que la plupart de ces cours d'eau ont été **fortement modifiés**, avec souvent un recalibrage et une rectification (parfois un endiguement) de ces cours d'eau dans la traversée des zones agricoles et surtout la mise en place de réseaux intenses de drainage ; l'effet de ce réseau hydraulique à vocation agricole a été de réduire fortement le rôle d'écrêtement des crues des ruisseaux joué par cette plaine, et favorisant l'évacuation rapide des eaux au moyen d'un réseau dense de fossé.

Concernant les trois principaux cours d'eau du bassin versant, on note des configurations nettement différentes de leur lit avec :

- Pour le Gapeau amont (jusqu'à l'aval de Solliès-Pont) : un lit relativement encaissé et possédant une vallée étroite (sauf localement). En pratique, ce n'est que dans la traversée de Signes que la vallée du Gapeau (en fait, celle de la partie aval du Latay) est large et possède des zones d'expansion des crues susceptibles d'atténuer et de ralentir les crues.
- Pour le Gapeau aval, de La Crau à la mer : un lit qui a connu une assez forte mobilité historique à l'intérieur de sa plaine alluviale puis des « marais » de sa zone d'estuaire. Les usages de cet territoire ont conduit à des travaux de canalisation du fleuve sur certaines zones, rendant peu fréquents (tous les 5 à 10 ans en moyenne) les débordements qui étaient naturellement très fréquents (une à deux fois par an en moyenne). Ce lit actuel en partie artificiel est de fait contraint par des effets d'endiguement et de recalibrage plus ou moins anciens.
- Pour le Réal Martin, le lit mineur est marqué par une capacité majorée par rapport à un cours d'eau naturel, probablement du fait de travaux de curage et localement de recalibrage. Il semblerait que l'augmentation des apports par densification du réseau hydraulique de la plaine ait aussi conduit à une tendance à l'approfondissement du lit, qui est toutefois limité par la présence de radier de ponts, des seuils le long de son parcours et aussi par la présence de roche-mère en fond de lit sur plusieurs secteurs. Le cours d'eau reste débordant avec des périodes de retour de l'ordre de 5 ans (bien que variable d'un secteur à l'autre), et avec une plaine inondable qui joue un net effet d'atténuation et surtout de ralentissement des crues.
- Pour le Réal Collobrier, on note surtout l'étroitesse de la vallée qui explique une propagation rapide des crues et leur faible écrêtement. Ce fonctionnement naturel est en outre amplifié par l'endiguement (ancien) du cours d'eau sur sa partie aval, qui est pourtant une plaine alluviale large de 300 à 800 mètres mais qui est de fait déconnectée du cours d'eau pour les crues courantes.

On retiendra donc que le Gapeau amont, malgré la présence de plusieurs dizaines de seuils en lit mineur, a conservé un fonctionnement hydrologique proche de son état naturel. De même, le Réal Collobrier garde son fonctionnement naturel (sauf sur ses 6 kilomètres aval), alors que sa partie aval comme le Réal Martin sur presque tout son linéaire est marquée par un fonctionnement hydrologique très différent du fonctionnement naturel. En outre, le réseau hydraulique dans la plaine côtière a été très fortement modifié par le passé, comme détaillé plus loin.

Il ressort de cette analyse préalable que les fortes crues du bassin du Gapeau sont très majoritairement dues à la réponse hydrologique du Réal Martin.

3.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

3.3.1. Rôle de la géologie et de l'hydrogéologie dans le fonctionnement hydrologique

Le **contexte géologique** est le premier facteur naturel qui explique la réponse hydrologique d'un bassin versant, principalement au travers de trois paramètres majeurs :

- Par le relief : la pente des versants et les formes du relief dépendent essentiellement de la morphogénèse et de l'âge du massif ;
- Par la nature et l'érodabilité du socle rocheux : alors que les massifs de gneiss et granite montrent des tendances à l'érosion par arénisation (avec formation de grandes quantités de sable et un relief de forme très « arrondie ») sur une partie du massif des Maures, on y rencontre aussi des formations de schistes nettement moins érodables, conduisant à la formation de très nombreuses micro-dépressions et à un réseau hydrographique secondaire peu développé, comme sur le bassins du Réal Collobrier. La partie Ouest du bassin du Gapeau est de nature calcaire avec une forte perméabilité « en grand » du fait de lapiaz et dolines notamment, conduisant à un assez faible ruissellement en surface ;
- Par l'épaisseur de la couche de sols meuble en surface, qui favorise l'infiltration et le sous-écoulement, mais aussi le développement d'une végétation plus ou moins dense pouvant réduire et surtout ralentir le ruissellement. En fait, sur les versants, c'est surtout le système racinaire, l'humus et le sous-bois créés et donc les essences et leur densité qui interviennent pour intercepter les eaux pluviales et les eaux de ruissellement. A cet égard, des incendies sur de grandes surfaces peuvent modifier l'hydrologie d'un bassin versant selon que le système racinaire persiste ou non, et selon la vitesse de recolonisation végétale.

L'analyse du contexte géologique est alors ici d'autant plus important qu'il est fortement différent d'un secteur à l'autre du bassin versant du Gapeau.

L'**hydrogéologie** est aussi un aspect à prendre en compte dans la mesure où des eaux souterraines provenant de systèmes profonds ou karstiques peuvent s'ajouter aux eaux de crue et gonfler les débits : c'est le cas de la partie intermédiaire du bassin du Gapeau avant sa confluence avec le Réal Martin.

3.3.2. Géologie du département du Var

Le département du Var présente la particularité d'être constitué, au plan géologique, par trois grands ensembles résultants de la morphogénèse de la côte méditerranéenne :

- La Provence cristalline, à l'Est et au Nord du département et qui correspond au Massif des Maures ; les roches qui le constituent sont métamorphiques et cristallophylliennes. Ce socle se retrouve également au niveau des trois îles d'Hyères.
- La Provence calcaire, à l'Ouest et au Nord-Ouest du département, qui se caractérise par des calcaires, des marnes et des dolomies majoritairement.
- La dépression permienne, qui marque la transition entre ces deux grands ensembles géologiques. Elle correspond au Nord à la plaine des Maures, dans laquelle se développe la vallée l'Aille, et au Sud à la plaine de Cuers occupée par la vallée du Réal Martin puis du Gapeau près de la côte. Cette dépression est une zone de remplissage sédimentaire de grès, d'arkoses, de pélites et d'argilites rouges.

Cette géologie particulière se traduit par une topographie variée, caractérisée par deux massifs que sont les Maures à l'Est (Provence Cristalline) et le plateau du massif de la Sainte Baume à l'Ouest (Provence Calcaire). La dépression permienne marque une vaste zone de plaine entre ces deux ensembles.

La figure suivante résume cette structure géologique à l'échelle du département du Var :



Figure 5 : Les trois ensembles géologiques du département du Var (source : Atlas des Paysages du Var)

Il est par ailleurs intéressant d'associer à cette carte des grands ensembles géologiques du département celle du réseau hydrographique principal : on observe une superposition exacte entre les massifs calcaires à l'Ouest et cristallin à l'Est avec les zones de faible et de forte densité du réseau hydrographique, en ce qui concerne les deux grands cours d'eau, à savoir l'Argens et le Gapeau. Cette illustration confirme le lien majeur entre géologie et hydrologie de surface, du fait de l'influence de la nature du socle sur le réseau hydraulique naturel et sur les conditions de ruissellement. Ce facteur joue considérablement plus sur le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant que la nature de la couverture végétale.

Cette carte du réseau hydrographique principal du département du Var, montrant à la fois l'inscription de grands vallées dans la dépression du Permien, la faible densité de cours d'eau sur le massif calcaire et le chevelu hydrographique très développé sur le massif cristallin est reproduite ci-après :

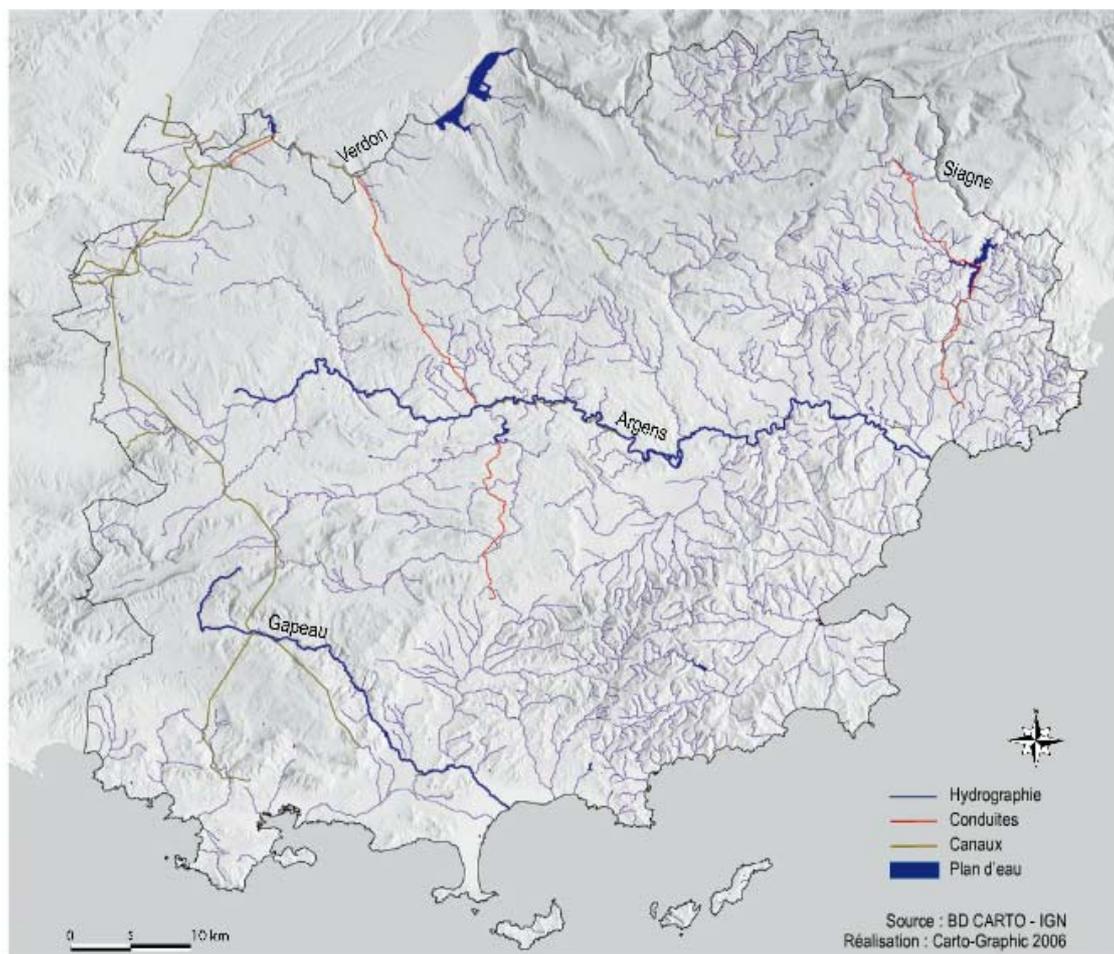


Figure 6 : Densité de réseau hydrographique sur le département du Var (source : Atlas des Paysages du Var)

3.3.3. Géologie et hydrogéologie du bassin versant du Gapeau

Le bassin versant du Gapeau couvre une superficie de 548 km² : une telle superficie explique que l'on rencontre des caractéristiques géologiques assez différentes d'un secteur à l'autre, induisant des conditions de relief, de densité du réseau hydrographique et donc du fonctionnement hydrologique très différentes. Par superposition avec la carte géologique du département du Var, on constate que ce bassin versant intersecte les trois grandes entités géologiques, et s'organise donc selon trois grands ensembles :

- Le bassin versant du Gapeau amont (jusqu'à la Crau) repose sur un massif calcaire (et localement marneux) fissuré, en partie karstique, comportant des plateaux et des coteaux encadrant des vallées étroites (sauf localement sur Signes). Il s'agit plus précisément des massifs de la Sainte-Baume au Nord-Ouest, de Montrieux au Sud-Ouest et du Pilon Saint-Clément au Nord-Est (qui s'étend vers Rocbaron). Ces formations datent du Crétacé et du Jurassique en majorité, localement du Tertiaire (au niveau de Signes).
- La partie Sud-Est du bassin versant s'inscrit dans le Massif des Maures d'origine cristalline (et densément boisé). Selon le secteur, les formations cristallines qui composent le Massif des Maures sont composées par des gneiss, des granites ou des micaschistes principalement. Du fait de son boisement, ce massif est aussi le siège d'incendie qui affecte parfois de très vastes étendues. Cet espace porte le sous-bassin versant du Réal Collobrier.

- Le centre du bassin est occupé par une vaste plaine alluviale, à savoir la plaine de Cuers intégrée à la dépression Permienne entre massif calcaire et massif cristallin. Ces terrains essentiellement sableux d'aspect, mais qui proviennent d'altération naturelle de grès dont des arkoses, riches en quartz, argile et feldspath, de pélites (argile gréseuse) et d'argillites rouges, avec en outre par endroit des accumulations de limons moins perméables. Cette plaine contient un vaste aquifère, qui constitue une réserve d'eau douce, qui est alimentée par les pluies et par les crues.

La carte reportée en page suivante montre le contexte géologique de l'ensemble de ce secteur.

Au plan de l'hydrogéologie, on relève les points suivants :

- Les terrains des massifs calcaires se caractérisent par des sols souvent peu épais et perméables, essentiellement occupés par des peuplements forestiers caractéristiques des sols calcaires sous forme de taillis de chêne vert, de pinèdes à Pin d'Alep, de garrigues et de pelouses sur rocailles. La partie karstique de ces massifs est à l'origine de résurgences plus ou moins importantes, et susceptibles de modifier les débits du Gapeau amont. Le fonctionnement de ces karsts reste mal connu : une campagne de suivi vient d'être lancée par le BRGM afin de mieux apprécier les apports de ces résurgences, particulièrement sur la partie centrale du bassin amont du Gapeau. L'aquifère karstique lié au Gapeau représente selon le BRGM une surface de l'ordre de 240 km².
- Les terrains du socle cristallin des Maures se caractérisent par une tranche d'altération du socle à texture grossière d'une épaisseur d'un à deux mètres. La perméabilité de ces terrains est généralement médiocre et les réserves en eau souterraine sont extrêmement limitées : les aquifères de cette zone cristalline alimentent peu les cours d'eau superficiels et se tarissent rapidement en période sèche, de sorte que les cours d'eau de ce secteur du bassin versant du Gapeau sont principalement des vallons non pérennes. Des sols peu évolués, sableux et peu humifères dominent sur les points hauts des Maures et ses pentes fortes ; ils sont le plus souvent occupés par des peuplements forestiers à tendance alcaline.
- Les zones de plaines du Gapeau se caractérisent par des terrains limono-argilo-sableux, à dominante d'argile de plusieurs mètres d'épaisseurs : la réserve hydrique de ces terrains est bien plus élevée que celle des territoires des Maures, cependant leur perméabilité reste limitée. Les pentes plus douces de ces zones de plaine les rendent propices à l'activité agricole, dominée sur l'ensemble du bassin par la viticulture. Sur cette plaine, les aquifères alluviaux se décomposent en fait en deux ensembles distincts :
 - La plaine alluviale située au centre du bassin versant est composée de dépôts alluvionnaires d'une épaisseur relativement réduite. L'alimentation de la nappe alluviale est assurée par son propre impluvium, les alimentations latérales par les versants et par les cours d'eau, en particulier le Réal Martin et ses affluents de rive droite. Les formations gréseuses du Permien sont aquifères et peuvent alimenter ainsi la nappe alluviale. Cette nappe s'écoule en direction du sud-ouest. Une partie de l'écoulement se poursuit vers le sud dans la nappe alluviale du Gapeau, et une autre partie s'écoule en dehors du bassin versant, vers le sud-ouest. En étiage, l'alimentation de cette nappe est assurée par la rivière et les apports latéraux nord (formation calcaires). Avec 29 km² de superficie, la nappe alluviale du Gapeau concentre l'essentiel des ressources en eau souterraine de cette partie du département, essentiellement dans sa partie aval : ses réserves ont en effet été estimées de 22 à 29 Mm³.
 - L'aquifère d'accompagnement des cours d'eau : généralement peu développé, cet aquifère d'alluvions est alimenté par les pluies, par les cours d'eau et par des apports de versant. Dans la partie nord-nord-ouest de la plaine, les

alluvions sont très peu développées et sont bien alimentés par les formations calcaires karstifiées. Dans le secteur sud-est, les alluvions sont également peu développées mais sont en outre peu alimentées car les cours d'eau ne sont pas pérennes. A l'aval du bassin versant du Gapeau, le cours d'eau s'écoule dans une vallée avant de déboucher sur la plaine côtière : dans cette vallée encaissée entre formations cristallines, le Gapeau s'écoule dans des formations alluviales présentant une puissance supérieure à dix mètres : la nappe alluviale est alimentée par le Gapeau et par continuité de la nappe alluviale.

Il est par conséquent nécessaire ici de prendre en compte les échanges entre rivières et nappes, ainsi qu'entre nappe et rivières à la fois pour intégrer les apports en période de crue et pour construire une stratégie de réduction du risque d'inondation qui respecte ce fonctionnement, en particulier la réalimentation périodique de la nappe alluviale par les eaux de débordement du Réa Martin et du Gapeau aval.

Les échanges entre nappes et rivières selon la zone géologique du bassin versant du Gapeau sont résumés sur la figure reportée ci-après.

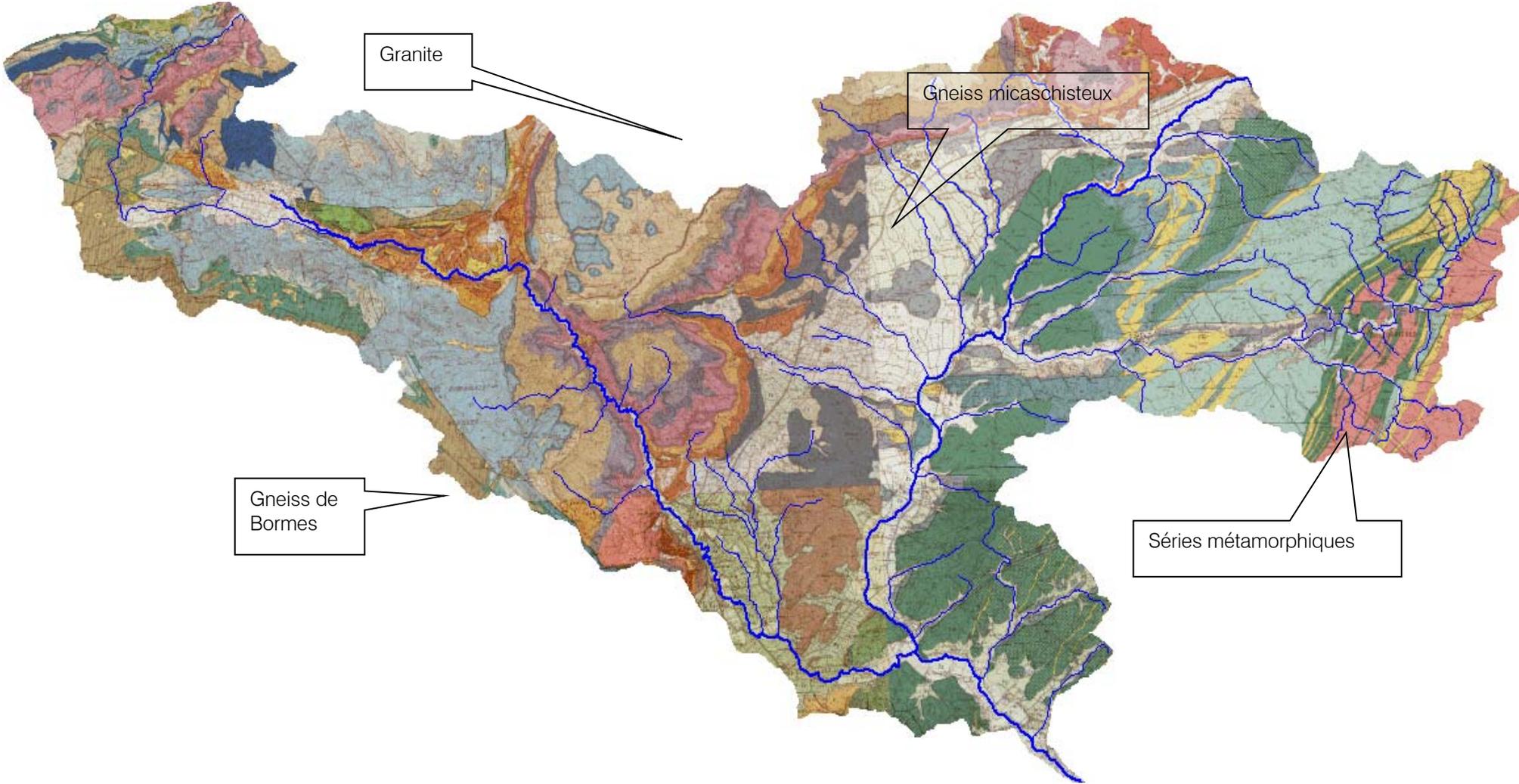


Figure 7 : Contexte géologique du bassin versant du Gapeau (source : BRGM, carte au 1/250 000)

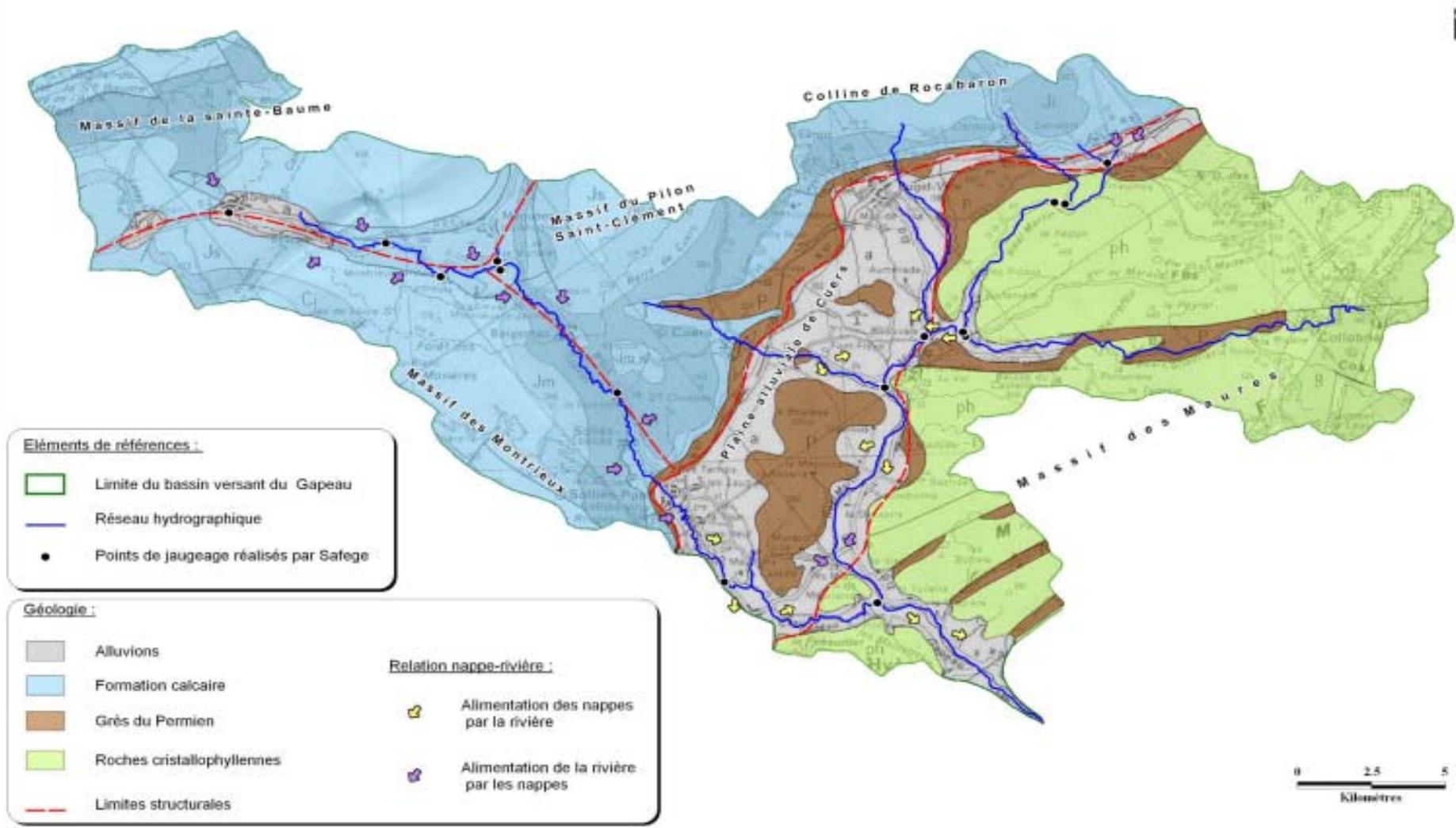


Figure 8 : Contexte hydrogéologique et échanges nappes-rivières sur le bassin versant du Gapeau (source : Bilan du fonctionnement du Gapeau à l'étiage, SAFEGE, 2008)

3.4. USAGE ET OCCUPATION DES SOLS

L'occupation des sols, et plus encore ses usages, influence le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant, non seulement par le taux de ruissellement (en fonction du degré d'imperméabilisation et du taux d'intervention de la pluie par le feuillage notamment), mais aussi et surtout par les conditions d'évacuation des eaux de ruissellement : on note ainsi de fortes différences entre réponses de bassins versant viticoles selon que le degré d'enherbement et de drainage des vignes ; de même, une zone urbaine produit une certaine imperméabilisation des sols (sauf au niveau des jardins) mais aussi modifie fortement la réponse hydrologique naturelle selon que les eaux pluviales sont canalisées et évacuées rapidement en aval, ou bien maintenues sur les jardins et dans des ouvrages de régulation.

Pour l'occupation et l'usage des sols sur le territoire couvert par le bassin versant du Gapeau, quatre grandes typologies prédominent (*source : CORINE Land Cover, niveaux 1, 2 et 3*) :

- Les zones naturelles, qui regroupent les forêts et milieux semi-naturels composés surtout de boisements de feuillus (chêne vert...) et de quelques zones de résineux (pins d'Alep ou pins maritimes) ; on rencontre quelques pelouses naturelles, mais finalement assez peu d'espaces naturels ouverts ;
- Les zones agricoles, qui couvrent les terres arables, irriguées ou non, les cultures permanentes (vignes, vergers), ainsi que quelques prairies et autres zones agricoles hétérogènes (champs, maraîchage, pépinière ...) ;
- Les zones d'habitats et d'activités, qui forment les tissus urbains et qui correspondent aux zones actuelles denses d'habitation près de la côte et sur les villages, et à des zones nettement moins denses à l'intérieur des terres ;
- Les zones d'aménagements ou de loisirs, qui comptent les zones mixtes d'habitats et d'activités industrielles ou commerciales, les zones à développement programmé, ainsi que les espaces dédiés aux loisirs.

La carte d'usage des sols sur le bassin du Gapeau a été constituée à partir de la version de 2006 de la base de données européenne CORINE Landcover, qui utilise une typologie à trois niveaux de détails. Les deux cartes confirment une couverture forestière importante des reliefs, une occupation des zones essentiellement agricoles des plaines (surtout viticole), et un taux d'urbanisation qui reste globalement faible à très faible sur les hauteurs et l'amont des sous-bassins versants, moyenne à forte sur la partie aval et sur des zones de piémont.

Il est à noter que CORINE LandCover utilise comme échelle de résolution un pixel représentant 25 hectares : de fait, l'habitat de type linéaire ou peu dense est en général non représenté.

Cette carte montre aussi de faibles surfaces affichées en noir : il s'agit d'espaces touchés par un incendie survenu quelques années avant 2006 : une couverture végétale spontanée s'est généralement reconstituée. L'urbanisation et surtout les espaces touchés par des incendies n'apparaissent pas comme à jour sur cette cartographie datant d'une dizaine d'années.

La carte d'occupation des sols du bassin versant du Gapeau est reproduite en page suivante.

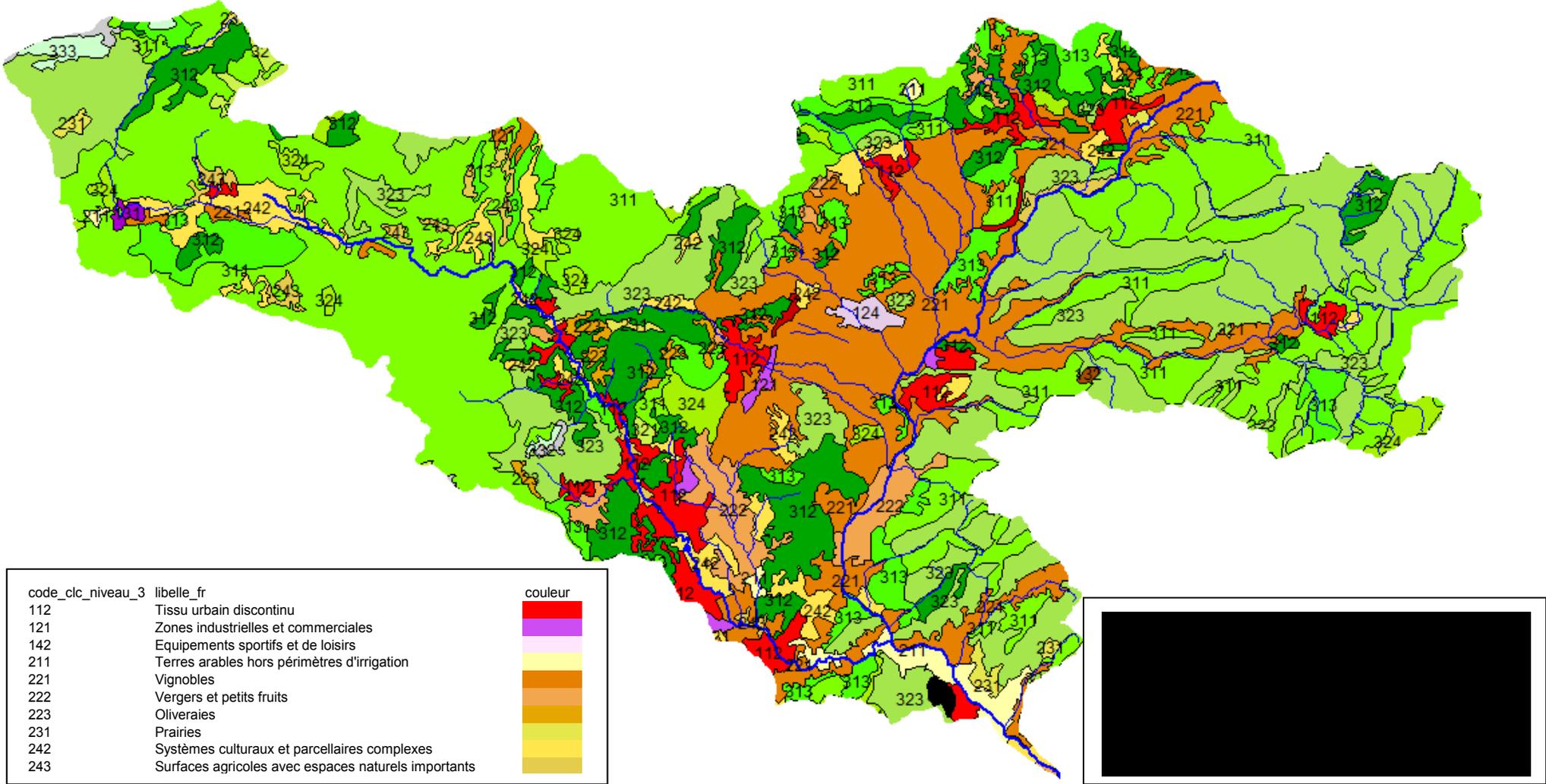


Figure 9 : Occupation des sols du bassin versant du Gapeau (source : CORINE Land Cover Niveau 3 - 2006)

Cette carte montre les points suivants :

- L'agriculture (particulièrement la viticulture, en marron) se concentre sur la plaine de Cuers et le long de cours d'eau : tout le long du Réal Martin, le long du Gapeau sur sa zone de confluence avec le Réal Martin, le long du Réal Collobrier en aval de Collobrières, le long du ruisseau des Borrels. La vigne se rencontre aussi sur la moitié amont du bassin versant du Petit Réal, sa moitié aval étant surtout consacrée à la production de fruits (particulièrement les figues).
- Les zones urbaines (en rouge et violet sur la carte) se concentrent surtout le long du Gapeau sur sa moitié aval et en zone de piémont sur l'ouest du bassin du Réal Martin (notamment pour Cuers).
- La couverture forestière (différents tons de vert sur la carte) domine très largement les zones de relief, particulièrement le haut bassin du Gapeau, le bassin du Réal Collobrier (hormis le fond de vallée) et les bassins versants des affluents de rive gauche de l'amont du Réal Martin.
- Alors que ce sont des forêts de feuillus qui couvrent majoritairement le haut bassin du Gapeau, la zone de la haute vallée du Latay ainsi que les coteaux calcaires entre Solliès-Pont, la Crau et Cuers portent des forêts de conifères ; le bassin versant du Réal Collobrier est quant à lui dominé par des forêts de feuillus sur la moitié Sud mais par une végétation sclérophylle, c'est-à-dire un milieu de garrigue, sur la moitié Nord.

Enfin, on relève que la proportion du massif forestier intégré dans l'ensemble des forêts communale est assez faible : la figure suivante montre la localisation des forêts communales à l'échelle du département.

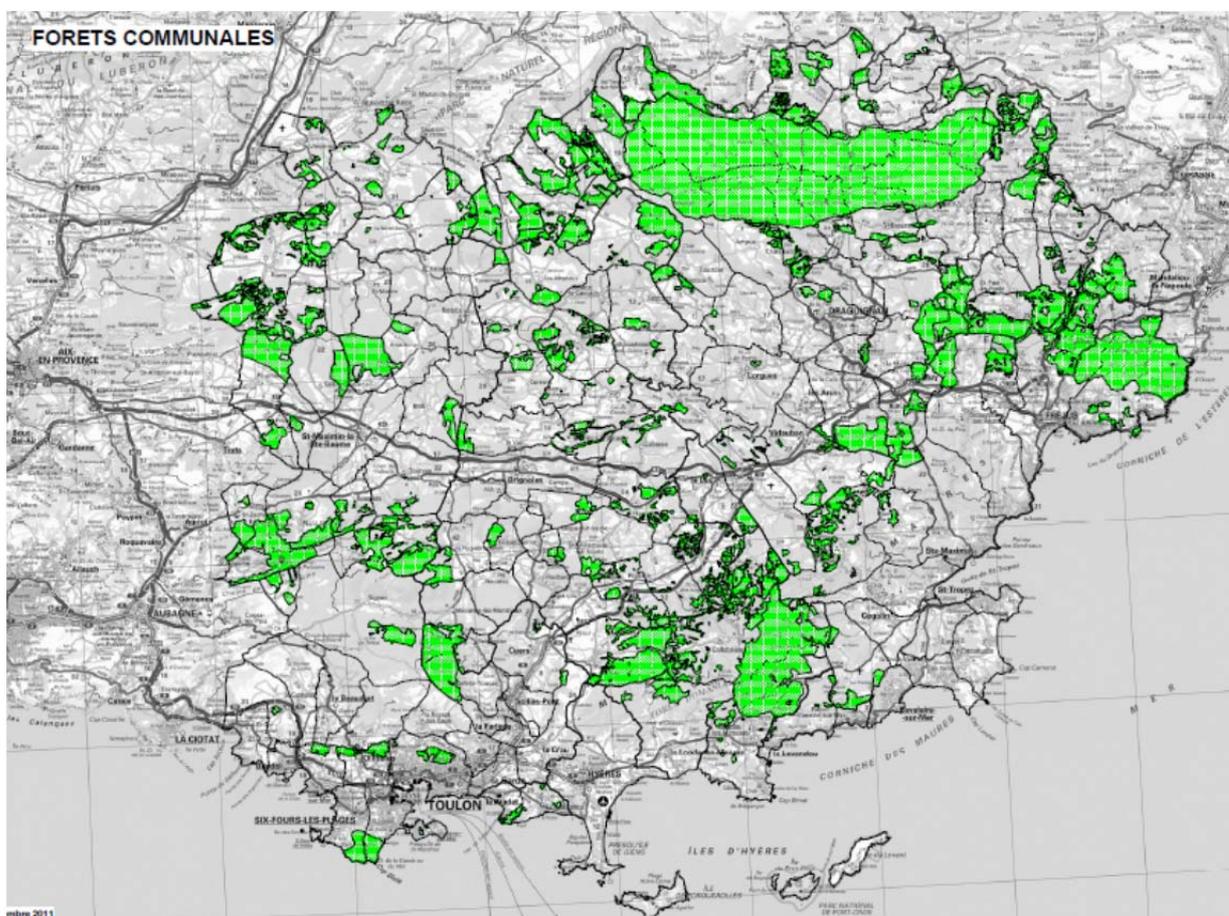


Figure 10 : Répartition des forêts communales dans le département du Var (source : DREAL PACA)

L'atlas des paysages du département permet de préciser en outre les essences dominantes sur les massifs boisés :

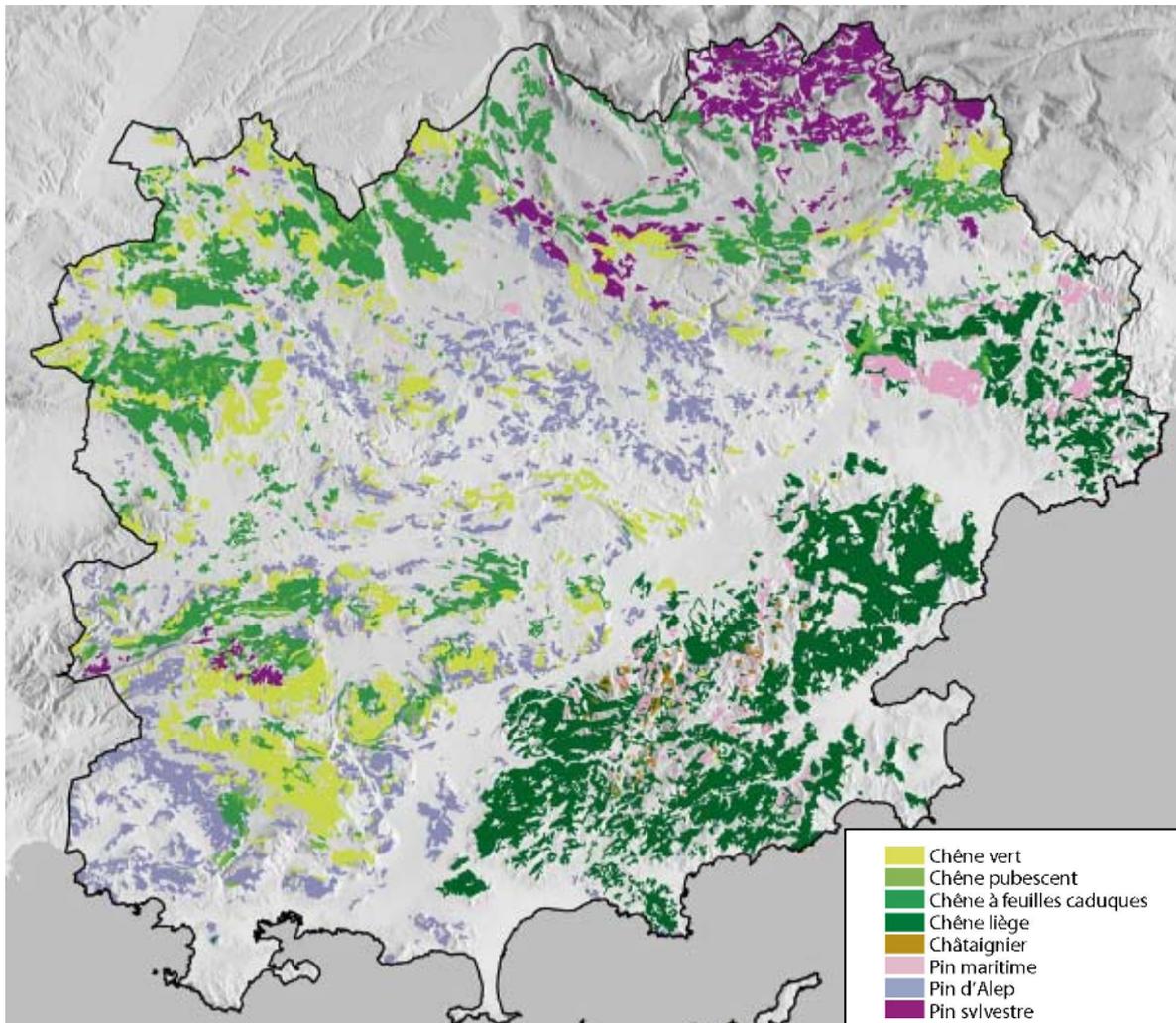


Figure 11 : Essences des boisements (source : Atlas départemental des Paysages)

On constate que le chêne vert domine le massif calcaire du bassin du Gapeau, alors que c'est le chêne liège qui se développe surtout dans le Massif des Maures.

3.5. CONTEXTE CLIMATIQUE GENERAL

Le Var possède un climat méditerranéen et bénéficie de 2 800 heures d'ensoleillement par an en moyenne. On peut cependant, même à l'échelle du bassin versant du Gapeau, noter une influence nette du relief sur le climat et la pluviométrie. En effet, on distingue quatre zones sur le secteur d'étude :

- Le littoral est sous un climat méditerranéen affirmé, bénéficiant à la fois d'un ensoleillement important et d'une faible pluviométrie (600 à 700 mm/an), mais avec des vents parfois violents qui tendent à assécher l'atmosphère et peuvent provoquer des variations sensibles de température ;
- Le Massif des Maures profite de l'ensoleillement du littoral mais il est généralement marqué par une pluviométrie sensiblement plus forte que sur la côte (850 à 900 mm/an) et peut en outre être touché par des événements orageux intenses ;

- Le massif calcaire de la Sainte-Baume est marqué par des pluies locales intenses (telles que celles mesurées à La Roquebrussanne) mais aussi par une pluviométrie annuelle sensiblement différente de celle de la côte ;
- La partie amont du bassin du Réal Martin, loin de la côte et correspondant à la plaine Permienne, est aussi reconnue comme recevant une pluviométrie différente de la côte et des massifs, s'agissant d'un axe de « passage » de masses nuageuses.

Le relief est alors ici un facteur qui influence le climat et les conditions météorologiques locales.

3.5.1. Pluviométrie et température sur le département du Var

En moyenne, sur l'ensemble du territoire du bassin versant du Gapeau, la pluviosité est assez faible avec un cumul des précipitations s'établissant entre environ 600 et 900 mm/an sur la zone littorale seulement, avec des cumuls de pluie sur les points hauts du Massif des Maures qui atteignent 1 000 mm/an en moyenne. Les observations faites sur le poste du Babaou (point haut de 440 m du Massif des Maures) montrent des pluies maximales horaires décennales et centennales de 45 mm et 80 mm respectivement ; le cumul de pluie journalière de fréquence centennale varie de 173 mm à Hyères à 275 mm au Babaou.

Les pluies intenses méditerranéennes se caractérisent par des noyaux orageux souvent de taille réduite, de sorte que les pluies enregistrées localement ne sont pas représentatives d'événements pluvieux affectant l'ensemble du bassin versant du Gapeau.

Les précipitations sont très irrégulières et très inégalement réparties sur l'année : les trois mois d'été sont extrêmement secs, avec un pic de sécheresse au mois de juillet. Les précipitations les plus importantes se manifestent souvent sous forme d'orages violents et sont généralement observées à l'automne et en hiver avec des pics aux mois d'octobre et de janvier.

On note une forte variabilité interannuelle, de sorte que les valeurs moyennes de pluviométrie (et de température) restent indicatives. Les valeurs moyennes annuelles sont reportées sur la figure ci-après pour l'ensemble du département du Var, mettant en évidence une répartition irrégulière de la pluviométrie sur l'année, caractérisée par :

- une période davantage pluvieuse d'octobre à janvier, avec un maximum de cumul mensuel au mois d'octobre (150 mm),
- un déficit hydrique sur la période de juin à août,
- un minimum de cumul mensuel en juillet (20 mm) (induisant les étiages les plus sévères en août).

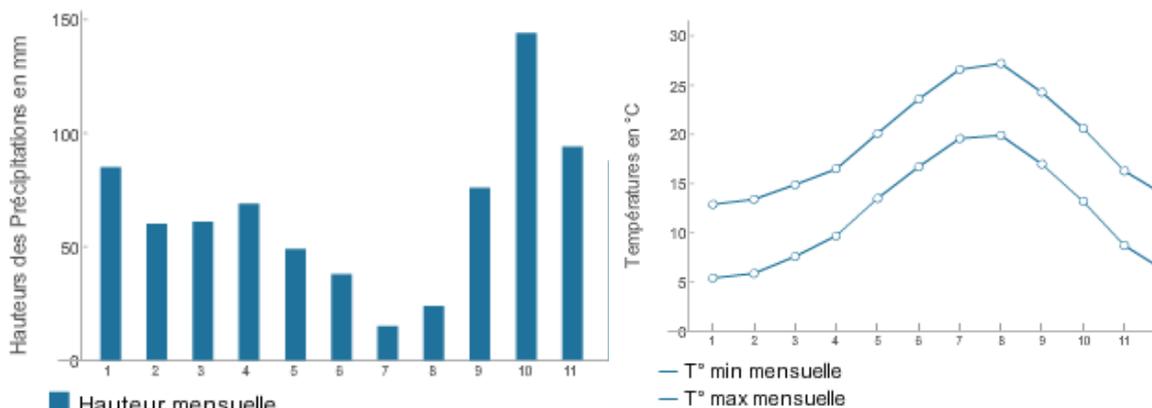


Figure 12 : Données climatiques du Var (valeurs moyennes mensuelles)

D'une année sur l'autre, le nombre de jours marqués par des précipitations est assez variable, mais reste relativement faible : on note de 50 à 100 jours pluvieux en moyenne, avec seulement 2 à 4 jours de neige en moyenne dans les plaines ; ce nombre atteint 10 à 14 jours sur les massifs situés à plus de 800 mètres d'altitude.

A titre d'illustration, la carte suivante montre la distribution spatiale des moyennes annuelles des cumuls de précipitations sur le département du Var, mettant en évidence une pluviométrie moindre sur la côte et des valeurs nettement plus soutenues sur le Massif des Maures :

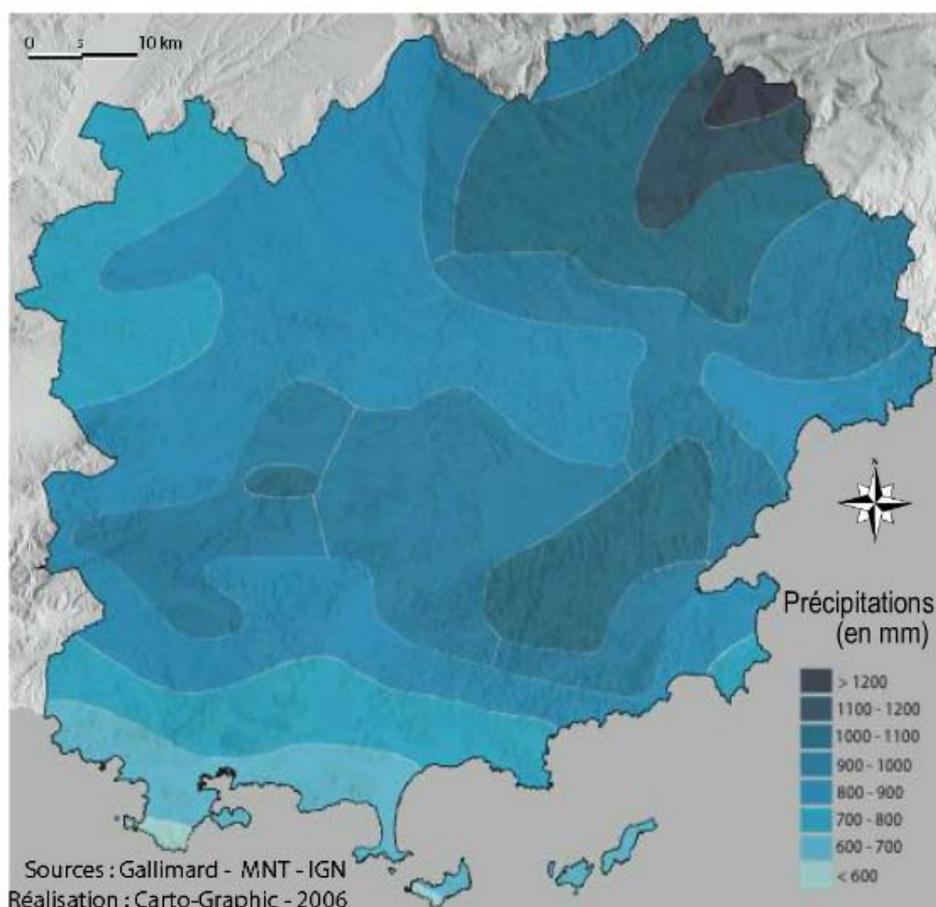


Figure 13 : Valeurs moyennes des cumuls de précipitation sur le département du Var

Concernant les températures, l'analyse des valeurs mesurées montre les points suivants :

- La température moyenne annuelle atteint 14,4 °C ;
- Les températures moyennes mensuelles varient entre 9 °C (en janvier) et 23 °C (en août), soit un écart entre moyennes mensuelles d'environ 14 °C ;
- La valeur moyenne des températures minimales de chaque mois varie entre 6 °C en décembre et janvier, et 19 °C en août, alors que la valeur moyenne des températures maximales de chaque mois varie entre 13 °C en janvier et 27 °C en août, ce qui traduit de possibles écarts d'amplitude relativement importants d'une année sur l'autre.

Parmi les records climatiques enregistrés depuis 1947 au Luc-en-Provence ou au Cannet-des-Maures, on relève notamment les valeurs suivantes :

- Hauteur maximale de pluie en 24 heures : le record est resté plusieurs décennies à 143,7 mm, mais l'événement du 15 juin 2010 a été marqué par un cumul sur 24 heures de 397 mm aux Arcs-sur-Argens (source : Météo France).
- Jour le plus pluvieux : 23/08/1983 ;

- Année la plus sèche : 1967 ; année la plus pluvieuse : 1976.
- Température la plus basse : -17,0°C ;
- Jour le plus froid : 12/02/1956 ; année la plus froide : 1956.
- Température la plus élevée : 42,7°C ;
- Jour le plus chaud : 07/07/1982 ; année la plus chaude : 1994.

Le département du Var bénéficie dans son ensemble d'un bel ensoleillement : on relève en moyenne 2 735 heures de soleil par an au Luc-en-Provence.

La carte suivante montre que les durées cumulées d'ensoleillement sont assez différentes d'un secteur à l'autre, en lien avec la nébulosité et la distribution spatiale des pluies :

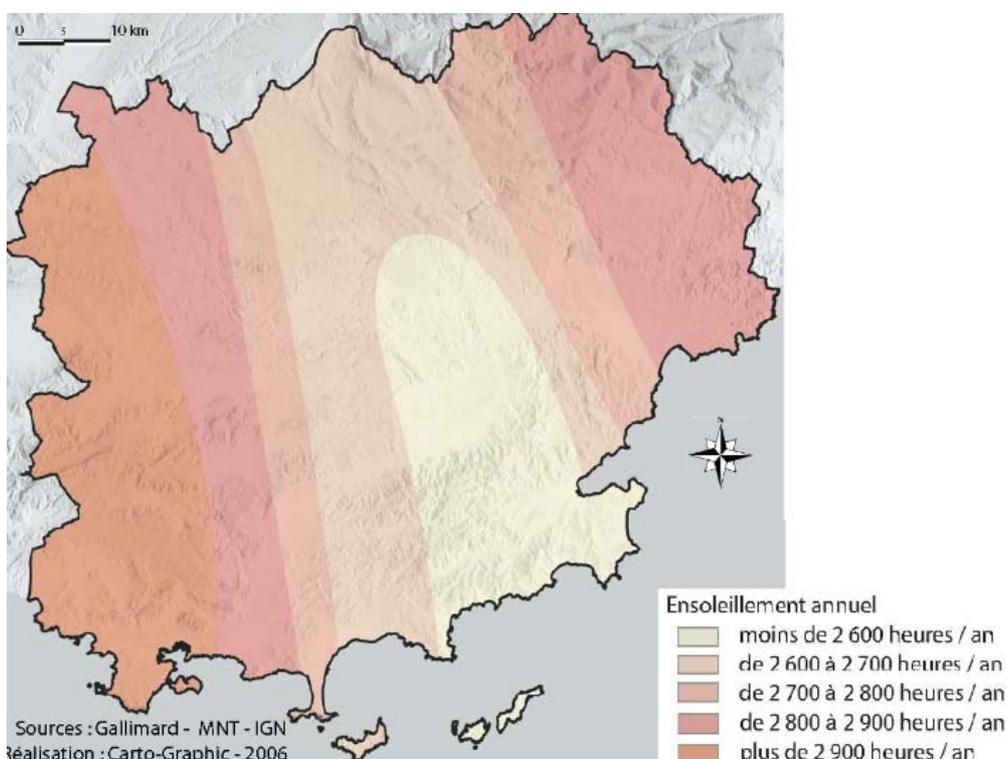


Figure 14 : Valeurs moyennes des durées d'ensoleillement sur le département du Var

Ces records et valeurs moyennes restent toutefois indicatifs, dans la mesure où on relève de fortes hétérogénéités des températures et de la pluviométrie d'un secteur à l'autre du département, mais aussi souvent entre bassins versants voisins : une analyse spécifique et locale des pluies reste nécessaire pour l'ensemble du bassin versant du Gapeau.

3.5.2. Vents et éléments perturbateurs

La rose des vents est une représentation à la fois de la fréquence et de l'intensité des vents dans toutes les directions sur un secteur ou une région donnée. L'analyse des données issues de cette représentation permet de décrire des vents dominants sur le département du Var :

- Un vent de Nord-Ouest, le Mistral, venant des terres et soufflant en continu mais sous forme de violentes rafales. Vent froid et sec souvent accompagné de beau temps, il peut accélérer la propagation des incendies en été.

- Un vent d'Est ou de Sud-Est, venant de la mer, violent est souvent accompagné de précipitations. Un tel vent est fréquemment observé lors de fortes crues des fleuves côtiers tels que le Gapeau, dans la mesure où il est souvent associé à une période de dépression sur la mer.

Le vent tend à suivre les « couloirs » formés par le relief et souffle de ce fait particulièrement fort sur la plaine des Maures et parfois sur la côte.

3.6. METROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

3.6.1. Hydrométrie du bassin versant du Gapeau

Le bassin du Gapeau fait l'objet d'un suivi hydrométrique qui présente la particularité de fournir un ensemble de données exploitables assez riche, sous réserve d'une utilisation allant nettement au-delà d'un traitement statistique classique. La banque HYDRO signale ainsi 19 stations sur ce bassin versant :

- La DREAL PACA gère trois stations hydrométriques sur le bassin du Gapeau pour le suivi en continu des débits :
 - La station de Solliès-Pont sur le Gapeau, qui fournit des données considérées comme fiables du bassin amont du fleuve ;
 - La station de La Crau - Decapris sur le Réal Martin en aval de sa confluence avec le Réal Collobrier, qui fournit des estimations de débit assez peu fiable en période de crue du fait d'un très fort contournement de la station, avec submersion éventuelle de la route d'accès à la station et qui fait office de seuil déversant pour le lit majeur de rive droite large de plusieurs centaines de mètres ;
 - La station de Hyères – Sainte Eulalie sur le Gapeau en aval de la confluence avec le Réal Martin, qui est également considéré comme douteuse en période de crue. Il est à noter que la DREAL a récemment mené un travail de modélisation mathématique permettant de mieux estimer la relation entre hauteur d'eau mesurée et débit du Gapeau, tenant compte des déversements en rive droite sur le site de Plan du Pont, mais cette courbe de tarage améliorée n'a pas encore donné lieu au re-calcul des débits présentés dans la banque HYDRO.
- La station sur le Réal Collobrier située au Pont de Fer, entre Collobrières et la confluence avec le Réal Martin, appartient à l'IRSTEA, qui a récemment signé une convention avec la DREAL (pour son suivi) et avec le SPC MedEst (pour son utilisation en prévision des crues). Les mesures à cette station sont partiellement accessibles dans la Banque HYDRO.
- La DREAL PACA a également exploité une station supplémentaire sur le Réal Martin à Puget-Ville (lieu-dit les Jacarels), abandonnée depuis 1984, et a mis en service en 2012 une station de suivi de la source du Rouve Gavot à Collobrières (pour un bassin versant d'un km²) et dont les données de débit sont provisoires et non disponibles.
- Le CEMAGREF, devenu récemment l'IRSTEA, a mis en place et exploité à des fins de recherche quatorze stations hydrométriques (dont celle du Pont de Fer) sur le Réal Collobrier, plusieurs de ses affluents ainsi que sur de petits cours d'eau du bassin amont du Gapeau. La plupart de ces stations ont été mises en service entre 1965 et 1972, mais les données versées à la Banque HYDRO ne représentent (de façon lacunaire) qu'une vingtaine à une trentaine d'années : de plus, les estimations de débit sont jugées comme douteuses. Il est néanmoins possible d'exploiter une partie de ces

données pour caractériser la réponse hydrologique de certains bassins versants. Certaines de ces stations sont toujours en place.

Les données disponibles doivent être utilisées avec un œil particulièrement critique, ce qui exclut tout traitement purement automatique des données.

Le tableau ci-dessous résume les principales caractéristiques de ces stations de suivi hydrométrique sur le bassin du Gapeau, en précisant la disponibilité, la nature et la période couverte par des mesures disponibles.

Code	Cours d'eau	Station	Bassin versant (km ²)	Hauteur d'eau	Débit instantané
Y4604010	Le Gapeau	Méounes-lès-Montrieux [Montrieux le Jeune]	89,2	non disponible	non disponible
Y4604020	Le Gapeau	Solliès-Pont	169	1970 - 2015	1969 - 2015
Y4605410	Le Gaou	Solliès-Toucas (1966-1983)	27.3	non disponible	non disponible
Y4605810	Les Rampins	Belgentier [Les Rampins] (1966-1983)	16	non disponible	non disponible
Y4606010	La Rouvière	Belgentier [La Rouvière] (1966-1983)	0.8	non disponible	non disponible
Y4611120	Le Rouve Gavot	Collobrières [source]	1	2012 - 2014	non disponible
Y4615010	Le Réal Martin	Puget-Ville [Les Jacarels]	60.3	1970 - 1984	1969 - 1984
Y4615020	Le Réal Martin	La Crau [Decapris]	277	1970 - 2015	1965 - 2015
Y4615610	Le Réal Collobrier	Pierrefeu-du-Var [Pont de Fer]	70.6	1966 - 1983	1966 - 1994
Y4615810	Le Valescure	Collobrières [aval]	9.22	1967 - 1983	1967 - 1994
Y4615820	Le Réal Collobrier	Collobrières [Sainte-Anne]	29.5	1965 - 1982	1965 - 1982
Y4615830	Le Réal Collobrier	Collobrières [village]	29	1972 - 1983	1972 - 1994
Y4616010	Le ruisseau des Maurets	Collobrières [Les Bourdins]	8.37	1968 - 1983	1968 - 1994
Y4616210	Le ruisseau du Rimbaud	Collobrières [Lave du Destrou]	1.4	1967 - 1983	1965 - 1994
Y4616220	Le ruisseau de la Malière	Collobrières [Gour de l'Astre]	12.3	non disponible	non disponible
Y4617610	Le ruisseau de Maraval	Pierrefeu-du-Var [Les Cogolins]	5.5	non disponible	non disponible
Y4617620	Le ruisseau de Maraval	Pierrefeu-du-Var [Les Davids]	9.7	1970 - 1983	1966 - 1994
Y4617810	Le ruisseau du Vaubarnier	Collobrières	1.54	1968 - 1983	1968 - 1994
Y4624010	Le Gapeau	Hyères [Sainte-Eulalie]	517	1970 - 2015	1961 - 2015

Tableau 3 : Stations de suivi hydrométrique en service ou hors service du bassin versant du Gapeau

La figure suivante montre l'implantation de ces différentes stations de suivi hydrométrique du bassin du Gapeau, en notant en rouge les stations en service gérées par la DREAL, en vert la station du Pont de Fer et en noir les stations abandonnées ou non suivies dans la Banque HYDRO.

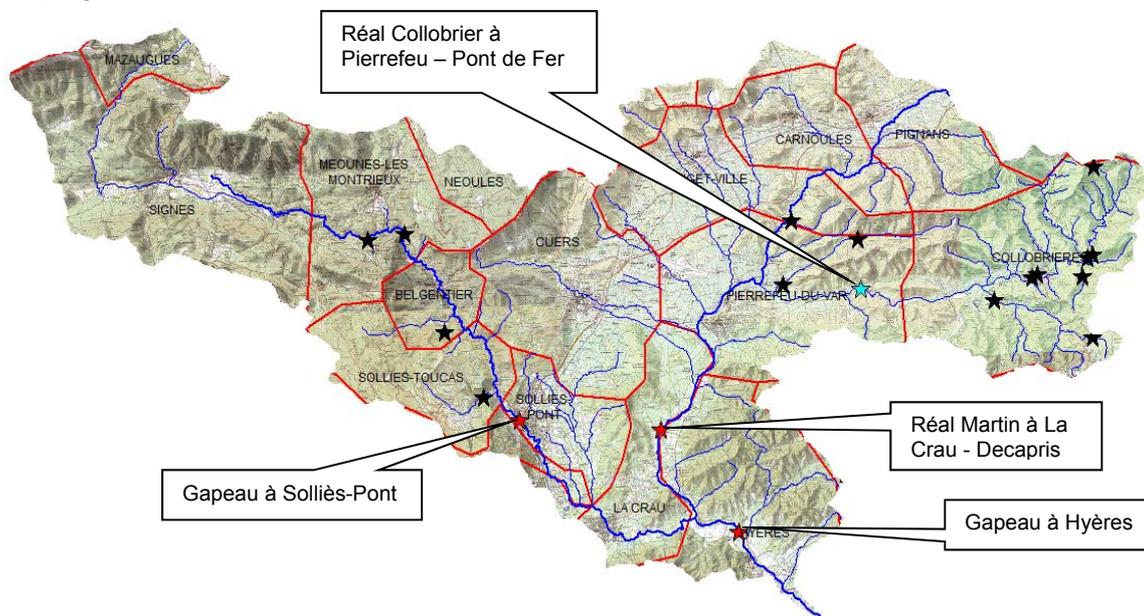


Figure 15 : Implantation des stations hydrométriques du bassin versant du Gapeau

On note une forte densité de stations sur le Réal Collobrier et ses affluents à des fins de recherches dans les années 1970 et 1980, ainsi qu'un suivi notable du Gapeau amont et de ses petits affluents dans la zone karstique entre Signes et Solliès-Pont.

3.6.2. Suivi pluviométrique

Le bassin versant du Gapeau (avec ses abords) bénéficie d'un suivi pluviométrique constitué principalement :

- D'anciens postes pluviométriques pour lesquels on dispose seulement de valeurs de cumuls journaliers.
- De stations automatiques avec enregistrement continu fournissant des données au pas de temps horaire notamment. C'est en particulier le cas des stations de Toulon, du Luc-en-Provence et d'Hyères.
- D'une couverture radar complète à partir de l'équipement de Collobrières, qui permet de calculer des lames d'eau COMEPHORE (de 1996 à 2006) et ANTILOPE (depuis 2006) au pas de temps horaire à diverses échelles spatiales : pour la présente étude sont notamment disponibles des lames d'eau moyennes calculées d'une part sur le bassin du Gapeau, ceci pour une série d'événements de crues récentes survenues depuis 2008, c'est-à-dire prenant en compte non seulement l'état actuel du bassin versant mais aussi tous les événements majeurs survenus ces dernières années (les fortes crues avant cette période étant assez peu nombreuses et remontant à 1999). Ces données ont été mises à disposition par le SPC MedEst, en charge de la prévision de crue sur le bassin du Gapeau notamment.

La carte ci-après, produite par Météo France, montre la localisation des stations pluviométriques en service sur le département du Var, en indiquant le nom de la station, son code mais aussi son type indiqué sous la forme d'un code compris entre 0 et 5 selon la liste suivante :

- 0 est une station synoptique, avec acquisition en temps réel et avec des données disponibles au pas horaire et au pas journalier ;
- 1, 2 ou 3 est une station automatique, avec acquisition en temps réel et avec des données disponibles au pas horaire et au pas journalier. La différence entre type est liée au délai de validation des mesures (entre 1 h et 21 jours) ;
- 4 est un poste climatique manuel ou une station automatique avec acquisition différée pour des données quotidiennes seulement ;
- 5 est une station automatique, avec acquisition en temps réel mais avec des données non expertisées et de disponibilité aléatoire.



Figure 16 : Implantation des stations pluviométriques de Météo France dans le département du Var

Le tableau suivant résume les principales informations utilisées au niveau des différentes stations pluviométriques exploitées ici : des statistiques de pluies au pas de temps horaire (en fait entre 6 minutes et 192 heures) ne sont disponibles qu'aux stations du Cannet-des-maures (Le Luc) et d'Hyères.

Poste	Altitude	Période	Pluie journalière	Pluie horaire
Toulon	23 m	Depuis 1936	x (depuis 1895)	
Le Cannet des Maures	80 m	Depuis 1946	x	x
Hyères	2 m	Depuis 1959	x	x
Collobrières	128 m	Depuis 1950	x	
Cuers	72 m	Depuis 1950	x	
Méounes-les-Montrieux	309 m	Depuis 1973	x	
Bormes	88 m	Depuis 1973	x	

Tableau 4 : Stations pluviométriques du bassin versant du Gapeau utilisées dans l'étude

4. ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

4.1. EXPRESSION DES BESOINS

Les études antérieures se sont appuyées sur des approches qui apparaissent insuffisantes au plan de l'analyse pluviométrique, utilisant surtout des valeurs statistiques anciennes de pluies journalières régionales ou au niveau de quelques postes pluviométriques, donnant une indication sur des pluies locales non représentatives de l'ensemble du bassin versant.

La méthode d'analyse hydrologique développée ici, plus complète et plus précise, est essentiellement fondée sur une modélisation détaillée des bassins et sous-bassins versants utilisant le plus possible de données et d'informations issues d'un travail d'enquêtes et de mesures sur le terrain mais qui suppose de bien appréhender les éléments caractéristiques de la pluviométrie à l'origine des crues sur ce territoire : le bénéfice d'une modélisation fine serait en effet perdu en cas de simulation de pluies fondées sur des données insuffisantes.

Il est donc apparu nécessaire de mener une analyse pluviométrique pragmatique mais complète, prenant en compte l'ensemble des données disponibles en apportant un traitement et une interprétation de ces données. Cette analyse pluviométrique ne peut donc pas s'appuyer sur les mesures faites aux seules stations à enregistrement journalier ni utiliser des valeurs statistiques régionales sans vérification de leur représentativité pour la zone d'étude.

4.2. METHODE APPLIQUEE

4.2.1. Définition des objectifs

Les objectifs poursuivis ici sont principalement les suivants :

- Etablir des valeurs de référence en termes de pluie journalière et de hauteur de précipitations sur des durées comprises entre 1 et 24 heures pour la zone d'étude.
- Analyser la distribution spatiale ou au moins l'hétérogénéité des fortes pluies afin de juger de la représentativité de pluies statistiques sur une station pluviométrique donnée pour l'ensemble des bassins versants.
- Estimer les valeurs du Gradex des pluies.
- Constituer un jeu de données de pluies sur le bassin versant pour permettre le calage du modèle hydrologique.

Une question récurrente en étude hydrologique est particulièrement abordée ici : il s'agit du « passage » de valeurs statistiques de fortes pluies locales, mesurées ou estimées au niveau d'un simple poste pluviométrique (ici : aux postes du Luc et d'Hyères), à une lame d'eau sur un bassin versant de plusieurs centaines de km², ceci dans l'objectif de construire des pluies de projet pour ce bassin.

L'expérience montre que simuler des pluies homogènes et sans abattement en appliquant des valeurs statistiques sur un ou deux postes à tout un bassin versant génère de fortes surestimations des lames d'eau et donc des débits de crue.

4.2.2. Données et informations utilisées et analyse critique

Les données utilisées dans le cadre de la présente étude, qui ne vise pas à établir un référentiel mais à fixer des valeurs de hyétoigrammes de pluies utilisables dans la modélisation, sont principalement de sept natures ou origines :

- Les lames d'eau au pas horaire ANTILOPE sur le bassin versant du Gapeau pour une trentaine d'événements plus ou moins intenses entre 2008 et 2015 : ces lames d'eau ont été calculées et mises à disposition par le Service de Prévision des Crues Méditerranée-Est (SPC Med-Est) à partir d'images radar et de postes pluviométriques. Le calcul des lames d'eau a été fait non pas de manière homogène sur tout le bassin du Gapeau, mais en distinguant six régions pluviométriques « homogènes » sur lesquelles sont produits des hyétoigrammes spécifiques sous forme de pluies « moyennes » homogènes au pas de temps horaire. Cette approche permet de tenir compte des variations spatiales d'intensités de pluie. En outre, à chaque pas de temps (d'une heure) sont fournies les valeurs minimales et maximales sur chaque pixel, ce qui donne une indication sur l'hétérogénéité spatiale de l'averse. La figure suivante montre ce découpage en six régions pluviométriques « homogènes » utilisé pour le calcul des lames d'eau à partir des images de pluie radar :

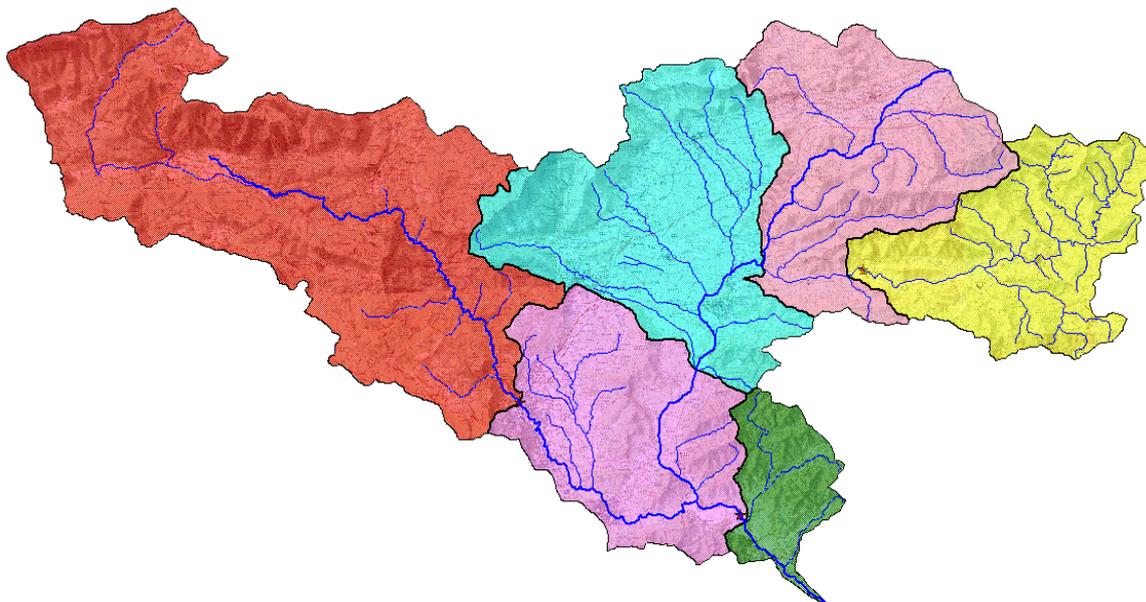


Figure 17 : Découpage du bassin versant du Gapeau en six régions pluviométriques

- Les documents de retour d'expérience relatifs à des événements récents, qui montrent notamment sous forme cartographique la distribution des cumuls de pluie plus ou moins hétérogènes sur le département du Var, notamment pour les événements de juin 2010 et de janvier 2014.
- Les valeurs de cumul de pluie en diverses stations du territoire lors d'événements plus ou moins récents ayant générés des crues du Gapeau ou de ses affluents : ces informations sont toutefois délicates à utiliser car elles ne renseignent pas sur la durée des pluies, ni sur leur distribution spatiale et temporelle et ne peuvent de ce fait que permettre une estimation grossière des volumes de pluies ayant affecté le bassin versant lors de ces épisodes de crue.
- Les quantiles de pluie journalière pour différentes périodes de retour ainsi que les valeurs statistiques de divers paramètres pluviométriques tels que le coefficient de Weiss (rapport entre la pluie en 24 h « glissantes » et la pluie journalière, généralement mesurée chaque jour à 6 h ou encore le coefficient de Montan b, ceci à partir de

données issues de la bibliographie, dont le Référentiel Hydrologique du bassin de l'Argens.

- Les valeurs d'ajustement statistique par loi GEV des pluies journalières sur diverses périodes de retour au niveau de cinq stations pluviométriques : Toulon, Le Cannet-des-Maures (Le Luc), Hyères, Gonfaron et Bormes. Du fait de leurs périodes d'exploitation trop brèves, les autres stations de la zone d'étude ne fournissent pas des échantillons de taille suffisante pour ce type de traitement.
- Les valeurs statistiques produites par Météo France en termes de hauteurs de pluies sur diverses durées (entre 1 h et 24 h) par ajustement sur les maximaux annuels par loi GEV par loi de Gumbel ou par la méthode du Renouvellement sur les postes de Toulon, Le Cannet-des-Maures (Le Luc) et Hyères. Ces valeurs fournissent des ordres de grandeur, mais nécessitent avant exploitation une analyse de leur représentativité pour la zone d'étude.
- Les quantiles de pluies SHYREG proposés par l'IRSTEA sous forme de cartes couvrant la totalité du territoire national. Ces quantiles ont été obtenus par un traitement statistique classique, mais appliqué à un échantillon théorique obtenu en simulant une période de 10 000 ans avec un générateur stochastique de pluie horaire (avec la méthode de Monte-Carlo pour garantir l'indépendance des événements). La méthode a permis de produire une régionalisation des pluies selon une maille de 1 km. L'analyse a été faite en deux étapes :
 - La pluie est décrite par 9 variables pour lesquelles des lois de probabilité ont été calées par une approche adimensionnelle ajustée sur 217 postes. Cette première étape fournit des pluies statistiques locales. C'est la réalisation de « tirage aléatoire » de chacune de ces 9 variables qui utilise la technique de Monte-Carlo.
 - La deuxième étape a consisté à définir une « régionalisation » des pluies statistiques à partir de 3 variables calées sur les pluies journalières (nombre moyen d'événements par saison, moyenne des pluies journalières par saison, moyenne des durées de pluie par événement) : en utilisant 2 812 postes pluviométriques, cette régionalisation a permis de calculer des quantiles de pluies par maille de 1 km, pour des durées de 1 à 72 heures et des périodes de retour de 2 à 100 ans.

Un premier inconvénient de la méthode SHYREG est qu'elle ne fournit pas d'intervalle de confiance. Le deuxième, à moyen terme, est qu'il n'est pas prévu d'actualisation de ce jeu de données.

Par ailleurs, une première comparaison d'une régionalisation par simple krigeage des pluies journalières de périodes de retour de 10, 50 et 100 ans et de la régionalisation SHYREG montre une bonne concordance, sauf pour le Sud-Est de la France où cette dernière prend certainement mieux en compte l'effet important du relief.

En revanche, une deuxième comparaison menée sur 85 postes pluviométriques pour lesquels on dispose d'au moins 25 années de mesures montre que la méthode SHYREG conduit presque toujours à des quantiles plus importants que l'approche statistique, particulièrement pour les périodes de retour supérieures ou égales à 50 ans.

Météo France considère que la méthode SHYREG produit ainsi une surestimation des pluies de durées brèves (moins de 24 heures), surtout pour les grandes périodes de retour.

Enfin, un point essentiel à prendre en compte est que la méthode SHYREG fournit des quantiles de pluie en tout point du territoire national, mais que ces quantiles correspondent à des pluies locales et ne sont pas des quantiles de pluie affectant simultanément un territoire de plusieurs km² : il suffit pour s'en convaincre de constater que la carte des quantiles de pluies journalières à l'échelle de la France ne représente pas la distribution spatiale des pluies affectant le pays entier au cours d'un événement de fréquence centennale !

4.2.3. Traitement et méthode d'exploitation des données

Le traitement des données est détaillé en Annexes 1, 2, 3 et 4 du présent rapport. En résumé, les traitements effectués ont principalement consisté en :

- Une tabulation et une représentation graphiques des lames d'eau ANTILOPE au pas horaire sur le bassin du Gapeau pour une trentaine d'événements pluvieux entre 2008 et 2015, sous forme de tableaux et de graphiques indiquant les cumuls de pluie au pas de temps horaire et journalier, ainsi que les hyétogrammes de la pluie au pas de temps horaire et journalier. Ces valeurs ont ensuite été traitées pour calculer des valeurs moyennes et surtout extraire les valeurs maximales de lames d'eau au pas de temps de 1 h, 2 h, 3h, 6 h, 1 jour, 2 jours et 3 jours. Sans véritable valeur statistique, ces paramètres donnent des ordres de grandeur des maximaux observés au cours des dernières années en termes de lames d'eau de bassins sur diverses durées.
- Les valeurs de pluies journalières supérieures à 60 et à 100 mm observées au niveau de postes de la zone d'étude ont fait l'objet d'un traitement par la méthode du Renouvellement de manière à estimer, quand la qualité de l'ajustement le permet, les valeurs de pluie journalière pour différentes périodes de retour entre 10 et 50 ans, voire de 100 et 300 ans par extrapolation. L'intérêt essentiel de cette analyse est de disposer d'estimation pour d'autres postes que ceux d'Hyères, Le Luc, Toulon, Bormes et Gonfaron afin de définir une fourchette de valeurs probables et de juger d'une certaine hétérogénéité de pluies sur la zone d'étude. Ces éléments ont aussi été utilisés pour estimer des lames d'eau « moyennes » au pas de temps journalier à l'échelle de la zone d'étude. La comparaison de ces lames d'eau moyenne avec les lames d'eau ANTILOPE montrent certains écarts du fait des hypothèses de « régionalisation » des pluies mesurées aux postes pluviométriques : les écarts restent modérés et permettent de considérer ces lames d'eau moyennes comme donnant de bons ordres de grandeur et pouvant être utilisées pour l'analyse éventuelle de crues antérieures à 2008.

Les résultats de traitement sont détaillés en Annexes.

4.3. BILAN DE L'ANALYSE PLUVIOMETRIQUE

4.3.1. Remarques préalables

Il est essentiel ici de s'intéresser à des **pluies de bassin**, c'est-à-dire des pluies de projet à l'échelle du bassin versant du Gapeau : les analyses pluviométriques faites à partir d'un ensemble de postes pluviométriques fournissent des estimations de quantiles de **pluies locales** : il est nécessaire de prendre en compte un effet d'abattement à l'échelle du bassin, pour tenir compte d'une pluie qui n'a pas la même intensité sur tout ce territoire. Des pluies intenses locales ne peuvent être appliquées sans abattement que sur un territoire de faible superficie. En d'autres termes, il est peu probable qu'une pluie de fréquence centennale tombant sur un secteur du bassin versant, avec des valeurs connus par traitement statistique, soit simultanée avec une pluie de même période de retour sur les autres parties du bassin.

Par ailleurs, le traitement statistique doit être fait sur les séries les plus longues possibles si l'on s'intéresse à des périodes de retour élevées, c'est-à-dire dépassant 10 ans : un échantillon doit avoir une taille supérieure à 25 valeurs, ce qui exclut par exemple une estimation des pluies journalières au niveau de postes trop récents ou comportant beaucoup de lacunes de données, comme par exemple à Méounes-les-Montrieux. Il est aussi recommandé d'utiliser la méthode du Renouvellement pour les échantillons de faible taille, ce qui consiste à traiter toutes les données dépassant un seuil (par exemple 60 mm en pluie journalière) plutôt que de traiter uniquement les valeurs maximales de chaque année d'observation. Cette méthode permet donc de traiter un échantillon parfois nettement plus conséquent.

Enfin, la qualité de l'ajustement est le seul critère qui permet de juger de la qualité de l'estimation des pluies de fortes périodes de retour : la qualité n'est pas liée à un alignement sur une droite mais sur une courbe de tendance, que cette courbe d'ajustement soit rectiligne ou non. Un traitement automatique par loi de Gumbel ou autre doit être critiqué avant utilisation des résultats, sachant que ce n'est pas le choix d'une fonction d'ajustement qui fait la qualité de cet ajustement. En particulier, le problème le plus fréquent est celui d'une mauvaise estimation de la période de retour des fortes intensités, ce qui peut conduire à une surestimation des pluies pour des événements rares, comme par exemple au niveau de la station du Luc où l'événement de juin 2015 est utilisé avec une très forte sous-estimation de sa période de retour par le traitement automatique présenté par Météo France. Dans tous les cas, l'analyse critique fondée sur la réalité physique des événements et non sur des théories d'ajustement mathématique est à mener.

4.3.2. Pluies journalières

L'analyse des pluies journalières a été faite au moyen d'ajustements par loi GEV sur cinq postes de la zone d'étude. La qualité de ces ajustements est assez différente d'un poste à l'autre, comme cela apparaît sur les graphiques d'ajustement reproduits en Annexe 1.

Le tableau de synthèse de valeurs statistiques remarquables permet de comparer les valeurs d'un secteur à l'autre, mais aussi en fonction de la méthode de traitement statistique : ce tableau est reproduit ci-après. Les valeurs affichées sont les valeurs moyennes, alors que les valeurs entre parenthèse décrivent l'intervalle de confiance à 70 % de ces valeurs moyennes.

Poste pluviométrique	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Toulon (1)	91	106 (96-118)	120	143	171 (149-201)
Toulon (3)	99 (90-116)	120 (104-141)	139 (119-167)	163 (137-202)	
Toulon (4)	99 (82-116)	115 (94-136)	130 (106-155)	150 (121-179)	165 (132-198)
Le Luc (1)	101	122 (113-134)	150	174	199 (178-227)
Le Luc (3)	106 (97-121)	124 (110-145)	140 (122-168)	162 (138-199)	
Le Luc (4)	109 (89-129)	125 (101-150)	141 (112-170)	161 (127-195)	176 (138-215)
Hyères (2)	98 (91-104)	117 (108-126)	136 (122-149)	160 (139-181)	179 (151-208)
Gonfaron (1)	117	124 (113-138)	141	157	195 (171-230)
Gonfaron (2)	109 (104-114)	125 (118-131)	138 (130-147)	154 (142-166)	164 (149-180)
La Roquebrussanne (1)	128	154 (138-177)	190	227	252 (216-308)
Bormes (1)	128	154 (137-178)	164	192	250 (213-311)
Bormes (2)	126 (118-134)	146 (135-157)	166 (150-182)	191 (167-216)	211 (178-244)

(1) Ajustement par loi GEV selon le Référentiel Hydrologique du Bassin de l'Argens

(2) Ajustement par loi GEV selon Météo France

(3) Ajustement par loi de Gumbel

(4) Ajustement par la méthode du Renouvellement

Tableau 5 : Valeurs statistiques des pluies journalières avec intervalle de confiance à 70 %

Ce tableau met en évidence :

- une certaine influence de la méthode d'ajustement statistique, les valeurs estimées étant sensiblement différentes selon l'auteur et selon la méthode employée. En première approche, on peut considérer que les méthodes donnent des valeurs qui varient de l'ordre de 6 à 8 % pour les pluies journalières de fréquence quinquennale à centennale selon la méthode de traitement.
- Des pluies journalières assez différentes d'un secteur à l'autre, sans qu'une règle géographique certaine puisse être énoncée : il semblerait qu'il existe sur le secteur du bassin versant du Gapeau des sites susceptible de revoir des pluies journalières plus intenses du fait du relief. C'est ainsi que les valeurs statistiques semblent montrer des pluies comparables sur l'ensemble du bassin versant, mais avec valeurs un peu plus forte dans le nord de la plaine de Cuers que près de la côte, et avec des valeurs sensiblement plus fortes sur le secteur de Bormes et plus encore sur le secteur de La Roquebrussanne. Il est probable que des valeurs plus fortes affectent ainsi la partie amont du bassin du Gapeau et le bassin du Réal Collobrier.
- Un rapport de l'ordre de 1,45 à 1,65 entre les pluies journalières de fréquence centennale et décennale mais qui ne doit être utilisé que pour des pluies d'une telle durée. Un rapport plus élevé peut en effet s'observer sur des pluies brèves, d'une durée de l'ordre d'une heure.

En considérant la représentativité des postes pluviométriques exploités, des valeurs moyennes de pluies journalières locales, c'est-à-dire pouvant affecter n'importe quel point du bassin versant du Gapeau, peuvent être proposées :

Pluie locale sur un secteur du bassin versant du Gapeau	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Minimum	100 mm	120 mm	130 mm	150 mm	170 mm
Moyenne	110 mm	135 mm	150 mm	170 mm	210 mm
Maximum	130 mm	155 mm	170 mm	210 mm	250 mm

Tableau 6 : Valeurs statistiques des pluies journalières locales en tout point du bassin versant du Gapeau

Remarque : les valeurs proposées dans ce tableau correspondent aux valeurs obtenues par ajustement statistique, sans tenir compte des intervalles de confiance de ces ajustements.

En première analyse, les valeurs maximales peuvent représenter les quantiles de pluies journalières sur les secteurs le plus « arrosés » du bassin, alors que les valeurs moyennes sont représentatives à l'échelle du bassin versant dans son ensemble.

A titre indicatif, les deux figures suivantes montrent sous forme cartographique les valeurs des pluies journalières de fréquences décennale et centennale respectivement sur l'ensemble du bassin versant de l'Argens, voisin immédiat du bassin du Gapeau :

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.

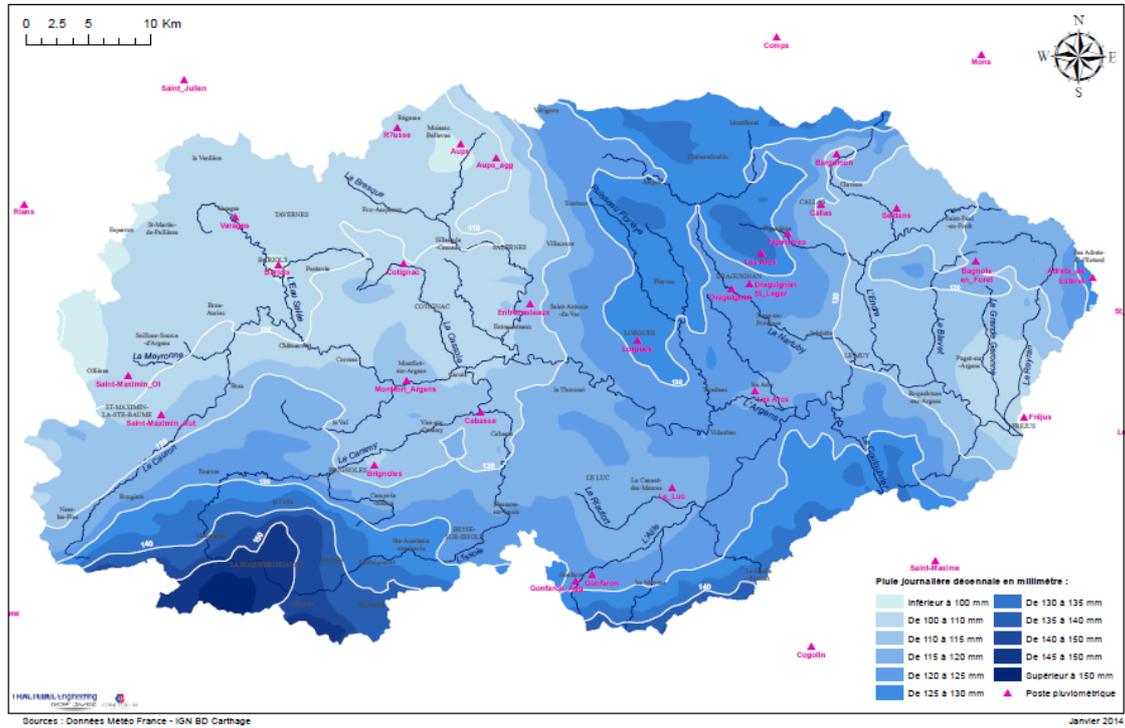


Figure 18 : Pluies journalières de fréquence décennale sur le bassin de l'Argens

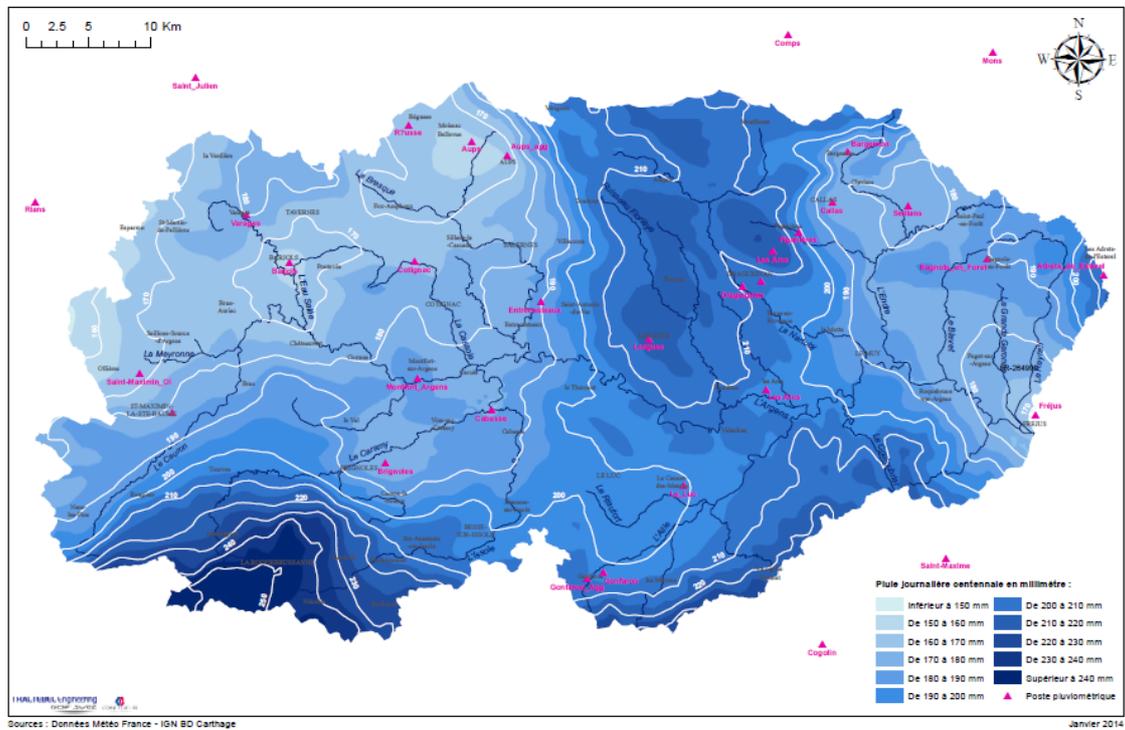


Figure 19 : Pluies journalières de fréquence centennale sur le bassin de l'Argens

Ces figures indiquent des valeurs de pluies journalières pour la partie Nord du bassin du Gapeau de l'ordre de 140 mm en fréquence décennale et de l'ordre de 230 mm en fréquence

centennale : ces valeurs sont comparables aux valeurs proposées plus haut, quoi que légèrement supérieures du fait de l'influence du relief induisant des valeurs élevées de pluviométrie sur le secteur de La Roquebrussanne particulièrement.

De ces valeurs ont aussi été déduits les Gradex des pluies journalières :

Site	Valeur min.	Valeur moyenne	Valeur max.
Bassin du Gapeau	21 mm	32 mm	40 mm

Tableau 7: Gradex des pluies journalières locales sur le bassin versant du Gapeau

La forte dispersion des valeurs obtenues conduit à ne considérer ces valeurs de Gradex des pluies journalières que comme des ordres de grandeur et assez peu précises. Ce point est justifié par l'assez forte hétérogénéité des pluies sur la zone d'étude, tant pour des pluies brèves que pour des pluies longues, avec en outre une assez forte imprécision sur la valeur des pluies journalières de fréquence centennale du fait de la taille réduite des échantillons traités.

4.3.3. Quantiles de pluies sur des durées inférieures à un jour

Les quantiles de pluies sont les valeurs de cumul de précipitations pour différentes durées entre 1 et 24 heures et de diverses périodes de retour statistique, considérant que la plupart des bassins versants étudiés ici ont des temps de réponse nettement inférieurs à la journée.

Les valeurs statistiques de pluies locales de faibles durées sont délicates non seulement à déterminer mais aussi à exploiter pour estimer des lames d'eau de bassin. Ce n'est qu'au niveau de stations pluviométriques pour lesquelles on dispose de périodes d'observations longues et de données à enregistrement continu (ou plutôt : au pas de 6 minutes) que ces quantiles peuvent être calculés. Ces deux critères réduisent fortement le nombre de postes exploitables pour estimer les quantiles de pluies sur des durées de 1 à 24 heures. En fait, on dispose :

- D'ajustements statistiques effectués par Météo France sur un nombre limité de postes par la méthode du Renouveau ou par d'autres loi traitant les maximaux annuels (loi de Gumbel ou plus récemment loi GEV).
- De quantiles régionalisés SHYREG, construits à partir de ces mêmes données (mais non actualisés).

Dans les deux cas, il s'agit ici d'utiliser ces données en tant qu'ordres de grandeur de quantiles de pluies locales, considérant que les pluies sont généralement hétérogènes sur le bassin, mais que les données disponibles ne permettent pas d'estimer de manière fiable des quantiles sur des durées courtes en tout point du bassin versant, puisqu'une comparaison ne peut être faite qu'au niveau de quelques postes et sur des pluies journalières.

Il est alors plutôt proposé ici de considérer que les pluies intenses sur de faibles durées (de 1 à 24 heures) que l'on peut estimer par ajustement statistique au niveau des postes pluviométriques de Toulon, Hyères et Le Luc sont susceptibles de tomber en tout point du bassin versant avec des fréquences apparentes comparables.

Par ailleurs, les valeurs de pluies de bassin peuvent ensuite être obtenues soit par application d'une formule d'abattement comme il en existe beaucoup dans la littérature, qui expriment le fait que la pluie moyenne sur un territoire se calcule à partir de pluies locales et d'une puissance (souvent 0,5) de la surface de ce territoire, soit par construction de « pluies moyennes » par analogie avec des événements mesurés au cours des dernières années par lame d'eau ANTILOPE, considérant qu'une trentaine d'événements récents plus ou moins intenses ont été analysés ici.

Les ordres de grandeur de quantiles de pluies locales et de pluies de bassins (en tant que régions pluviométrique telle que cartographiées plus haut) retenus sont les suivants, en considérant que certains sites tels que La Roquebrussanne, non représentatifs du bassin versant, peuvent recevoir des quantiles plus importants :

Site	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Local	45	53	61	70	88
Bassin	38	43	51	59	70

Tableau 8 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de **1 heure** sur le bassin versant du Gapeau

Site	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Local	52	61	69	76	102
Bassin	47	56	63	71	92

Tableau 9 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de **2 heures** sur le bassin versant du Gapeau

Site	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Local	65	75	93	110	125
Bassin	60	71	87	102	108

Tableau 10 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de **3 heures** sur le bassin versant du Gapeau

Site	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Local	82	94	110	131	145
Bassin	70	87	102	120	130

Tableau 11 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de **6 heures** sur le bassin versant du Gapeau

Site	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Local	107	124	146	170	200
Bassin	92	112	132	148	172

Tableau 12 : Quantiles de pluie de projet d'une durée de **12 heures** sur le bassin versant du Gapeau

Site	Période de retour				
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Local	127	150	178	220	270
Bassin	115	138	159	195	225

Tableau 13: Quantiles de pluie de projet d'une durée de **24 heures** sur le bassin versant du Gapeau

NB : les valeurs retenues pour les pluies locales sont de l'ordre de grandeur des pluies quantiles SHYREG que nous avons consultées.

Selon ces valeurs, les lames d'eaux maximales calculées sur les bassins versant du Gapeau pour l'événement de janvier 2014 à partir d'images de pluie radar auraient des périodes de retour de :

- 5 ans pour la pluie maximale enregistrée en 1 heure sur le secteur du Réal Collobrier,
- 60 à 70 ans pour la pluie maximale enregistrée en 2 heures sur le bassin amont du Réal Martin,
- 50 ans pour la pluie maximale enregistrée en 3 heures sur ce même secteur,

- Un peu plus de 50 ans pour la pluie maximale en 6 heures enregistrée sur ce secteur de l'amont du bassin du Réal Martin,
- Environ 5 à 8 ans seulement en moyenne à l'échelle de tout le bassin versant du Gapeau pour la pluie de durée 6 heures, ce qui montre l'importance de tenir compte de la distribution spatiale et temporelle des pluies.

Remarque : les valeurs de quantiles ainsi obtenues sont proches de pluies de projet calculées en application du Référentiel Hydrologique du bassin de l'Argens appliqué au cas de sous-bassins versants de l'Aille sur sa partie Sud et du bassin de l'Issole, qui sont voisins du bassin versant du Gapeau.

5. ANALYSE HYDROLOGIQUE

5.1. METHODE D'ANALYSE

5.1.1. Principes de la méthode d'analyse hydrologique

La méthode d'analyse hydrologique développée ici vise en fait deux objectifs :

- L'établissement d'une base de connaissance du fonctionnement hydrologique du bassin du Gapeau, ainsi que de ses principaux affluents en période de crue ;
- Le développement d'un outil de modélisation de ce bassin versant et de ses sous-bassins destiné d'une part à évaluer les débits et les volumes de crue pour différents périodes d'occurrence en divers points du territoire, d'autre part à estimer l'efficacité hydrologique des aménagements qui pourront être envisagés pour réduire le risque d'inondation. En ce sens, cet outil est nécessairement un outil évolutif. En outre, le modèle mathématique pourra être exploité pour sélectionner l'emplacement de futures stations hydrométriques, pour constituer l'outil d'analyse des crues en lien avec de futurs systèmes locaux d'alerte et éventuellement être utilisé dans les calculs de prévision des crues du Gapeau.

Il est évident que l'outil de modélisation hydrologique et de simulation de crues doit s'appuyer tout d'abord sur une analyse poussée du fonctionnement hydrologique actuel de manière à disposer d'une base de données étoffée nécessaire à l'estimation des paramètres de modélisation et au calage du modèle.

5.1.2. Données disponibles et validité

Les données hydrologiques disponibles sur le bassin versant du Gapeau ont été utilisées en prenant en compte à la fois les stations en service et les stations hors service.

Considérant les périodes d'exploitation de ces stations, 41 événements de crue ont été extraits de la banque HYDRO pour chacune des stations où ces données sont disponibles, de manière à analyser les hydrogrammes, mesurer leurs paramètres descriptifs et estimer les temps de propagation des crues pour de cours d'eau disposant de plusieurs stations hydrométriques le long de leur cours.

Pour les événements récents, entre 2008 et 2015, pour lesquels on dispose du calcul de lame d'eau secteur par secteur produit par le SPC MedEst, les hydrogrammes permettent un calcul de volume de crue pour le comparer au volume de pluie mais aussi une estimation du temps de réponse global des bassins versants jaugés.

Par ailleurs les débits maximaux instantanés et journaliers de chaque année d'observation permettent un ajustement statistique pour l'estimation de ces débits pour diverses périodes de retour. Il faut toutefois noter que si la courbe de tarage de la station de Solliès-Pont sur le Gapeau est considérée comme faible, celle de la station de La Crau – Decapris sur le Réal Martin est douteuse en crue débordante. Une nouvelle courbe de tarage a été élaborée récemment par la DREAL pour la station d'Hyères – Sainte-Eulalie sur le Gapeau, considérant qu'une partie du débit contourne la station pour des crues dont la période de retour dépasse 10 à 20 ans, mais les débits des crues passés n'ont pas été recalculés.

Pour mémoire, nous avons aussi utilisé des données de débits sur de petits bassins versants du secteur du Réal Collobrier, ces cours d'eau ayant fait l'objet d'un suivi scientifique par le CEMAGREF-IRSTEA durant une vingtaine à une trentaine d'années.

5.1.3. Méthode d'identification de paramètres hydrologiques

L'analyse des données disponibles a été faite essentiellement à partir des enregistrements de débit au niveau de stations en service ou non. A partir des données issues de mesures, en particulier les estimations de débits maximaux et des hydrogrammes de crues récentes, les traitements effectués ont consisté à identifier les paramètres qui caractérisent la réponse hydrologique des bassins versants ; il s'agit en l'occurrence des paramètres et traitements suivants :

- **Les taux de ruissellement** pour divers événements de crue : cette analyse est faite en calculant le ratio entre le volume écoulé au droit de stations hydrométriques (y compris la décrue et le ressuyage, en déduisant le volume correspondant au débit de base) et la lame d'eau de pluie, estimée comme le produit de la hauteur de précipitation sur la durée considérée et de la surface du bassin versant. Le taux de ruissellement varie d'un événement à l'autre en fonction de la pluviométrie antérieure et de l'intensité de l'averse. En outre, l'expérience montre que ce taux de ruissellement dépend de facteurs naturels tels que la géologie et le relief, de l'occupation des sols, mais aussi de la densité du réseau hydrographique surtout si ce dernier a été artificialisé. Ces paramètres ne peuvent donc pas être estimés sur la seule base de cartes de géologie et de couverture végétale des sols. Il est à noter que l'exploitation des données en volume permet de s'affranchir en partie des erreurs liées à la faible fiabilité des courbes de tarage, l'erreur éventuellement forte sur les débits en période de débordement étant proportionnellement nettement moins importantes sur les volumes qui sont calculés sur toute la durée de la crue, y compris hors des période de fort débordement.
- **Les temps caractéristiques** des bassins versants, en particulier le temps de montée des crues aux stations hydrométriques, les temps de décrue, les durées de ressuyage, mais aussi les temps de réponse (« lag times ») mesurant le délai entre le moment où l'averse est intense et le moment où le débit atteint son maximum. En pratique, ces paramètres dépendent des caractéristiques morphométriques des bassins versants, mais aussi des conditions hydrologiques propres à l'événement, de sorte que l'analyse fournit des fourchettes de valeurs plutôt que des valeurs fixes et précises. Cette remarque doit par ailleurs conduire à considérer avec prudence les estimations fournies par les très nombreuses formules statistiques présentées dans la littérature pour estimer ces paramètres, qui utilisent essentiellement (voire uniquement) la surface, la longueur et la pente du bassin versant.
- **Les vitesses de variation des débits** représentatives du fonctionnement hydrologique actuel, en l'occurrence les vitesses de montée des débits (en montée de crue), les vitesses de décrue et les vitesses de ressuyage ; alors que le premier paramètre est relativement fixe d'un événement à l'autre, les deux autres dépendent fortement non seulement de la répartition des pluies dans le temps et l'espace (surtout pour la vitesse de décrue), mais aussi de « l'importance » de la crue, et particulièrement des volumes d'expansion dans les plaines inondables (surtout pour la vitesse de ressuyage). Il en découle que la durée des crues peut varier fortement d'un événement à l'autre et explique

aussi que la plupart des modèles hydrologiques tendent à sous-estimer la durée des crues.

- **Le rapport entre débit de pointe et débit au moment du passage de la phase de décroissance à celle du ressuyage** : ce paramètre correspond à un point d'inflexion dans l'hydrogramme, c'est-à-dire au moment où cette courbe change de sens de concavité. Il mesure en fait « l'inertie » de la vallée en crue et indique si la plaine inondable est fortement drainée ou à l'inverse restitue lentement et de manière différée les volumes débordés.
- **Les corrélations entre stations hydrométriques** sont à rechercher d'une part pour vérifier la cohérence des données, d'autre part pour analyser les conditions de propagation des crues, notamment en termes de célérité d'onde de crue. Par ailleurs, les tests de corrélation peuvent permettre d'analyser les lacunes dans le système global de métrologie (notamment un déficit en station sur des secteurs d'apports importants) et surtout de déterminer des méthodes simples d'évaluation des débits à une station en fonction de mesures sur d'autres stations en amont. Cette approche peut donner des résultats satisfaisants dans le cas de vallées marquées par de faibles capacités d'écrêtement des crues, la propagation se faisant alors de manière homogène d'une crue à l'autre. Le type de corrélation recherchée concerne des valeurs spécifiques de paramètres (débit de pointe, taux de ruissellement...), c'est-à-dire par unité de surface de bassin versant.

Ce travail de traitement et d'analyse des données est nécessaire pour construire un modèle hydrologique fiable et pour analyser correctement le fonctionnement hydrologique du bassin versant du Gapeau considérant d'une part que les données disponibles restent en partie douteuses et renseignent surtout sur le fonctionnement global des bassins versants et non leur fonctionnement détaillé (étant placées à l'aval de ces bassins), d'autre part que le bassin versant est très hétérogène au plan hydrologique : des paramètres établis pour une partie de ce bassin ne peuvent pas être appliqués aux autres parties de ce bassin.

5.1.4. Interprétation et synthèse des paramètres hydrologiques

L'interprétation des résultats de l'analyse hydrologique préalable est donc fondée sur le traitement des données de suivi pluviométrique et débitométrique d'une part, sur la détermination des caractéristiques principales des bassins versants d'autre part. Cette interprétation consiste à expliquer les phénomènes identifiés et à les associer à des paramètres hydrologiques globaux relatifs aux bassins versants. En particulier, elle doit mettre en évidence des fonctionnements différents d'un sous-bassin à l'autre, commenter les temps de réponse et de propagation des crues, ainsi que la forme des hydrogrammes et les volumes de ruissellement.

Enfin, dans l'objectif de préparer les données nécessaires à la modélisation hydrologique, une synthèse des valeurs des paramètres correspondant doit être faite selon les formats employés dans cette modélisation.

5.1.5. Construction du modèle hydrologique

La modélisation hydrologique du bassin versant du Gapeau a été faite au moyen du logiciel HEC-HMS (version 3.5). Ce bassin versant est lui-même divisé en sous-bassins représentant soit les affluents, soit les « tronçons » successifs de cours d'eau considéré, de manière à simuler des crues et pouvoir extraire des hydrogrammes de projet au niveau de sites d'enjeu tels que des zones urbaines ou encore des Zones d'Expansion des Crues (ZEC), des points de confluence ou encore des postes hydrométriques pour le calage et la vérification du modèle.

Le modèle hydrologique est destiné à calculer plus particulièrement :

- l'hydrogramme formé par le ruissellement sur chacun des sous-bassins par transformation dite « pluie – débit » et pour divers scénarios de pluie ;

- le débit cumulé du fait des différents apports, dont les maxima ne sont pas nécessairement simultanés ;
- la propagation des crues le long des principaux cours d'eau, l'étalement des eaux et la présence de zones d'expansion de crue pouvant générer un effet d'inertie et d'amortissement dans les vallées. Ce point est particulièrement vrai pour les vallées longues et larges telles que celle du Réal Martin.

La modélisation hydrologique doit ainsi permettre de simuler des pluies réalistes, statistiques ou mesurées, sur chacun des sous-bassins versants, puis calculer la réponse hydrologique de chaque entité (chaque sous-bassin) et du bassin versant dans sa globalité.

Dans le cas du présent projet, la modélisation hydrologique a été menée en suivant trois objectifs spécifiques :

- Améliorer la connaissance du fonctionnement hydrologique du Gapeau et de ses affluents ; du fait de l'absence de suivi hydrométrique de la partie amont de ces cours d'eau et des apports conséquents de la plaine de Cuers, mais aussi du fait d'un besoin en connaissance et modélisation pour implanter de futures stations hydrométriques et le cas échéant intégrer cet outil de modélisation dans un système d'alertes locales, voire de prévision des crues, ce sont en fait deux modèles hydrologiques qui ont été construits pour le bassin du Gapeau, avec un modèle représentant les principaux cours d'eau, et un modèle détaillé représentant près d'une centaine de sous-bassins versants. Le premier a fait l'objet d'un calage des paramètres régionaux ; le second est destiné à l'estimation des débits et volumes de crue au droit de ZC et de zones d'enjeux répartis sur le territoire et concernés par des cours d'eau secondaires du réseau hydrographique.
- Estimer les débits de crue pour différentes périodes de retour d'événements pluvieux, au droit des zones d'enjeux et au niveau des confluences, afin de permettre d'éventuelles simulations hydrauliques le long du Gapeau et de ses principaux affluents à des fins de dimensionnement d'éventuels aménagements de réduction de l'aléa. De telles simulations hydrauliques pourraient aussi permettre de définir et cartographier l'inondation. Dans ce cadre, le modèle hydrologique couplé avec un modèle hydraulique des vallées pourrait permettre de déterminer la fréquence de débordement secteur par secteur mais aussi fournir les débits et volumes en jeu dans ces zones de débordement (tels que le Plan du Pont par exemple) ;
- Permettre à terme l'intégration du modèle hydrologique dans un dispositif de prévision et de suivi des crues, en injectant des données de pluies mais aussi des informations de niveau et de débit en début d'événement à partir de stations qu'il est prévu de mettre en place sur le territoire. Le modèle hydrologique est donc appelé à devenir un outil de simulation pour l'aide à la gestion du risque par prévision des crues en complément de dispositifs d'alerte fondé sur des niveaux de référence.

La modélisation hydrologique doit donc s'appuyer sur une analyse fine du fonctionnement hydrologique réel des bassins versants en période de crue, puis permettre de préciser cette analyse en fournissant des évaluations des paramètres hydrologiques en tout point du modèle, notamment sur les cours d'eau non jaugés et sur des points intermédiaires entre stations de suivi hydrométrique. En outre, l'objectif d'intégration à terme dans des systèmes locaux d'alerte aux inondations, voire dans un système de prévision des crues conjointement avec un réseau de mesures en partie existant nécessitera une évolution du modèle hydrologique : la version actuelle est par conséquent appelée à évoluer en l'améliorant à partir de mesures qui seront faites sur les prochaines crues.

5.1.6. Constitution de scénarios pluviométriques

Chaque modèle hydrologique intègre la modélisation des bassins versants (de manière simple pour l'un, détaillée pour l'autre), mais aussi des scénarios de pluie déterminés à partir de pluies

réelles (représentées par des lames d'eau calculées à partir d'images radar pour une trentaine d'événements récents) et de pluies de projets associées à diverses périodes de retour ou probabilités d'occurrence (construites à partir des quantiles statistiques calculés comme détaillé plus haut).

La constitution de scénarios climatiques, c'est-à-dire de pluies de projet décrites par leurs hyétoigrammes, suppose d'une part la connaissance de valeurs statistiques sur les différentes zones homogènes du bassin versant, d'autre part le choix d'une durée d'averse en rapport avec le temps de réponse des sous-bassins versants sur les zones d'intérêt : ici, il a été choisi de retenir des pluies de projet décrites au pas horaire, ce qui est en rapport avec les temps de réponses des principaux sous-bassins versants modélisés, mais aussi avec les données de pluie disponible (y compris les lames d'eau issues de l'imagerie radar). Les débits calculés à l'exutoire de petits sous-bassins versants en simulant une « crue centennale » par exemple seront donc les contributions de ces sous-bassins à la crue centennale du Gapeau, pas les débits de crue centennale de chacun de ces petits sous-bassins ; pour estimer ces débits, il faudra simuler des pluies brèves affectant ce petit territoire.

Pour les besoins de compréhension du fonctionnement hydrologique, comme pour les attentes en termes de scénarios hydrologiques pour les études du PAPI à venir sur le bassin du Gapeau, les périodes de retour d'événements prises en comptes sont de 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans, 100 ans et 1 000 ans (considéré comme événement exceptionnel).

5.1.7. Prise en compte de la distribution des pluies dans la modélisation hydrologique

Dans le cadre de la modélisation hydrologique du bassin versant du Gapeau, la précision de la représentation des pluies est un facteur particulièrement important : la comparaison de simulations de plus d'une vingtaine d'événements récents confirme que, malgré un calage et une fiabilité jugée comme bonne du modèle hydrologique construit pour le SMBVG, un écart important entre débits mesurés et calculés apparaît pour certains événements marqués par une forte hétérogénéité des pluies sur le territoire. Une représentation « simplifiée » des pluies peut générer un écart non seulement en termes de débits maximaux, de volumes mais aussi de cinétique des crues ; l'imprécision potentielle de représentation des pluies s'ajoute alors à l'imprécision inhérente à toute modélisation hydrologique.

Dans le cadre de la mission 2 de l'étude, nous avons bénéficié d'une représentation de la pluie sur près d'une trentaine d'événements récents dont ceux de fortes crues du Gapeau et ses principaux affluents, ceci à partir de lames d'eaux calculées sur six « régions pluviométriques » rappelées sur la figure suivante :

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.

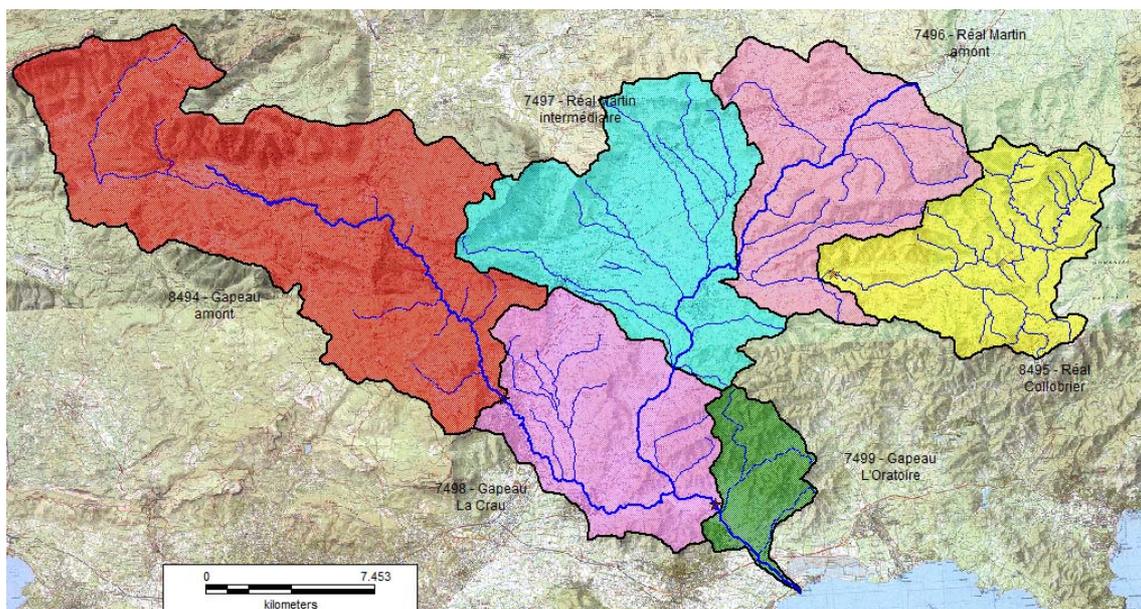


Figure 20 : Régions pluviométriques du bassin versant du Gapeau

Ce découpage a été défini en concertation avec le SPC MedEst, qui a volontairement effectué les calculs de lame d'eau sur chacune de ces régions pour les 29 événements sélectionnés. Cette représentation est très nettement supérieure en qualité que celle qui consiste à identifier une pluie moyenne homogène sur le bassin versant.

Elle introduit néanmoins une inévitable simplification de la réalité, marquée lors de certains événements par une distribution géographique extrêmement hétérogène. Il suffit pour s'en convaincre de suivre la valeur de l'écart entre lame d'eau moyenne, valeur minimale et valeur maximale sur chacune des régions pluviométriques. A titre d'exemple, le tableau suivant indique, pour la région pluviométrique 7496 « Réal Martin amont », le cumul de pluies calculé à partir de la lame d'eau horaire moyenne, le cumul des pluies minimales et des pluies maximales, considérant que la valeur minimale (ou maximale) enregistrée sur la région pluviométrique n'affecte pas nécessairement le même site à chaque pas de temps, de sorte que le cumul des valeurs minimales n'est pas la pluie minimale tombée sur un même point de la région étudiée. Dans ce tableau sont aussi indiquées les valeurs les plus fortes pour la lame d'eau horaire moyenne, pour la lame d'eau minimale et la lame d'eau maximale en une heure. Ce tableau concerne trois événements récents de crue : décembre 2008, novembre 2011 et janvier 2014.

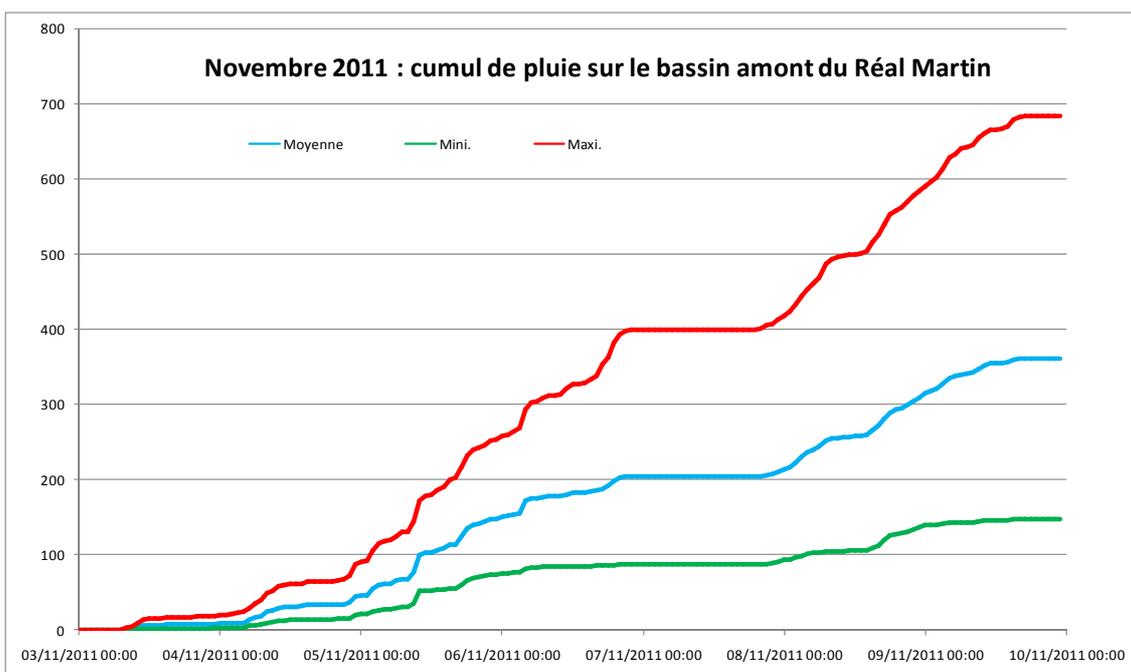
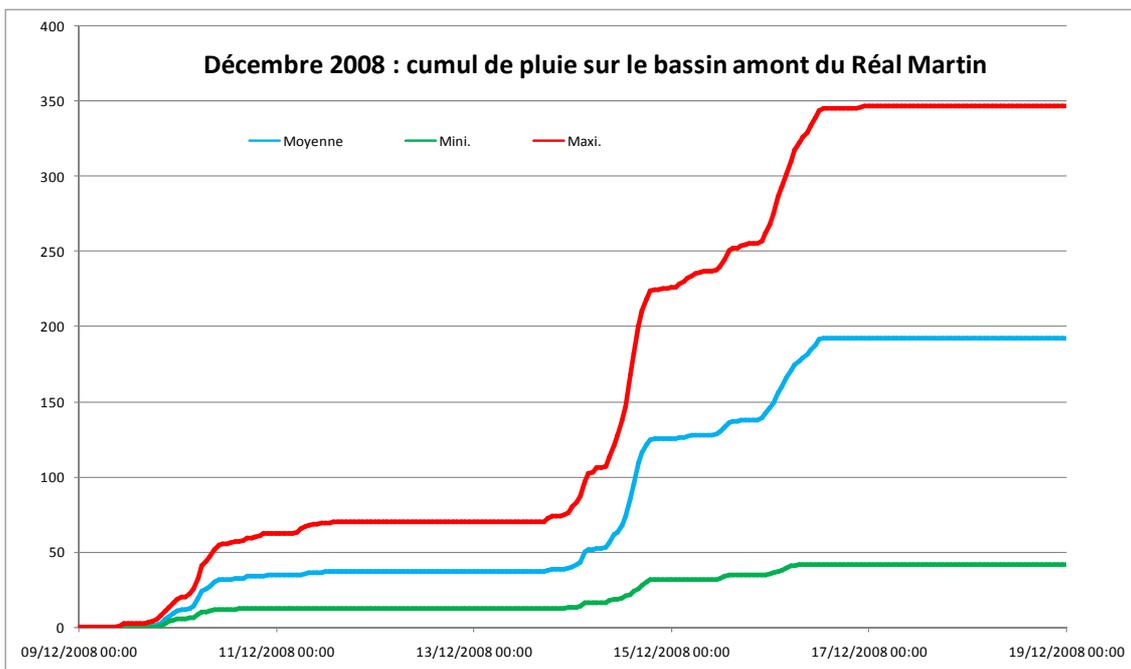
Evénement	Lame d'eau moyenne / maximum horaire	Cumul des valeurs minimales / maximum horaire	Cumul des valeurs maximales / maximum horaire
9 – 18 décembre 2008	192 mm / 14,1 mm	42 mm / 2,4 mm	347 mm / 20,5 mm
3 – 9 novembre 2011	362 mm / 22 mm	147 mm / 17,1 mm	684 mm / 28,5 mm
16 – 19 janvier 2014	224 mm / 16,5 mm	114 mm / 9,6 mm	412 mm / 37,2 mm

Tableau 14 : Ecart entre pluie moyenne et valeurs minimales / maximales sur le bassin amont du Réal Martin

On constate que la lame d'eau moyenne est en général très différente du cumul des valeurs minimales et maximales mesurées à chaque pas de temps sur la zone couverte ; on note aussi que l'écart entre les valeurs la plus forte de pluie horaire parmi les valeurs moyenne sont aussi nettement différentes des valeurs les plus fortes extraites de la séries des pluies horaires

minimales et maximales mesurées, avec cependant des écarts qui varient sensiblement d'un événement à l'autre. Ces points traduisent, pour des pluies à l'origine de crues notables, une hétérogénéité souvent forte même à l'échelle du bassin amont du Réal Martin, c'est-à-dire sur des territoires de quelques dizaines de km². Il est donc clair que les fortes pluies sont rarement homogènes à l'échelle du bassin versant du Gapeau.

Afin d'illustrer cette distribution hétérogène des pluies sur une même « région pluviométrique », les graphiques suivants montrent l'évolution de l'écart entre cumul de lame d'eau moyenne, cumul des valeurs minimales et cumul des valeurs maximales :



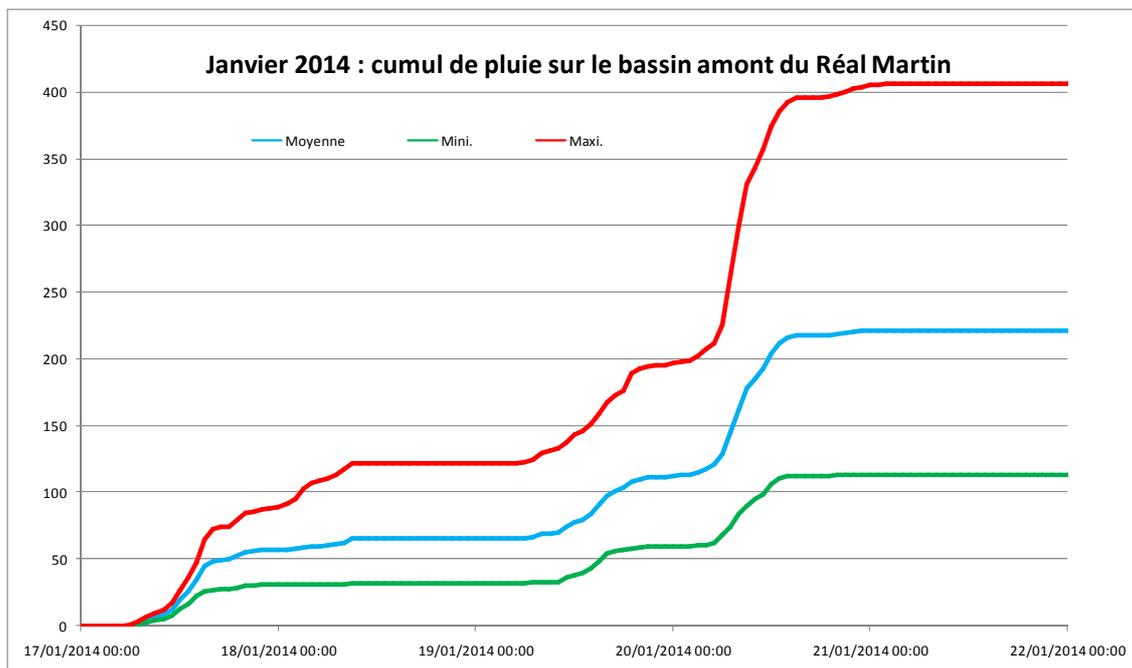


Figure 21 : Ecart entre cumul des moyennes, des valeurs minimales et maximales de pluie horaire

Il ressort donc de cette analyse que toute modélisation hydrologique du bassin du Gapeau, outre les imprécisions liées à ses hypothèses de modélisation, restera fortement dépendante des hypothèses de distribution spatiale des pluies sur ce territoire relativement vaste car le relief, la direction principale des vents et autres paramètres naturels induisent généralement une assez forte hétérogénéité des fortes pluies.

5.1.8. Importance de l'hétérogénéité spatiale des pluies

Cette hétérogénéité dans la distribution géographique des pluies s'observe :

- En analysant la fourchette de valeurs de pluies horaires sur chacune des régions pluviométriques : le SPC a calculé, pour chacun des 29 événements analysés, sur chaque région et pour chaque heure de la période d'observation, une hauteur moyenne de précipitation sur cette région, et fournit aussi les valeurs minimales et maximales. Les éléments présentés au paragraphe précédent illustrent ce point.
- En comparant les lames d'eau moyennes cumulées sur la durée de chacun des événements analysés et qui ont été calculées sur chacune des six régions pluviométriques : cette comparaison montre qu'outre l'hétérogénéité des pluies sur une même région pluviométrique, il existe une forte incidence de la distribution spatiale des pluies sur les lames d'eau moyennes calculées au pas horaires sur ces six régions couvrant le bassin du Gapeau.

En pratique, on constate pour de très nombreux événements de fortes précipitations que les lames d'eau moyennes de pluies estimées varient assez fortement d'une région pluviométrique à l'autre. Cette variation spatiale a tout d'abord été analysée en comparant les cumuls de pluie calculés pour près d'une trentaine d'événements récents : le graphique suivant traduit cet effet de la distribution spatiale des pluies sur le bassin du Gapeau.

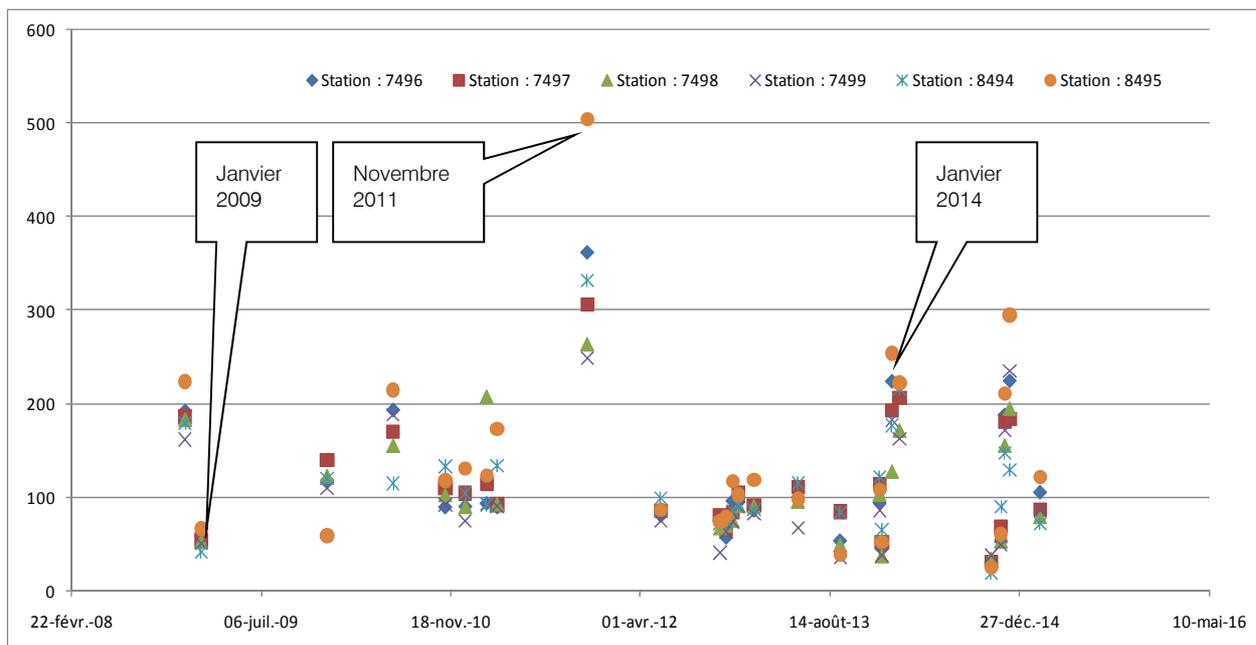


Figure 22 : Importance de la distribution spatiale des pluies sur les lames d'eau moyennes cumulées

Pour certains événements, comme par exemple en janvier 2009, les six régions reçoivent des valeurs proches de cumul de pluie ; en revanche, ces cumuls varient souvent du simple au double selon le secteur du bassin versant du Gapeau come par exemple en novembre 2011 ou en janvier 2014.

Grâce au travail de calcul des lames d'eau moyenne par région pluviométrique lors de ces différents événements, cette distribution spatiale des pluies entre régions a bien été prise en compte dans la modalisation des événements récents.

La question qui se pose est alors la suivante : comment tenir compte de cette hétérogénéité des fortes pluies pour des événements théoriques, considérant qu'il n'est pas possible de calculer des valeurs statistiques illustrant cette distribution spatiale ?

Cette question paraît en outre d'autant plus importante que les pluies considérées sont fortes : en effet, il semble existe une corrélation assez forte entre cumul de pluie et valeur de l'écart-type entre les pluies cumulés sur les diverses régions pluviométriques. Le graphique expérimental de la page suivante illustre cette tendance.

Ce graphique indique par exemple qu'une pluie forte représentant en moyenne 200 à 350 mm de pluie sur le bassin du Gapeau se traduit en fait par une distribution spatiale sur ce territoire particulièrement forte puisque l'écart moyen à cette valeur de cumul est de 50 à 90 mm, ce qui veut dire que qu'il existe en général des écarts de l'ordre de 100 mm de cumul de pluie d'un secteur à l'autre du bassin versant !

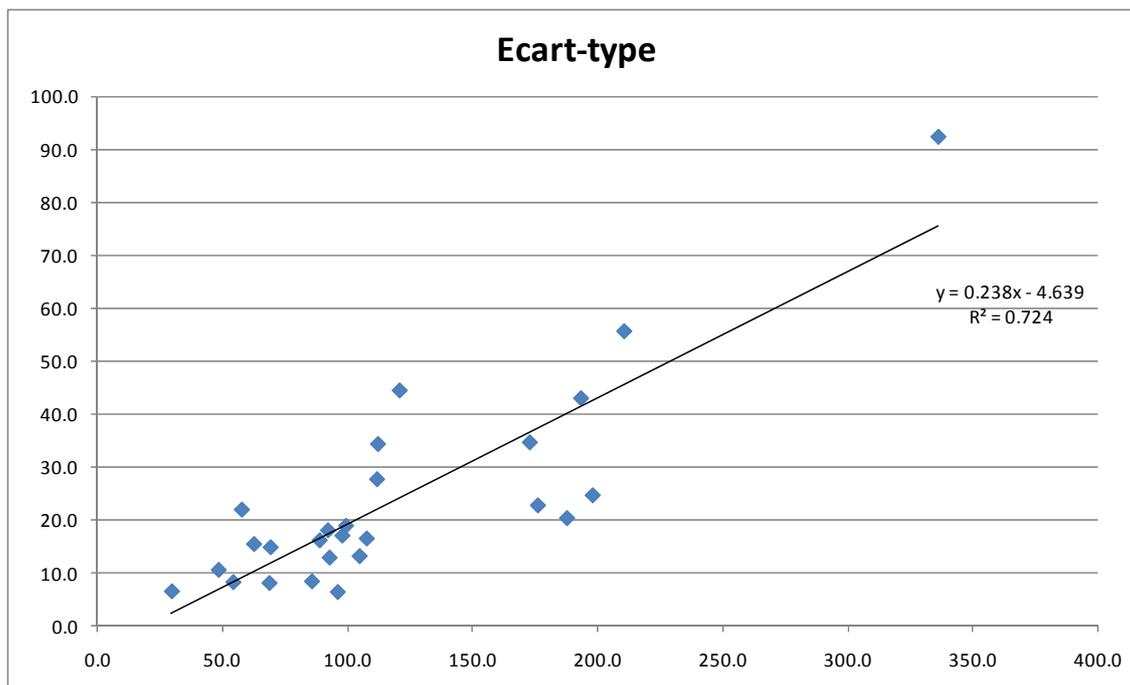


Figure 23 : Corrélation entre écart-type de cumul de pluie entre régions et cumul moyen de pluie

5.1.9. Méthode proposée pour les fortes pluies de projet

Afin de simuler des crues du Gapeau et de ses principaux affluents, pour de futures études comme dans le cadre de la mission 2 de l'étude, il est nécessaire de définir une méthode de construction de scénarios pluviométriques tenant compte de l'effet de la distribution spatiale des pluies. On peut en effet considérer trois cas de figure :

- Si l'on s'intéresse à un sous-bassin versant du Gapeau ou du Réal Martin, ou bien à un « petit » cours d'eau de ce territoire (c'est-à-dire ni le Gapeau ni le Réal Martin dans leur globalité), les débits et volumes de crues de différents événements récents comme pour des crues de projet caractérisés par leur fréquence d'occurrence, la simulation d'une pluie de fréquence comparable fournit une estimation considérée comme correcte. En pratique, une crue centennale d'un tel cours d'eau peut être estimée en simulant une pluie de fréquence centennale sur son bassin versant ; le modèle hydrologique intègre ainsi un catalogue de pluies de bassin, qui sont les pluies théoriques sur chacune des régions pluviométriques calculées à partir de valeurs statistiques sur des postes pluviométriques et en tenant compte d'un effet d'abattement calculé partir de la superficie de ces régions pluviométriques (une pluie locale conduit à une pluie moyenne, dite pluie de bassin, qui dépend de la superficie de la zone affectée).
- Si l'on s'intéresse à une crue courante du Gapeau et/ou du Réal Martin dans leur globalité, c'est-à-dire de période de retour comprise entre 1 et 20 ans, il est possible de considérer qu'un tel événement peut être généré par une pluie de fréquence comparable affectant simultanément toutes les régions pluviométriques. Une crue moyenne de période de retour T peut alors être étudiée en utilisant les pluies de bassin intégrées dans le modèle hydrologiques et en sélectionnant des pluies de projet de même période de retour T. Il est clair qu'une crue décennale du Gapeau peut résulter d'une pluie moins fréquente affectant une partie seulement du bassin versant et que de nombreux scénarios pluviométriques peuvent être envisagés...

- Si l'on s'intéresse à une crue forte ou rare du Gapeau et/ou du Réal Martin dans leur globalité, c'est-à-dire de période de retour supérieure à 20 ans, il n'est pas possible d'utiliser un scénario pluviométrique de pluies de bassins de cette même période de retour affectant simultanément la totalité du bassin versant. Par exemple, une pluie de fréquence centennale sur chacune des six régions pluviométrique correspond à un événement rare générant une crue de période de retour a priori très nettement supérieure à 100 ans !

Pour étudier de tels événements de crues fortes ou rares, il est alors nécessaire de construire des scénarios pluviométriques adaptés, en application d'une méthode spécifique détaillée plus loin et **soumis à l'avis du comité technique**.

5.1.10. Simulation d'événements et traitement des résultats

Les simulations d'événements consistent à calculer la réponse hydrologique à des scénarios de pluviométrie au niveau de chaque point du modèle, étant entendu qu'un tel scénario est défini non seulement par une distribution spatiale et temporelle de précipitations sur le bassin versant, mais aussi par les conditions initiales des cours d'eau et du bassin versant du fait de la pluviométrie antérieure à l'événement simulé.

Pour mémoire, les points du modèle hydrologique sont les exutoires de chaque sous-bassin modélisé, ainsi que des points intermédiaires le long des principaux cours d'eau : au droit de confluence, de postes hydrométriques ou encore de zones d'enjeux.

Les résultats sont dépouillés et analysés en utilisant les outils du logiciel de modélisation HEC-HMS, sous forme de graphiques représentant la pluviométrie et les hydrogrammes de crues, ainsi que de tableaux de synthèse des résultats (débits de pointe, volumes, durées caractéristiques ...) présentés pour chaque élément du modèle hydrologique.

5.2. ANALYSE DE CRUES RECENTES

5.2.1. Débits maximaux de crue aux stations hydrométriques

Valeurs de référence statistiques à partir des mesures

Les mesures de hauteurs effectuées au niveau des stations hydrométriques du bassin versant du Gapeau permettent, au moyen des courbes de tarage, d'estimer les débits ; l'extraction des valeurs maximales atteintes chaque année d'observation est utilisée pour constituer un échantillon et attribuer une fréquence apparente à ces valeurs de débits maximaux annuels. L'étape suivante consiste à reporter sur un graphique les points représentant les couples (fréquence, débit) et à tracer une courbe d'ajustement permettant une interpolation et une extrapolation pour estimer les débits associés à diverses périodes de retour. On utilise fréquemment une représentation non pas en vraies valeurs de la fréquence, mais un logarithme ou un logarithme de logarithme (par exemple en unités de Gumbel) pour que la courbe expérimentale puisse être ajustée par une droite. C'est alors la qualité de l'ajustement d'une telle droite sur les points expérimentaux qui indique la fiabilité des estimations des débits de référence, et pas le choix de la loi d'ajustement.

Cette analyse repose en fait sur trois hypothèses fortes, consistant à supposer que :

- L'échantillon est de taille suffisante pour estimer des périodes de retour de crue, c'est-à-dire de taille supérieures à 25 ans ;
- L'échantillon est représentatif, c'est-à-dire que la fréquence apparente de la plus forte valeur de l'échantillon de n années et de $1/(n+1)$, et que cet échantillon ne comporte pas ni événement exceptionnel, ni période particulièrement « pauvre » en crues ;
- Les débits de crue sont correctement estimés.

Il s'agit d'hypothèses qui ne sont pas pleinement vérifiées ici, considérant que la durée d'observation reste relativement faible et que les données de débit sont probablement douteuses pour les anciennes stations, comme pour les stations encore en service de La Crau-Decapris et de Hyères-Saint-Eulalie.

C'est alors uniquement à titre indicatif que sont donnés ici les résultats d'un ajustement par loi de Gumbel sur les données disponibles, les graphiques d'ajustement étant reproduits en Annexe 2 pour les débits journaliers et en Annexe 3 pour les débits maximaux instantanés.

Le tableau suivant rappelle la liste des stations pour lesquelles un ajustement des débits journaliers les plus forts de chaque année est possible, au regard de la taille de échantillons disponibles, indique la qualité de l'ajustement de Gumbel et fournit les valeurs statistiques issues de ces ajustements sur les principaux cours d'eau du bassin versant, avec un intervalle de confiance à 95 % indiqué entre parenthèses :

Station	Surface (km ²)	Nombre d'années	Ajustement	Période de retour				
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Gapeau à Solliès-Pont	169	41	Bon	31 (26-37)	50 (43-61)	63 (54-79)	75 (64-95)	91 (78-117)
Réal Martin à Puget-Ville	60.3	15	Moyen (1)	31 (8-19)	22 (17-36)	29 (22-47)	35 (27-58)	
Réal Martin à La Crau	277	49	Moyen (1)	49 (41-59)	85 (74-104)	109 (94-135)	132 (113-165)	162 (138-204)
Réal Collobrier à Collobrières	29	16	Bon	8 (5-13)	15 (12-24)	20 (15-32)	24 (19-40)	
Réal Collobrier à Pierrefeu	70.6	22	Mauvais (2)	16 (12-23)	30 (24-44)	40 (32-58)	49 (39-73)	60 (48-91)
Gapeau à Hyères	517	47	Moyen (3)	87 (73-105)	150 (130-183)	191 (165-238)	231 (198-290)	283 (241-358)

(1) : les débits des fortes crues sont écrêtés (effet de plafond par non prise en compte des débits débordés)

(2) : la période de retour de la crue la plus forte est nettement sous-estimée

(3) : l'ajustement par une droite n'est pas très bon, avec probable sous-estimation des débits de référence

Tableau 15 : Débits journaliers statistiques aux stations par ajustement de Gumbel (source : DREAL PACA)

Ces valeurs sont à considérer avec précautions mais sont en première approche plus « fiables » que les débits maximaux instantanés au niveau des stations sur le Réal Martin et sur le Gapeau à Hyères, entachés d'une erreur par sous-estimation des forts débits en cas de débordement contournant la station hydrométrique.

Un traitement similaire a été effectué sur les débits maximaux instantanés de chaque année (et non plus les débits journaliers), avec une qualité des ajustements moins bonne encore. Le tableau suivant résume les valeurs fournies par ajustement de Gumbel proposés par la DREAL PACA au travers de la Banque HYDRO :

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.

Station	Surface (km ²)	Nombre d'années	Ajustement	Période de retour				
				2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans
Gapeau à Solliès-Pont	169	41	Bon	47 (40-55)	74 (65-90)	92 (80-114)	109 (94-138)	132 (113-168)
Réal Martin à Puget-Ville	60.3	15	Mauvais (1)	23 (16-33)	37 (30-58)	47 (37-75)	56 (44-92)	
Réal Martin à La Crau	277	49	Moyen (2)	91 (79-107)	147 (129-176)	184 (161-224)	220 (191-271)	266 (229-331)
Réal Collobrier à Collobrières	29	16	Bon	14 (9-22)	26 (20-40)	33 (26-54)	40 (31-67)	
Réal Collobrier à Pierrefeu	70.6	22	Moyen	33 (25-45)	57 (46-79)	72 (59-104)	87 (71-127)	106 (86-158)
Gapeau à Hyères	517	47	Moyen (3)	152 (131-179)	248 (217-299)	311 (271-381)	372 (322-461)	450 (387-565)

(1) : les débits des fortes crues sont écrêtés (effet de plafond par non prise en compte des débits débordés)

(2) : le débit de crue de janvier 2014 semble mieux estimé que le débit de crues antérieures

(3) : l'ajustement par une droite n'est pas très bon, avec probable sous-estimation des débits de référence. Les débits réels sont certainement plus proches de la valeur haute de l'intervalle de confiance

Tableau 16 : Débits instantanés statistiques aux stations par ajustement de Gumbel (source : DREAL PACA)

Les valeurs données dans ces tableaux sont fondées sur les estimations de débits obtenus par la DREAL PACA en utilisant des courbes de tarage, reliant hauteur et débit. Considérant que le Réal Martin à La Crau et le Gapeau à Hyères débordent largement au-delà des crues vingtennales, il est probable que les valeurs de débits estimées et de fait les ajustements pour les crues moins fréquentes que la crue vingtennale sont sous-estimées. Il convient donc de considérer ces valeurs de débits de référence comme fiables pour les crues courantes, douteuses pour les crues d'une période de retour supérieure à 20 ans.

Par ailleurs, on note que la taille des échantillons disponibles ne permet pas une estimation du débit journalier ni instantané pour une crue de fréquence centennale. Une extrapolation des courbes d'ajustement est toujours possible (c'est tout l'intérêt d'un ajustement !), mais se révèle alors très peu précise et douteuse pour des périodes de retour supérieures à 50 ans. Pour information, une telle extrapolation donnerait les estimations suivantes :

Station	Surface (km ²)	Nombre d'années	Débit instantané de crue centennale par l'ajustement
Gapeau à Solliès-Pont	169	41	160 m ³ /s (130-220)
Réal Martin à Puget-Ville	60.3	15	90 m ³ /s (65-140)
Réal Martin à La Crau	277	49	330 m ³ /s (280-430)
Réal Collobrier à Pierrefeu	70.6	22	150 m ³ /s (100-190)
Gapeau à Hyères	517	47	620 m ³ /s (500-700)

Tableau 17 : Débits instantanés de fréquence centennale par extrapolation des ajustements statistiques

Débits maximaux de crue et analyse de cohérence des stations

Les valeurs statistiques données plus haut ont été calculées à partir des valeurs estimées des débits maximaux instantanés lors de crues observées : le tableau suivant indique les valeurs disponibles dans la Banque HYDRO pour les crues les plus récentes et pour quelques fortes crues plus anciennes ; les événements ayant été sélectionnés à partir des crues les plus fortes de chaque année au niveau d'Hyères.

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.

Date de crue	Station				
	Gapeau à Solliès-Pont	Réal Collobrier à Pierrefeu	Réal Martin à Puget-Ville	Réal Martin à La Crau	Gapeau à Hyères
01 fév. 1966					120
01 nov. 1966		44			150
01 janv. 1969					151
05 fév. 1972	105				188
28 déc. 1972	124	113	40	185	579
13 oct. 1973	73	44	40	194	253
09 mar. 1975	40	16	13	76	112
04 fév. 1976	53	40	15	176	445
01 janv. 1977	96	34	12	166	259
17 janv. 1978	93	78	34	195	406
28 oct. 1979	56	51	21	150	205
29 déc. 1981	52	17	5	27	71.2
09 nov. 1982	24			66	66.9
23-mai-84	27		12	74	147
16 nov. 1984	37			73	135
31 janv. 1986	29			118	155
14 janv. 1987	45				65.4
15 janv. 1988	70			84	164
13 oct. 1988				25	81.2
22 nov. 1989	22			11	38.5
09 déc. 1990	21			98	97
25 avr. 1993	31	72		74	88.4
07 janv. 1994	73	60		131	216
10 nov. 1994	22			79	110
25 janv. 1996	47			66	259
09 janv. 1997	38			133	169
29 avr. 1998	49			58	191
18 janv. 1999	141			197	379
21 oct. 1999	51			138	229
25 déc. 2000	80			148	262
10-mai-02	8			27	39.2
17 nov. 2002	18			57	93.8
02 déc. 2003	33			37	64.7
28 oct. 2004	17			81	134
03 déc. 2005	18			133	139
16 déc. 2008	57			174	215
24 déc. 2009	52			107	177
22 déc. 2010	60			89	204
09 nov. 2011	53			164	322
18-mai-13	51			80	196
19 janv. 2014	42			299	480

Tableau 18 : Débits instantanés maximaux de crues récentes du Gapeau (source : Banque HYDRO)

Ces valeurs ont été utilisées pour vérifier la cohérence entre stations hydrométriques, mettre en évidence des valeurs aberrantes et identifier le secteur d'apports conséquents lors de certains événements. Plutôt qu'un traitement classique de corrélation, par exemple par la méthode des moindres carrées pour les stations prises deux à deux, nous avons préféré un traitement plus simple mais plus facile à interpréter en termes de fonctionnement hydrologique. Ce traitement consiste à considérer que :

- Le débit du Réal Martin à La Crau est la somme du débit du Réal Martin à Puget-Ville, du Réal Collobrier à Pierrefeu et d'apports intermédiaires non jaugés (secteur du Meige Pan notamment) ;
- Le débit du Gapeau à Hyères et la somme du débit du Réal Martin à la Crau et du Gapeau à Solliès-Pont.

Cette simplification ne s'applique théoriquement pas directement, du fait d'apports intermédiaires, mais aussi de décalages entre les pointes de crues des différents cours d'eau : il s'agit bien de vérifier la cohérence entre stations sur des ordres de grandeur.

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.

Le tableau suivant résume les résultats de cette analyse simplifiée, en excluant les événements pour lesquels les données sont manquantes :

Date de crue	Pont de fer + Jacarels	Apports intermédiaires au Réal Martin	Solliès + La Crau	Ecart par rapport à Hyères
28 déc. 1972	153	32	309	53%
13 oct. 1973	84	110	267	106%
09 mar. 1975	29	47	116	104%
04 fév. 1976	55	121	229	51%
01 janv. 1977	46	120	262	101%
17 janv. 1978	112	83	288	71%
28 oct. 1979	72	78	206	100%
29 déc. 1981	22	5	79	111%
09 nov. 1982			90	135%
23-mai-84			101	69%
16 nov. 1984			110	81%
31 janv. 1986			147	95%
14 janv. 1987			45	69%
15 janv. 1988			154	94%
13 oct. 1988			25	31%
22 nov. 1989			33	86%
09 déc. 1990			119	123%
25 avr. 1993			105	119%
07 janv. 1994			204	94%
10 nov. 1994			101	92%
25 janv. 1996			113	44%
09 janv. 1997			171	101%
29 avr. 1998			107	56%
18 janv. 1999			338	89%
21 oct. 1999			189	83%
25 déc. 2000			228	87%
10-mai-02			35	89%
17 nov. 2002			75	80%
02 déc. 2003			70	108%
28 oct. 2004			98	73%
03 déc. 2005			151	109%
16 déc. 2008			231	107%
24 déc. 2009			159	90%
22 déc. 2010			149	73%
09 nov. 2011			217	67%
18-mai-13			131	67%
19 janv. 2014			341	71%

Tableau 19 : Cohérence des débits instantanés maximaux de crues récentes du Gapeau

Ce tableau met en évidence les points suivants :

- Les apports intermédiaires de rive droite vers le Réal Martin et Puget-Ville et La Crau sont parfois très conséquents, et peuvent représenter 2 à 3 fois les apports cumulés du bassin amont du Réal Martin et du Réal Collobrier. En outre les seules mesures disponibles concernent des crues survenues entre 1972 et 1981, alors que la plaine de Cuers a vraisemblablement fortement évolué au plan hydrologique des dernières décennies, comme détaillé plus loin. On retiendra donc que ce secteur peut être à l'origine d'une forte proportion du débit du Réal Martin.

- Cette approche simplifiée qui ne tient pas compte de la propagation des crues du Gapeau et du Réal Martin montre une bonne cohérence en termes de débit de pointe du fleuve à Hyères dans plus de la moitié des événements analysés, avec un écart entre le débit maximal estimé à Hyères et la somme des débits du Gapeau à Solliès-Pont et du Réal Martin à La Crau compris entre 80 et 120 %.
- En revanche, on constate que plus d'un tiers des événements met en évidence un manque de cohérence entre les estimations de débits au niveau des trois stations hydrométriques, les apports des deux cours d'eau ne représentant que 50 à 70 % du débit mesuré à Hyères. En classant les événements selon le débit à Hyères, on constate que l'écart entre cette somme et le débit mesuré à Hyères est conséquent uniquement pour de très faibles crues, du fait d'apports intermédiaires liés à une averse localisée sur l'aval du bassin versant, mais aussi pour les crues les plus fortes du Gapeau à Hyères. En pratique, le taux de cohérence calculé ici est inférieur à 70 % pour six des huit plus fortes crues survenues depuis 1976, avec un taux de 88 % pour la cinquième et la septième plus fortes crues de cette période. L'analyse des bassins versants entre les stations hydrométriques montre que les apports intermédiaires restent faibles et que l'effet d'écrêtement des crues débordantes peut être assez fort, mais paraît ne pas expliquer ces écarts.
- Presque toutes les crues connues interviennent entre octobre et début mars.

Pour compléter cette analyse de cohérence, nous avons tracé sur un même graphique la correspondance entre débit maximal du Gapeau à Hyères et le débit du Gapeau à Solliès-Pont d'une part, et le débit du Réal Martin à La Crau d'autre part, ceci pour une trentaine de crues plus ou moins fortes survenues entre 2008 et 2015. Cette correspondance est aussi montrée entre le débit du Gapeau à Hyères et la somme des débits maximaux à Solliès-Pont et à La Crau :

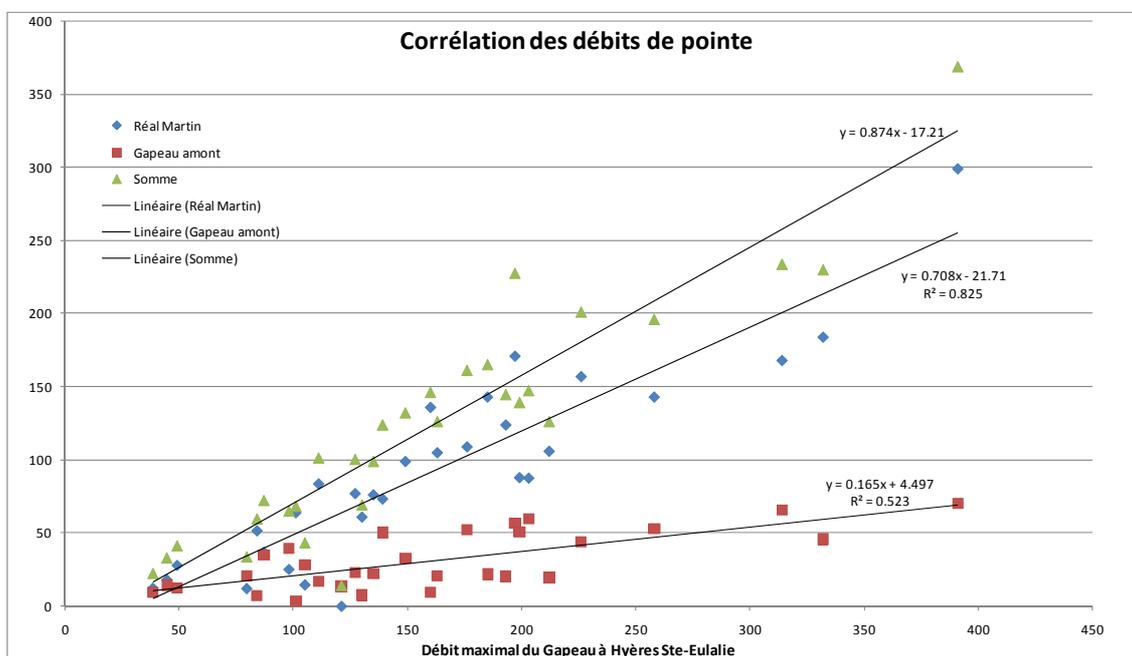


Figure 24 : Cohérence des débits instantanés maximaux du Gapeau amont et du Réal Martin avec le Gapeau aval

Selon ce graphique, relatif à la seule période 2008-2015 mais qui prend en compte de nombreuses petites crues et les fortes crues de ces dernières années, il existe une relation assez nette entre débits de pointe, sous la forme des relations suivantes :

- $Q_{\text{Gapeau amont}} = 0,17 \times Q_{\text{Gapeau aval}}$: cette relation indique le faible poids du bassin versant du Gapeau en amont de Solliès-Pont sur les débits à Hyères, ceci avec une assez bonne corrélation et sans exception sur la période observée. L'analyse de crues antérieures montre cependant une contribution plus forte du Gapeau amont, représentant

près de 40 % lors de la crue de janvier 1999 (crue presque centennale à Solliès-Pont, seulement vingtennale à Hyères) et 55% lors de la crue de février 1972 (crue vingtennale à Solliès-Pont, crue faible du Gapeau aval).

- $Q_{\text{Réal Martin}} = 0,71 \times Q_{\text{Gapeau aval}}$: pour les raisons de sous-estimation de débit maximal du Réal Martin à La Crau en forte crue, ce coefficient de corrélation est très certainement sensiblement inférieur à la réalité. Le graphique ci-dessus montre d'ailleurs un point nettement au-dessus de cette droite d'ajustement pour la valeur la plus forte de l'échantillon : il s'agit du point relatif à la crue de janvier 2014, pour lequel les débits ont été ré-estimés. Le poids relatif du Réal Martin sur les débits de crue du Gapeau est Hyères est de l'ordre de 75 à 80 %.
- $(Q_{\text{Réal Martin}} + Q_{\text{Gapeau amont}}) = 0,87 \times Q_{\text{Gapeau aval}}$: la valeur réelle du ratio est probablement plus proche de 1, l'écart s'expliquant par la sous-estimation des débits du Réal Martin.

Cette analyse de cohérence met alors clairement en évidence une forte sous-estimation des débits du Réal Martin à La Crau dans le cas des fortes crues observées par le passé, ou plus précisément des crues débordantes, dont le débit dépasse 160 m³/s et dont la période de retour dépasse 8 à 10 ans. Cette sous-estimation se constate aussi sur l'ajustement des débits maximaux instantanés, avec un effet de plafonnement des débits des crues anciennes, quelle que soit la fréquence de l'événement, du fait de la mauvaise prise en compte des débits débordés. La valeur ré-estimée du débit de pointe lors de la crue de janvier 2014 paraît cohérente et conduit à des valeurs de débits de référence par ajustement plus réalistes :

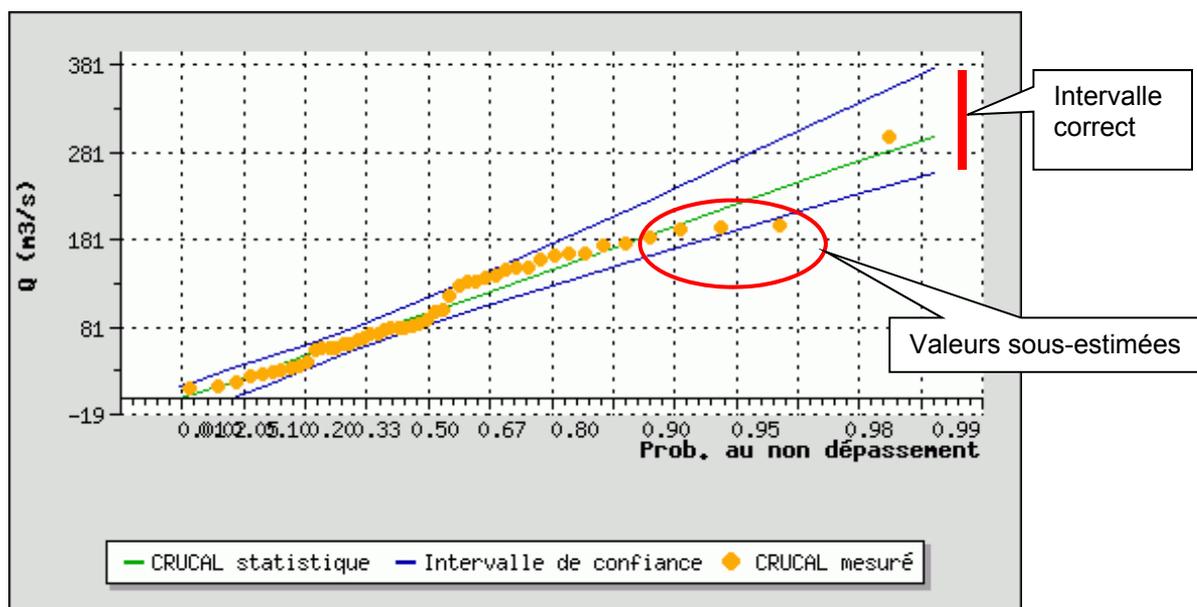


Figure 25 : Ajustement statistique de débits maximaux instantanés du Réal Martin à La Crau (Banque HYDRO)

Les valeurs de débits de référence issues de cet ajustement, telles que présentées plus haut, sont alors considérées comme correctes ou seulement légèrement sous-estimées.

5.2.2. Rapport entre débit instantané et débit journalier

Afin de permettre une meilleure estimation des débits instantanés du Réal Martin en forte crue, il est possible d'appliquer un ratio entre débit instantané et débit journalier, en supposant que ce ratio soit comparable d'un cours d'eau à l'autre, ou d'une gamme de débit à une autre pour un même cours d'eau, et que les débits journaliers du Réal Martin sont mieux estimés que les débits instantanés.

Le tableau suivant montre le rapport calculé pour les grands cours d'eau jaugés du bassin versant en fonction de la gamme de débit :

Station	Surface (km ²)	Rapport QIX/QJM pour les crues faibles à moyennes	Rapport QIX/QJM pour les crues moyennes à fortes
Gapeau à Solliès-Pont	169	1,50	1,45
Réal Martin à Puget-Ville	60.3	1,70	1,60
Réal Martin à La Crau	277	1,75	1,65
Réal Collobrier à Collobrières	29	1,70	1,65
Réal Collobrier à Pierrefeu	70.6	1,90	1,80
Gapeau à Hyères	517	1,70	1,60

Tableau 20 : Rapport entre débits instantanés maximaux et débits journaliers maximaux (selon ajustements)

Pour les cours d'eau connaissant un faible effet d'amortissement des crues débordantes du fait d'une vallée relativement étroite, le coefficient varie assez peu : c'est le cas du Gapeau à Solliès-Pont ou du Réal Collobrier.

Par ailleurs, le ratio entre débit instantané et débit journalier est d'autant plus élevé que les crues sont de courte durée, ce qui correspond ici aux bassins versants de plus faible superficie : Réal Martin à Puget-Ville et Réal Collobrier à Collobrières comme à Pierrefeu. A l'inverse, les crues lentes et longues du Gapeau en amont de Solliès-Pont explique un rapport faible entre ces deux débits.

Une valeur moindre du ratio s'explique par l'effet de ralentissement et d'amortissement des crues débordantes par la plaine inondable, qui crée un phénomène de ralentissement dynamique de ces crues l'écart entre les valeurs de ce ratio en crue faible et en crue forte est ainsi plus important pour la partie aval du Réal Collobrier, pour le Réal Martin sur tout son cours et pour le Gapeau à Hyères.

Le Réal Martin possède des valeurs relativement homogènes de ce rapport entre débits à Puget-Ville et à La Crau, et qui influence fortement le ratio calculé pour le Gapeau à Hyères.

Cette analyse ne permet pas directement de ré-estimer les débits instantanés de forte crue du Réal Martin à La Crau car les ratios calculés ne sont pas incompatibles avec les valeurs trouvés sur les autres cours d'eau : il est probable que l'erreur faite sur les estimations de débits instantanés du Réal Martin en forte crue influence de manière comparable les estimations de débit journalier !

5.2.3. Débits pseudo-spécifiques de crue

La plupart des formules statistiques en hydrologie évalue le débit maximal de crue d'un cours d'eau en fonction de la superficie de son bassin versant (souvent en l'élevant à une puissance de l'ordre de 0,8). Il est donc intéressant de comparer le rapport entre le débit maximal de crue et la surface de bassin versant intercepté au niveau des stations hydrométriques du bassin du Gapeau avec les valeurs observées pour d'autres cours d'eau de la région.

Toutefois ce rapport, appelé « **débit pseudo-spécifique** », ne peut pas être analysé sur des événements particuliers, la pluie étant en général trop hétérogène à une grande échelle : on compare donc les débits spécifiques associés à des événements de crue de différentes périodes de retour statistiques, le plus souvent entre 2 et 100 ans.

Cette analyse a été menée ici à partir des valeurs fournies par ajustement de Gumbel sur des enregistrements disponibles sur quelques bassins versants de la région, avec une extrapolation pour les événements dépassant une période de retour de 20 ans. De telles estimations de débits pseudo-spécifiques ont été menées récemment sur plusieurs cours d'eau du bassin de l'Argens (Action 5 du PAPI Argens et affluents).

Le référentiel hydrologique du bassin de l'Argens (établi dans le cadre de l'Action 5 du PAPI Argens et affluents) utilise une formule adaptée à la taille du bassin versant : pour les bassins versants d'une superficie comprise entre 50 et 250 km², le débit pseudo-spécifique s'obtient en multipliant un coefficient spécifique par la superficie élevée à exposant régional : $Q = A \cdot S^\alpha$ où A varie selon le secteur et la fréquence, alors que α est un coefficient régional qui ne varie pas avec la fréquence de la crue, et qui est souvent voisin de 0,8.

L'extraction de jeux de paramètres établis sur des bassins versants voisins de celui du Gapeau permet d'établir une comparaison.

Le tableau suivant montre les valeurs de ces débits pseudo-spécifiques pour des crues de diverses périodes de retour, en prenant en compte un exposant appliqué à la superficie de bassin versant de 0.85, valeur reconnue comme adaptée aux bassins de l'Issole et du Caramy notamment.

Station ou bassin versant	Surface (km ²)	Exposant α	Période de retour			
			10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Gapeau à Solliès-Pont	169	0,85	1,2	1,4	1,7	2,0
Réal Martin à Puget-Ville	60,3	0,85	1,4	1,7		
Réal Martin à La Crau	277	0,85	1,5	1,8	2,2	3,3
Réal Collobrier à Collobrières	29	0,85	1,9	2,3		
Réal Collobrier à Pierrefeu	70.6	0,85	1,9	2,3	2,8	4,0
Gapeau à Hyères	517	0,85	1,5	1,8	2,2	3,1
Issole à Cabasse	223	0,85	0,9	1,4	1,9	2,1
Caramy à Vins/Caramy	215	0,85	1,35	1,8	2,4	3,0
Aille à Vidauban	229	0,60	11	17	22	27
		0,85	2,8	4,4	5,7	6,9

Tableau 21 : Débits pseudo-spécifiques de crue et comparaison avec des valeurs régionales

Ce tableau met en évidence les points suivants :

- Les débits pseudo-spécifiques eu Gapeau amont, mesurés à Solliès-Pont, sont proches de ceux du bassin l'Issole, également karstique et concerné par une pluviométrie comparable ;
- Les débits pseudo-spécifiques calculés pour le Réal Martin sont un peu plus forts à La Crau qu'à Puget-Ville et ils sont proches de ceux calculés pour le Caramy proche de son exutoire. Ces débits sont en revanche nettement inférieurs à ceux de l'Aille, dont le bassin versant est très fortement influencé par le Massif des Maures, avec un réseau hydrographique extrêmement dense et marqué par une plaine vallonnée et portant peu de sol, le socle rocheux étant presque partout facilement visible.
- Le Réal Collobrier conduits à des valeurs de débits pseudo-spécifiques de crue intermédiaires entre ceux du Caramy et de l'Aille, ce qui est cohérent avec les caractéristiques de ces bassins versants et de la pluviométrie régionale.
- Le Réal Martin à La Crau et le Gapeau à Hyères ont des débits pseudo-spécifiques de crue presque identiques, confirmant que les crues sur Hyères sont principalement celles du Réal Martin. Les valeurs calculées pour ces cours d'eau sont proches un peu plus fortes que celles de l'Issole et du Caramy, situés en domaine calcaire, mais restent nettement inférieurs à ceux de l'Aille, même pour les crues « courantes » de fréquence décennale ou vingtennale.

Cette analyse des débits pseudo-spécifiques, comme les analyses précédentes menées plus haut, ne montre donc pas de valeur particulièrement sous-estimées pour les débits de fortes crues du Gapeau et du Réal Martin. En fait, il semble que la prise en compte des débits atteints lors de la crue de janvier 2014, avec une estimation qui paraît correcte en

première analyse, a conduit à fortement « relever » les droites d'ajustement de Gumbel pour les stations du Gapeau à Hyères et surtout du Réal Martin à La Crau, permettant des estimations de débits des forte crues qui paraissent cohérentes.

5.2.4. Taux de ruissellement sur le bassin du Gapeau

Le taux de ruissellement représente la proportion du volume de pluie reçu par le bassin versant qui est effectivement écoulee par le cours d'eau sur la durée de la crue, en incluant la décrue et le ressuyage. Ce volume écoulee lors d'événement de crue a été estimé au niveau des stations hydrométriques du bassin du Gapeau pour une trentaine de crues entre 2008 et 2015 à partir des hydrogrammes enregistrés aux deux stations sur le Gapeau et à la station sur le Réal Martin à La Crau, les autres stations sur le bassins n'étant plus en service depuis plus de 20 ans.

Par ailleurs, le volume de pluie est estimé à partir des calculs de lames d'eau effectués par le SPC MedEst par région pluviométrique selon le découpage présenté plus haut. Pour les pluies antérieures, particulièrement les fortes crues des années 1970 à 1999, la distribution spatiale n'est pas connue et l'utilisation de pluies journalières en quelques points seulement induirait une très faible précision sur les volumes de précipitations.

Le tableau suivant résume les valeurs des paramètres de ruissellement sur le bassin versant du Gapeau :

Cours d'eau et station	Superficie	Taux moyen de ruissellement	Taux spécifique (*)	Nombre de valeurs	Ecart-type	Minimum	Maximum
Gapeau à Solliès-Pont	169 km ²	18 %	0,1 % /km ²	30	12 %	1 %	42 %
Réal Martin à La Crau	277 km ²	28 %	0,1 % /km ²	30	21 %	0 %	89 %
Gapeau à Hyères	517 km ²	28 %	0,05 % /km ²	30	16 %	4 %	76 %

(*) Le taux spécifique est la valeur du taux de ruissellement par unité de surface de bassin versant

Tableau 22 : Taux de ruissellement sur le bassin versant du Gapeau (période 2008-2015)

La fourchette de valeurs obtenues pour le Réal Martin et le Gapeau aval est très large, malgré un écart-type assez faible : ce point s'explique par le caractère exceptionnel des taux de ruissellement obtenus pour la crue du 24 novembre 2014, et qui s'explique très probablement par l'effet des forts cumuls de pluies antérieures à cet événement, puisque trois ou quatre crues se sont succédés sur les semaines précédentes. Le deuxième taux de ruissellement le plus fort calculé sur la trentaine d'événements n'atteint que 53 % pour le Réal Martin et 55% pour le Gapeau, ce qui correspond à des valeurs courantes pour des bassins versants d'une telle superficie.

Les taux nuls ou faibles, inférieurs à 10 % voire 15 % sont observés dans le cas d'averses survenant après une période de temps sec et avec à la fois un cumul et des intensités relativement faible : la quasi-totalité des précipitations se trouve alors pour partie infiltrée, pour partie stockée dans la couche superficielle de sols avec écoulement lent et pour partie accumulée au niveau de micro-dépression liée au microrelief et aux systèmes racinaires des arbres et végétaux du bassin versant. Ces cumuls de pluie ne provoquant presque pas de ruissellement de surface rapide vers les cours d'eau sont pris en compte en tant que valeurs de l'interception initiale de pluie par les bassins versant dans la modélisation hydrologique.

Il faut par ailleurs tenir compte du fait que les débits de fortes crues du Gapeau aval et du Réal Martin sont sous-estimés par les valeurs de la Banque HYDRO, sauf apparemment dans le cas des crues survenues depuis janvier 2014, de sorte que les volumes de crue et donc les taux de ruissellement pourraient être un peu sous-estimés.

Les graphiques suivants présentent en outre des corrélations entre le taux de ruissellement calculé pour chacun des événements et deux paramètres : la lame d'eau cumulée en un jour et le débit maximal du cours d'eau à sa station hydrométrique. On constate aussi sur ces graphiques le caractère exceptionnel des taux maximaux calculés pour le Gapeau aval et le Réal Martin, puisqu'un seul point apparaît dans cette gamme.

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.

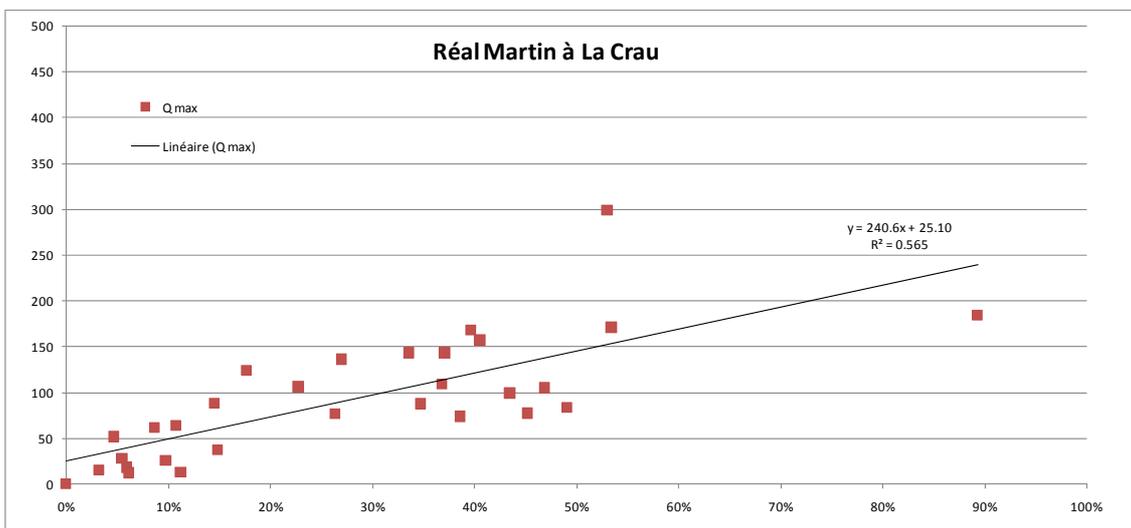
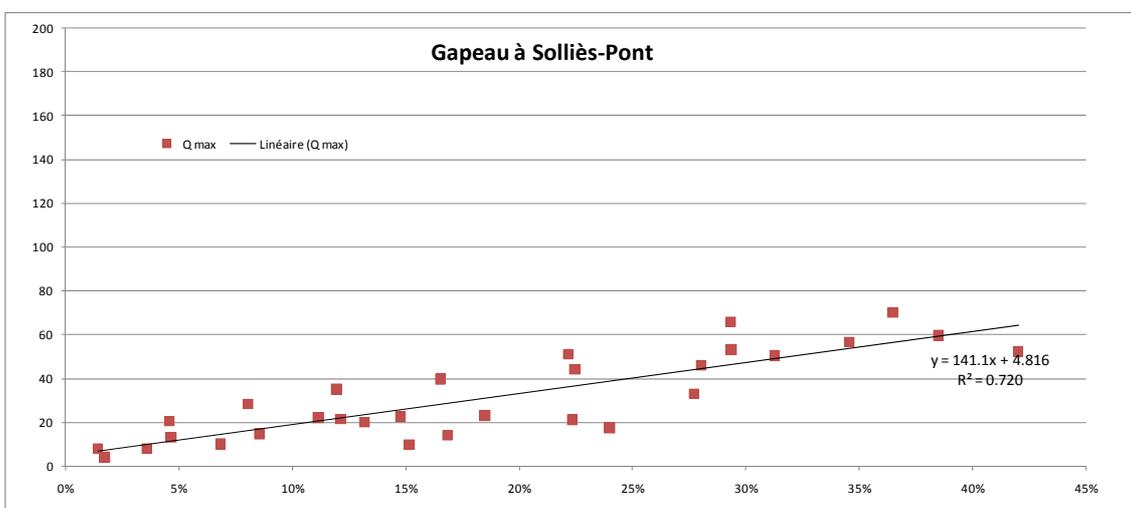


Figure 26 : Corrélation entre lame d'eau de pluie par jour et taux de ruissellement

Ces graphiques mettent en évidence le fait que, pour chacune des trois stations, il n'existe pas de relation directe entre la lame d'eau (c'est-à-dire le cumul de précipitation par jour sur la durée de l'événement) et le taux de ruissellement, puisque l'ajustement entre ces facteurs est quasiment une droite horizontale.

Cependant, cet ajustement par une droite est de mauvaise qualité : les graphiques indiquent en fait qu'à un même cumul de pluie peut correspondre un taux de ruissellement très différent.

Ce point indique qu'on ne peut pas trouver de relation simple et fiable entre pluie et ruissellement, ce dernier variant en fait surtout en fonction de la pluviométrie antérieure et de la cinétique des pluies, c'est-à-dire de la durée sur laquelle tombe ces cumuls de précipitation.



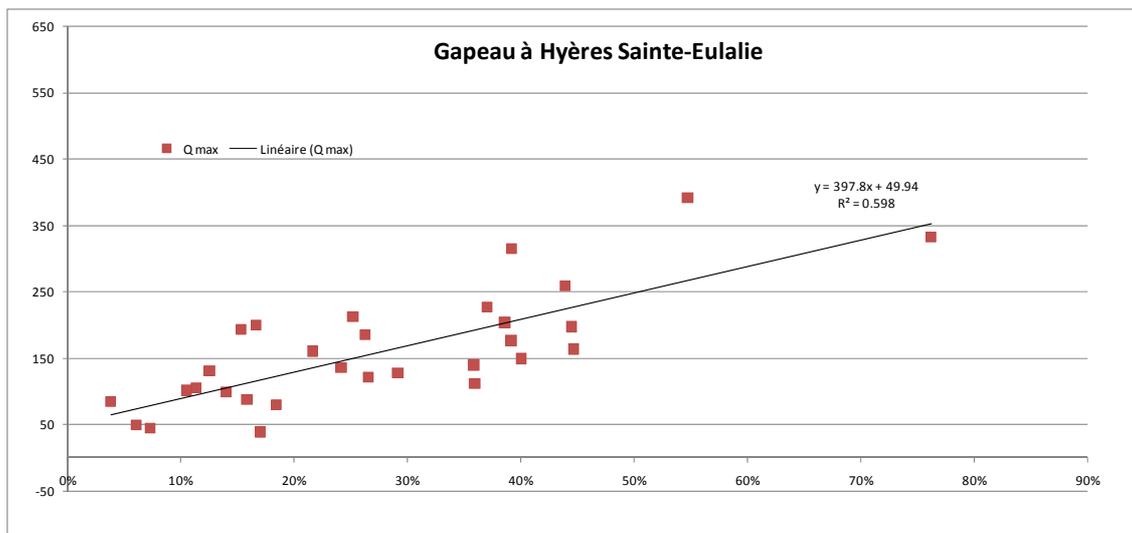


Figure 27 : Corrélation entre débit maximal et taux de ruissellement

Ces graphiques mettent en évidence les points suivants :

- Une relation plus explicite existe entre taux de ruissellement et débit de pointe de la crue : la relation par ajustement linéaire est bien représentée dans le cas du Gapeau amont, mesurée à Solliès-Pont.
- Dans le cas du Réal Martin à La Crau, et dans une moindre mesure dans le cas du Gapeau à Hyères, un point apparaît nettement au-dessus de la droite d'ajustement : ce point correspond à la crue de janvier 2014, pour laquelle les débits ont été ré-estimés. En fait, ce sont les valeurs de débits des fortes crues antérieures qui sont sous-estimés, la pente de la droite d'ajustement étant en réalité plus forte que sur ces graphiques.
- Un seul point apparaît avec des très fortes valeurs du taux de ruissellement tant pour le Réal Martin que pour le Gapeau à Hyères : il s'agit de la crue du 24 novembre 2014, survenue après un mois particulièrement pluvieux avec quatre crues plus ou moins fortes survenues les semaines précédentes.

On peut retenir de cette analyse d'une trentaine de crues récentes les enseignements et les ordres de grandeur des paramètres hydrologiques relatifs au ruissellement des grands bassins versants du territoire d'étude. En particulier, il existe effectivement un seuil de précipitation en dessous duquel il ne se produit pratiquement pas de ruissellement : ce seuil correspond à l'interception initiale de chaque bassin versant. La gamme des taux de ruissellement diffère d'un bassin à l'autre, avec une étendue variable, mais aussi avec des valeurs exceptionnelles qui ne sont pas représentatives de beaucoup de crues mais peuvent apparaître dans le cas d'une très forte pluviométrie survenue avant l'épisode de crue : une telle situation doit faire l'objet de scénarios hydrologiques spécifiques.

Le tableau suivant résume les valeurs représentatives retenues ici, établies à partir de mesures sur la période 2008-2015 et considérées comme représentatives de la configuration actuelle du bassin versant du Gapeau.

Cours d'eau	Superficie	Taux de ruissellement (1)	Taux spécifique (2)	Valeur exceptionnelle	Interception initiale
Gapeau amont	169 km ²	18 % (25 % – 30 %)	0,1 % /km ²	40 à 45 %	35 mm
Réal Martin	277 km ²	28 % (25 % - 50 %)	0,1 % /km ²	85 à 90 %	40 mm
Gapeau aval	517 km ²	28 % (25 % - 45 %)	0,05 % /km ²	75 %	35 mm

(1) Valeur moyenne et fourchette de valeurs probables

(2) Le taux spécifique est la valeur du taux de ruissellement par unité de surface de bassin versant

Tableau 23 : Paramètres représentatifs du ruissellement sur le bassin versant du Gapeau

L'interception initiale a été estimée en considérant les cumuls de pluies avant la montée de crue sur des événements à faible taux de ruissellement.

5.2.5. Temps de propagation des crues du Gapeau

Le temps de propagation des crues du Gapeau et d'autres cours d'eau de ce territoire peut être estimé à partir des hydrogrammes enregistrés aux stations hydrométriques, en calculant le décalage temporel entre les maximaux atteints au niveau de ces stations. Il est à noter que la sous-estimation des débits sur certaines stations n'influence pas cette mesure de cinétique.

Le temps de propagation des crues dépend de la morphologie du lit mineur et du lit majeur des cours d'eau : en effet, une onde de crue se propage non seulement avec la vitesse du courant, mais aussi proportionnellement à la racine carrée de la hauteur d'eau. Plus une rivière « s'étale » dans sa plaine, plus la hauteur d'eau moyenne est faible et plus la crue se propage lentement vers l'aval. Le temps de propagation des crues est donc fortement influencé par :

- Le caractère débordant ou non de la crue : un lit recalibré ou endigué propage rapidement les crues vers l'aval.
- La densité des obstacles et des « facteurs de rugosité » en lit majeur.
- La largeur de la plaine inondable.
- Le degré d'artificialisation du réseau hydraulique dans la plaine inondable, une forte densité de canaux de drainage provoquant une concentration des écoulements.

Malgré la taille conséquente de l'échantillon disponible de données hydrométriques sur le bassin du Gapeau, peu d'événements sont en fait décrits par des hydrogrammes exploitables en divers points d'une même vallée. On dispose en fait, pour une même série de crues :

- D'hydrogrammes sur le Réal Martin à Puget-Ville (pour peu de crues) et à La Crau, ainsi que sur le Gapeau à Solliès-Pont et à Hyères.
- D'hydrogrammes sur le Réal Collobrier à Collobrières et au Pont de Fer pour estimer la vitesse de propagation de ses propres crues ; le moment des apports du Réal Collobrier au Réal Martin mesuré à La Crau est en général difficile voire impossible à distinguer.

L'exploitation de ces quelques hydrogrammes conduit à retenir les ordres de grandeurs suivants en ce qui concerne la propagation des crues sur le bassin du Gapeau, considérant qu'il existe une très grande diversité des valeurs de temps mesurées entre pics de crue sur des stations successives :

Cours d'eau	Section (entre stations)	Longueur	Temps de propagation	Vitesse de propagation	
Gapeau	Solliès-Pont → Hyères	16 km	1h30 à 2h30 ?	6 à 10 km/h	1,7 à 2,8 m/s
Réal Martin	Puget-Ville → La Crau	13 km	1 h30	9 km/h	2,4 m/s
	La Crau → Hyères	7 km	1h30 en faible crue 2h30 en forte crue	3 à 5 km/h	0,8 à 1,4 m/s
Réal Collobrier	Collobrières → Pont de Fer	8,5 km	0,5 h	17 km/h	4,7 m/s
	Pont de Fer → La Crau	14 km	1 h	14 km/h	3,9 m/s

Tableau 24 : Vitesse de propagation des crues sur le bassin versant du Gapeau

Ces estimations ne sont que des ordres de grandeur relativement peu précis car leur mesure à partir d'hydrogrammes est assez difficile, et surtout car ces vitesses de propagation varient d'un événement à l'autre, en fonction notamment de l'intensité de la crue, du déplacement de l'averse et de l'importance des débordements.

On retiendra néanmoins des ordres de grandeurs qui semblent conformes aux vitesses de propagation de cours d'eau de piedmont (pour le Réal Collobrier) ou de plaine (pour le Réal Martin et le Gapeau).

5.2.6. Temps caractéristiques des bassins versants

A partir du traitement d'hydrogrammes de crues disponibles (entre 10 et 40 événements selon le cours d'eau et la station), les ordres de grandeurs de temps caractéristiques obtenus concernent les paramètres suivants :

- Le temps de réponse du bassin versant, estimé à partir du décalage temporel entre l'averse intense et le pic de crue ;
- Le temps et la vitesse moyenne de montée de crue ;
- Le temps et la vitesse moyenne de décrue ;
- La vitesse de ressuyage et le débit de début de ressuyage, sachant que le paramètre exploité est le rapport entre ce débit de début de ressuyage et le débit de pointe de la crue.

Il est à noter que le premier paramètre, qui mesure la « réponse » d'un bassin versant en termes de cinétique, ne peut être estimé que dans le cas où l'on dispose de hyétoigrammes de pluies représentatifs sur ce bassin versant et avec des événements montrant de fortes intensités sur de courtes durées, conduisant à un pic de crue nettement marqué. De telles informations ne sont disponibles ici que pour des événements entre 2008 et 2015, avec mesure des débits uniquement sur les trois stations actuellement gérées par la DREAL, qui se trouvent sur l'aval des deux plus grands bassins versants.

Le temps de réponse des bassins versants est alors estimé à partir des temps de montée des crues, considérant qu'il existe une relation (qui n'est pas universelle !) entre temps de réponse et temps de montée, mais ce qui donne une estimation très grossière. Une autre façon d'estimer ces temps de réponse et de procéder par ajustement itératif dans le modèle hydrologique du temps de réponse supposé des bassins versant et comparaison des hydrogrammes calculés avec les hydrogrammes mesurés.

Le tableau suivant synthétise les principaux résultats de cette analyse :

Cours d'eau et station	Temps de réponse (h)	Vitesse de montée (m ³ /s par h)	Débit de ressuyage / débit maximal	Vitesse de ressuyage (m ³ /s par h)
Gapeau à Solliès-Pont	7 à 12 h	7,7 (± 5,4)	66 % (± 8 %)	-2,0
Réal Martin à Puget-Ville		5,4 (± 2,7)	57 % (± 19 %)	-0,1
Réal Martin à La Crau	6 à 8 h	19,4 (± 9,2)	53 % (± 5 %)	-3,5
Réal Collobrier à Collobrières		3,4 (± 3,3)	58 % (± 5 %)	-0,2
Réal Collobrier à Pierrefeu		7,0 (± 6,8)	59 % (± 4 %)	-0,4
Gapeau à Hyères	6 à 10 h	24,0 (± 11,1)	55 % (± 7 %)	-3,5

Tableau 25 : Temps caractéristiques des crues aux stations hydrométriques du bassin versant du Gapeau

On retiendra alors des ordres de grandeur suivants considérés comme représentatifs de la zone d'étude :

- Un temps de réponse de l'ordre de 7 heures pour le Réal Martin à son exutoire et de l'ordre de 8 h pour le Gapeau à Hyères, qui est celui du Réal Martin majoré d'une heure de temps de propagation de la crue ;
- Un temps de réponse de l'ordre de 10 h pour le Gapeau jusqu'à sa confluence avec le Réal Martin
- Des vitesses de montée comparables pour le Gapeau amont, le Réal Martin amont et le Réal Collobrier, de l'ordre de 7 m³/s par heure ;
- Une vitesse de montée de l'ordre 20 à 25 m³/s par heure pour le Réal Martin à La Crau et de fait pour le Gapeau à Hyères, malgré des vitesses de montées trois fois plus faibles pour l'amont, ce qui traduit des apports très conséquents de la plaine de Cuers ;
- Une décrue très rapide pour le Réal Collobrier, le Réal Martin et le Gapeau aval ;
- Un ressuyage rapide pour le Réal Martin aval et le Gapeau, avec une valeur représentative de l'ordre de -3 m³/s par heure, et un ressuyage lent pour le Réal Collobrier et pour le Réal Martin amont, du fait de la capacité de « rétention » des vallées inondables, qui gardent un caractère majoritairement « naturel » ;
- Une transition entre décrue et ressuyage qui commence très tôt pour tous les cours d'eau, à savoir lorsque le débit de décrue représente 50 à 60 % du débit de pointe.

Les deux graphiques suivants montrent la corrélation entre les vitesses de montées estimées pour le Gapeau à Solliès-Pont et pour le Réal Martin à La Crau avec la vitesse de montées des crues du Gapeau à Hyères : on constate une assez mauvaise corrélation, de ces vitesses entre Solliès-Pont et Hyères, du fait que les crues observées à Hyères sont presque toujours générées par le Réal Martin de sorte que la vitesse de montées est en moyenne 8 fois plus grande à Hyères qu'à Solliès-Pont. Ce point explique a contrario une assez bonne corrélation entre les vitesses de montée de crue à La Crau et Hyères, le rapport moyen entre les deux étant proche de 2.

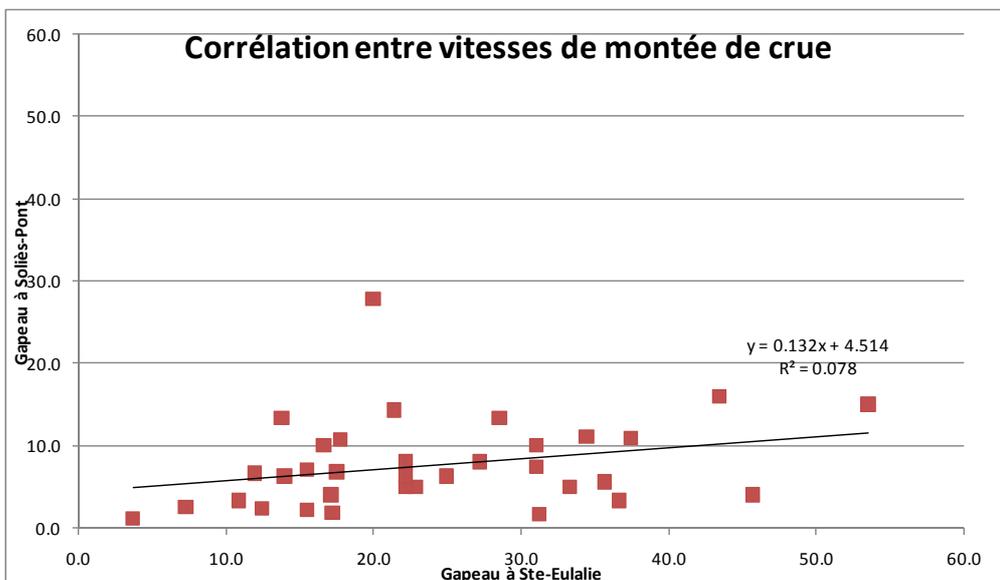


Figure 28 : Relation entre vitesses de montée de crue du Gapeau à Solliès-Pont et à Hyères

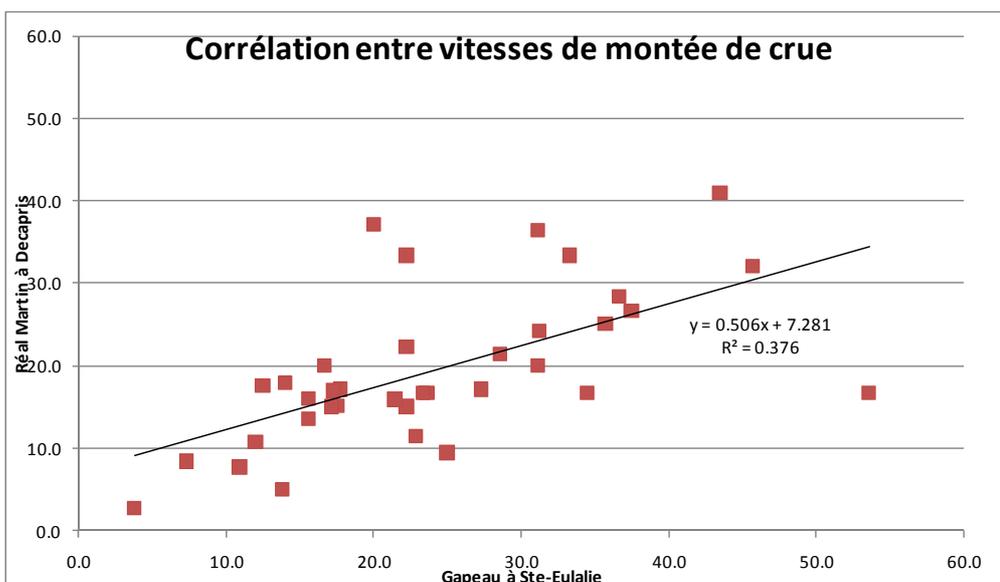


Figure 29 : Relation entre vitesses de montée de crue du Réal Martin à La Crau et du Gapeau à Hyères

Ces valeurs moyennes sur la période d'observation masque toutefois une nette évolution des conditions de formation des crues du Réal Martin dans la traversée de la plaine de Cuers, et qui ne peut être qu'associée à des apports de plus en plus importants en termes de débits d'une année sur l'autre.

Cette augmentation de débits provient en partie d'un effet d'imperméabilisation croissant des sols, qui augmente les volumes ruisselés, mais surtout d'une augmentation très importante des vitesses auxquelles se fait ce ruissellement sur les pieds de collines et la propagation des eaux vers le Réal Martin. En pratique, cette augmentation de la vitesse de propagation des eaux s'explique par une densification et une augmentation globale de capacité des réseaux hydrauliques : renforcement / densification et approfondissement des fossés de routes et des fossés de drainage, mais aussi chemin-creux, collecteurs souterrains d'eaux pluviales, avec en

plus un effet de canalisation des ruissellements diffus vers un nombre réduit de passage sous la voie ferrée et l'autoroute puis évacuation rapide vers le réseau de fossés mères en aval...

Les deux graphiques suivants confirment cette évolution continue du fonctionnement hydrologique du Réal Martin au travers de l'évolution de deux paramètres : la vitesse de montée des crues et le rapport entre débit de début de ressuyage et débit de pointe de crue. Le fait que le premier de ces paramètres augmente peut en théorie résulter soit d'une augmentation de la capacité du lit mineur par recalibrage ou endiguement (mais ce n'est pas le cas ici), soit d'apports majorés de débits ; la diminution du second paramètre peut en théorie résulter soit d'une réduction de la capacité du lit majeur (par exemple par endiguement) ou du moins de son effet d'écrêtement des crues (mais ce n'est probablement pas le cas ici), soit d'une majoration des apports de débits.

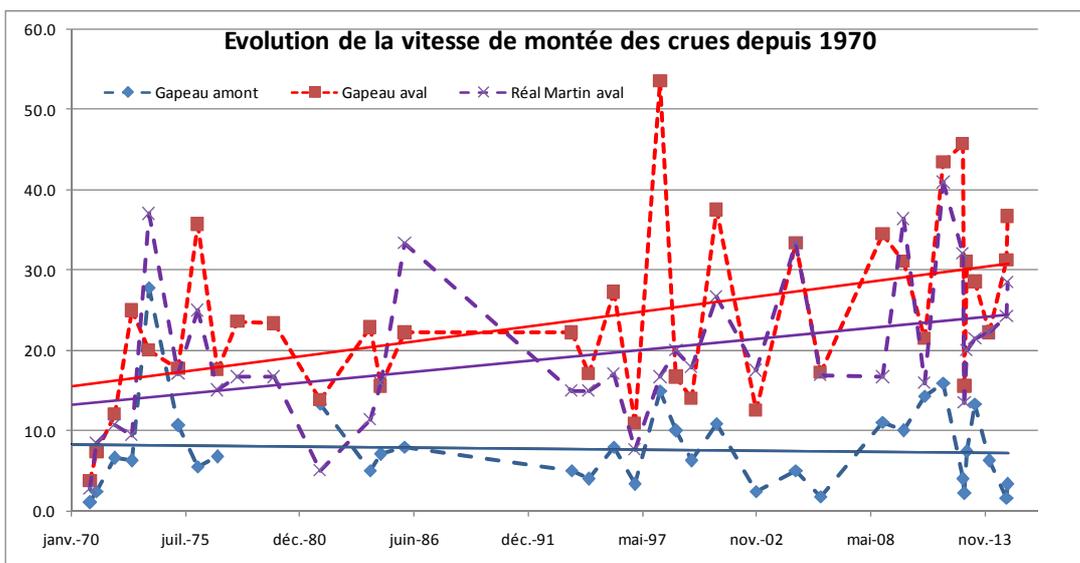


Figure 30 : Evolution de la vitesse de montées des crues du Gapeau et du Réal Martin depuis 1970

NB : des tests sur d'autres périodes, y compris sur la période 1999-2015 montrent la même tendance, qui n'est pas liée à une faible hydrologie entre 1980 et 2000. Une analyse des données les plus récentes montre une stabilisation entre 2008 et 2015, ce qui pourrait traduire le fait que l'évolution de la vallée est majoritairement antérieure à cette période marquée par un développement de l'urbanisation, la création de l'autoroute, le renforcement des réseaux d'eaux pluviales et probablement des travaux de drainage agricole.

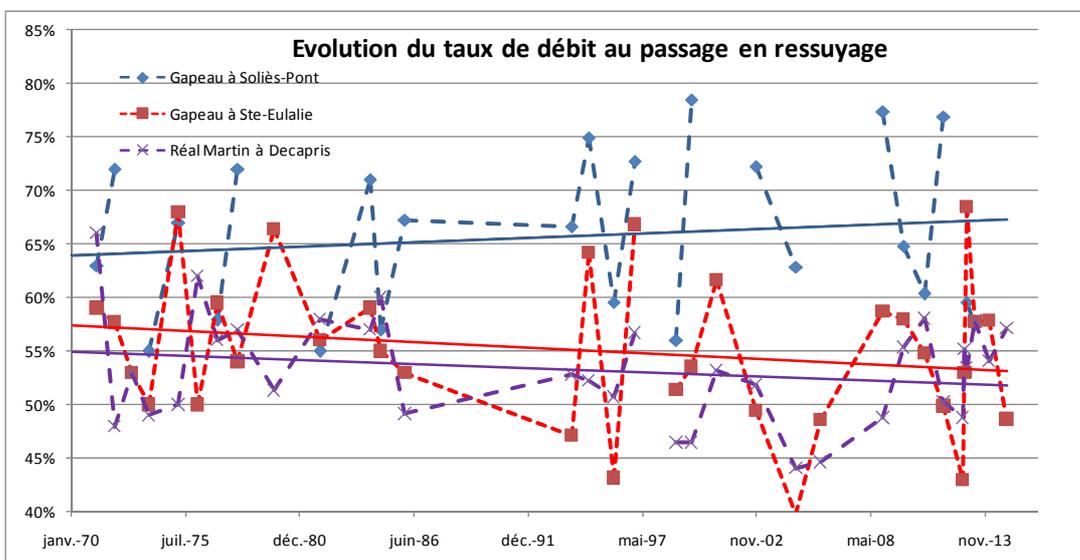


Figure 31 : Evolution du rapport entre débit de début du ressuyage et débit de pointe du Gapeau et du Réal Martin

Ces deux graphiques montrent des valeurs pratiquement stables de ces paramètres pour le Gapeau à Solliès-Pont, et une évolution significative pour le Réal Martin, et de fait pour le Gapeau à Hyères.

L'analyse de divers documents relatifs à l'urbanisme montrent que la surface agricole sur le bassin versant du Gapeau, qui se concentre surtout sur le sillon permien, a été réduite d'un tiers entre 1972 et 2003, passant de 4 330 hectares à 2 860 hectares, alors que la surface d'espaces naturels a été maintenue. C'est probablement cette évolution de la surface urbanisée qui, outre l'effet d'imperméabilisation des sols, a provoqué une canalisation des eaux pluviales vers les cours d'eau de la plaine et le renforcement du réseau hydraulique associé pour recevoir et évacuer ces eaux sans provoquer d'inondation chronique des terres agricoles.

Nous avons par ailleurs construit, à partir de cartes et images disponibles et par observations de terrain, une couche d'information géographique recensant les réseaux de tels fossés et chemin creux (ou longés de fossés d'assainissement) à travers la plaine de Cuers, ainsi que sur le bassin versant du petit Réal. Les figures suivantes permettent d'illustrer cette densité d'axes hydrauliques et la comparant avec la situation sur d'autres secteurs du bassin versant du Gapeau, en montrant successivement le réseau hydraulique naturel, ce réseau complété par un réseau de fossés sur la plaine agricole, puis cet ensemble complété par un ensemble de chemins d'exploitation souvent longés de dosés routiers ou parfois se présentant sous forme de chemins creux jouant un rôle d'axe hydraulique :

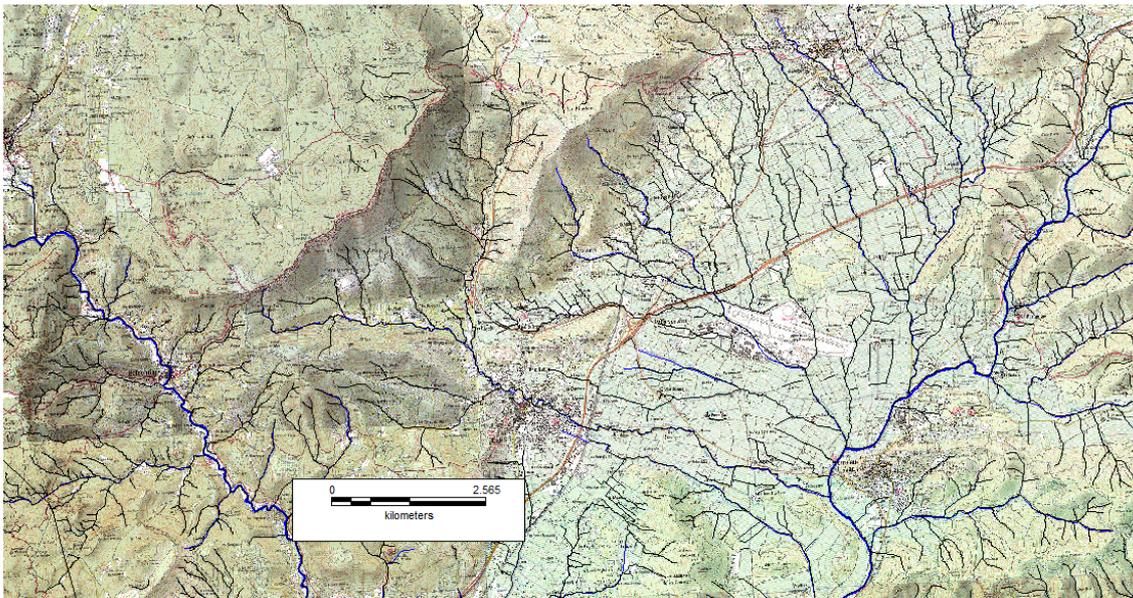


Figure 32 : Réseau hydrographique naturel

On constate sur cette carte l'existence d'un réseau dense et très ramifié drainant l'ensemble de la plaine de Cuers : cette structure est très différente de celle que l'on voit le long de la vallée du Gapeau (à gauche) où les cours d'eau sont très courts et peu nombreux, et de celle du bassin du Réal Collobrier (à droite), qui possède une structure en peigne. La configuration en éventail avec un réseau très ramifié, qui caractérise le Réal Martin dans la traversée de la plaine de Cuers (et plus généralement de la dépression permienne), est celle qui conduit aux plus forts débits de crue par effet de concomitance des apports de tous les sous-bassins versants.

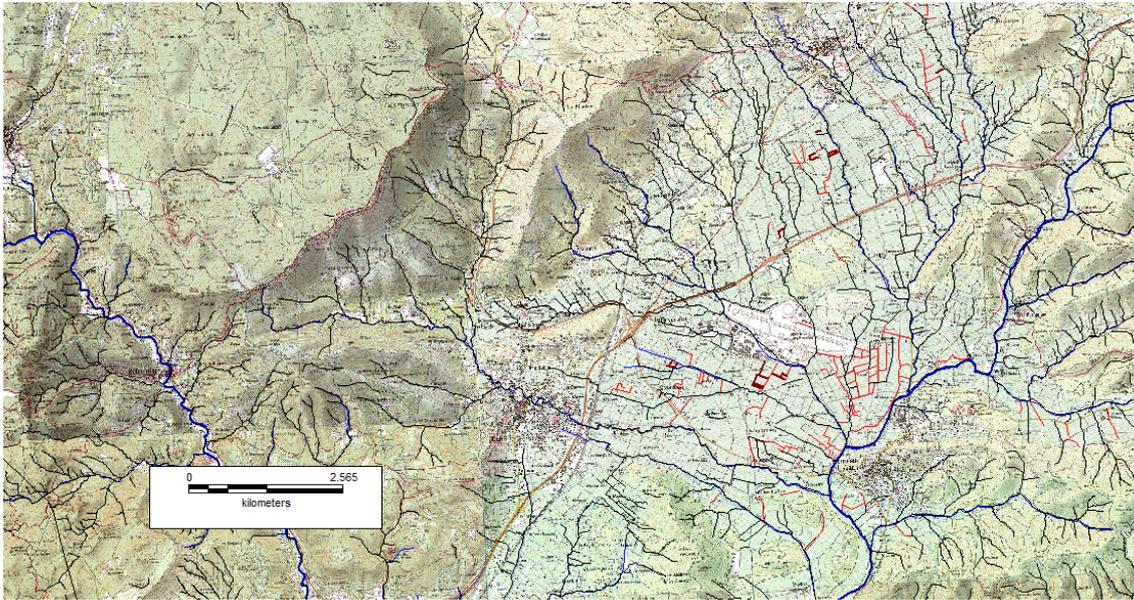


Figure 33 : Evolution du rapport entre débit du début du ressuyage et débit de pointe du Gapeau et du Réal Martin

On note une assez forte densité de fossés le long du réal Martin et de plusieurs de ses affluents, permettant une évacuation rapide des eaux pluviales comme des eaux de débordement des cours d'eau en période de crue. Ce réseau joue pendant les crues pour augmenter les débits reçus par le Réal Martin.

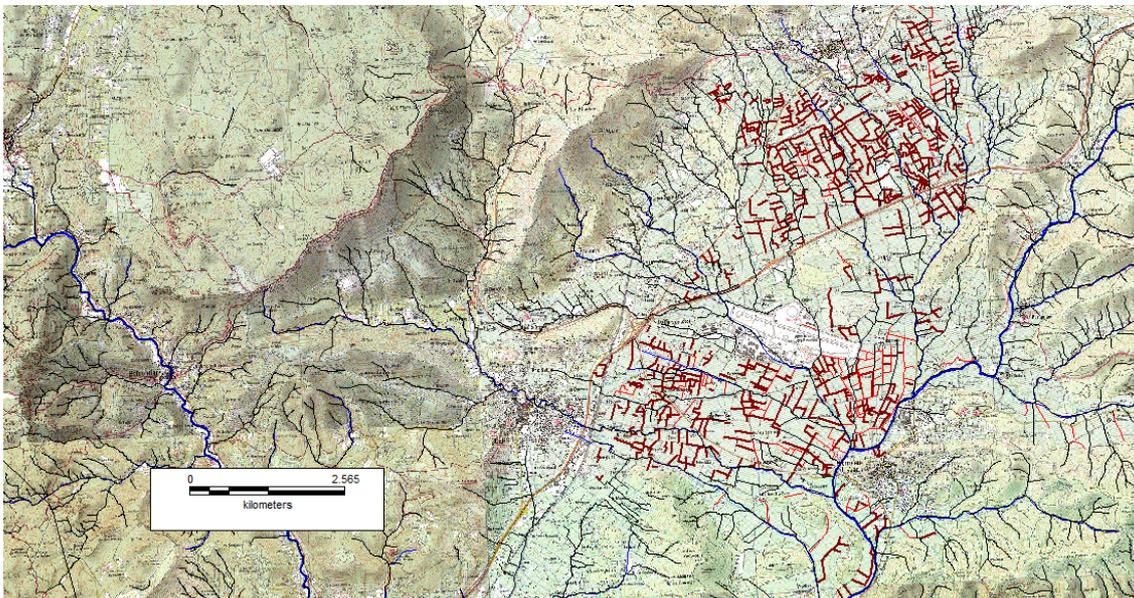


Figure 34 : Evolution du rapport entre débit du début de ressuyage et débit de pointe du Gapeau et du Réal Martin

Le réseau extrêmement dense de chemins sur la plaine contribue fortement à l'effet de canalisation des eaux, qui sont déjà fortement concentrées au niveau des zones urbaines et au niveau d'un nombre limité de passages hydrauliques sous les grandes infrastructures que sont la voie ferrée et l'autoroute.

Une configuration et une évolution comparables s'observent sur le bassin versant du Petit Réal, affluent du Gapeau en aval de Solliès-Pont : sur le terrain, on relève pour ce cours d'eau de très nets et très importants signes d'érosion des berges et d'enfoncement du lit qui ne s'expliquent que par des apports de forts volumes d'eau sur de courtes durées en période pluvieuse, qui se

traduisent par des débits très importants par rapport aux débits naturels de ce cours d'eau et de ses affluents. De telles observations peuvent se faire sur plusieurs ruisseaux de la plaine de Cuers.

Les conséquences de ces évolutions du fonctionnement hydrologique et hydraulique sur la plaine de Cuers sont alors d'une part des crues plus rapides et plus fortes du Réal Martin et du Gapeau à Hyères, d'autre part une nette dégradation morphologique des cours d'eau de la plaine.

5.2.7. Cas des ruisseaux du bassin versant du Réal Collobrier

Le CEMAGREF devenue l'IRSTEA, a équipé en hydrométrie et suivi plusieurs cours d'eau du bassin du Réal Collobrier : ce suivi a été fait sur 20 à 30 ans selon les stations, ce qui permet de déterminer des paramètres hydrologiques et des valeurs de débits maximaux de crue pour des événements de référence.

Ces éléments ont été analysés et pris en compte dans l'analyse, puis dans la modélisation hydrologique.

Le tableau suivant résume la liste des cours d'eau suivi et indique les débits de référence obtenus par traitements statistiques, les courbes d'ajustement par loi de Gumbel étant présentés en Annexe 3.

Cours d'eau / station	Superficie	Débit pour une période de retour de :			
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans
Valescure à Collobrières aval	9,22 km ²	5,3 (4,0 - 7,3)	9,0 (7,3 - 12,9)	11,5 (9,3 - 16,8)	13,8 (11,1 - 20,7)
Réal Collobrier à Collobrières Ste-Anne	29,5 km ²	20 (15 - 27)	30 (25 - 45)	37 (30 - 58)	44 (36 - 70)
Réal Collobrier à Collobrières village	29 km ²	14 (9 - 22)	26 (20 - 40)	33 (26 - 54)	40 (31 - 67)
Les Maurets à Collobrières Bourdins	8,37 km ²	3,4 (1,7 - 6,1)	6,4 (4,6 - 11,9)	8,4 (6,2 - 16,0)	10,4 (7,7 - 20,1)
Rimbaud à Collobrières Destrou	1,4 km ²	2,4 (1,9 - 3,3)	3,8 (3,1 - 5,4)	4,8 (3,9 - 7,0)	5,6 (4,6 - 8,5)
Malière à Collobrières Gour de l'Astre	12,3 km ²	7 (5 - 10)	12 (10 - 17)	16 (13 - 23)	19 (15 - 28)
Maraval à Pierrefeu Cogolins	5,5 km ²	1,5 (0,9 - 2,4)	3,0 (2,3 - 4,7)	4,0 (3,1 - 6,4)	4,9 (3,8 - 8,0)
Maraval à Pierrefeu Les Davids	9,7 km ²	3,5 (2 - 6)	6,5 (5 - 11,5)	8,5 (6 - 15)	10 (7,5 - 19)
Vaubarnier à Collobrières	1,54 km ²	0,7 (0,5 - 1,1)	1,3 (1,0 - 2,1)	1,7 (1,3 - 2,8)	2,1 (1,6 - 3,5)

Tableau 26 : Caractéristiques hydrologiques de cours d'eau du bassin du Réal Collobrier (source : Banque HYDRO)

Un traitement de ces valeurs selon la même méthode que plus haut permet d'exprimer et de comparer les valeurs de débits pseudo-spécifique de ces cours d'eau : cette analyse a été faite

ici à titre indicatif uniquement pour les crues décennales et en prenant en compte un exposant de 1 et de 0,85 :

Cours d'eau / station	Superficie	Débit pseudo-spécifique de crue décennale pour un exposant de :	
		0,85 ($Q_{10} = A \times S^{0,85}$)	1 ($Q_{10} = A \times S$)
Valescure à Collobrières aval	9,22 km ²	1,7	1,2
Réal Collobrier à Collobrières Ste-Anne	29,5 km ²	2,1	1,2
Réal Collobrier à Collobrières village	29 km ²	1,9	1,1
Les Maurets à Collobrières Bourdins	8,37 km ²	1,4	1,0
Rimbaud à Collobrières Destrou	1,4 km ²	3,6	3,4
Malière à Collobrières Gour de l'Astre	12,3 km ²	1,9	1,3
Maraval à Pierrefeu Cogolins	5,5 km ²	0,9	0,7
Maraval à Pierrefeu Les Davids	9,7 km ²	1,2	0,9
Vaubarnier à Collobrières	1,54 km ²	1,2	1,1

Tableau 27 : Débits pseudo-spécifiques de crue décennale des cours d'eau du bassin du Réal Collobrier

On constate une convergence de valeurs avec des valeurs proches de celle du Réal Collobrier au Pont de Fer (à savoir 1,9 pour un exposant de 0,85). Cette gamme de valeurs est jugée représentative du bassin du Réal Collobrier.

On relève cependant deux exceptions :

- le ruisseau de Rimbaud montre des valeurs particulièrement fortes, ce qui laisse penser à un fonctionnement particulier (il s'agit d'un très petit bassin versant en éventail en zone de crête), ou bien à des données erronées. Ce bassin n'est pas considéré ici comme représentatif.
- Le Maraval, qui présente des débits pseudo-spécifiques sensiblement plus faibles que ceux des autres cours d'eau du bassin versant du Réal Collobrier : ce point s'explique par la morphologie, la géologie, la végétation et la localisation du bassin et surtout de la vallée de ce cours d'eau. Il ne rejoint le Réal Collobrier que proche de la confluence avec le Réal Martin de ce bassin, après avoir traversé une plaine agricole relativement étroite mais longue et surtout plantée de vignes. Ce cours d'eau est considéré comme représentatif des affluents de rive gauche du Réal Martin et non des affluents du Réal Collobrier.

De même que pour les principaux cours d'eau du bassin versant du Gapeau, une estimation des temps caractéristiques des petits cours d'eau du bassin du Réal Collobrier a été faite.

Il convient cependant de considérer ces estimations comme peu précises du fait du peu de données disponibles, notamment l'absence de données de pluies sur ce bassin.

Par ailleurs, ces estimations sont représentatives du bassin versant du Réal Collobrier, pas des autres secteurs du bassin du Gapeau.

Le Maraval est quant à lui représentatif des affluents de rive gauche du Réal Martin en amont de Pierrefeu en ce qui concerne le fonctionnement hydrologique de ces cours d'eau en période de crue.

Ces estimations sont résumées dans le tableau suivant :

Cours d'eau et station	Vitesse de montée de crue (m ³ /s par heure)			Débit au début de ressuyage / débit de pointe		
	Moyenne	Min.	Max.	Moyenne	Min.	Max.
Réal Collobrier à Collobrières	3,4	1,2	12,5	58 %	50 %	67 %
Valescure à Collobrières	1,8	0,6	5,0	62 %	52 %	70 %
Maurets à Collobrières	1,1	0,6	2,8	63 %	52 %	67 %
Rimbaud à Collobrières	0,8	0,2	1,5	65 %	62 %	67 %
Vaubarnier à Collobrières	0,6	0,6	0,6	73 %	73 %	73 %
Maraval à Pierrefeu	5	1,5	11	64 %	53 %	75 %

Tableau 28 : Paramètres caractéristiques des crues des cours d'eau du bassin versant du Réal Collobrier

On constate que les vitesses de montée sont très faibles pour les petits cours d'eau du bassin versant du Réal Collobrier, du fait de leur réseau peu ramifié et de temps de réponse relativement longs : il s'agit de bassins boisés ayant une assez forte inertie en réponse aux pluies. De ce fait, un incendie est ici susceptible de modifier sensiblement la réponse des petits bassins versants. On note aussi un assez faible ressuyage, ces cours d'eau bénéficiant de peu de surfaces inondables.

Les paramètres mesurés pour le Réal Collobrier à Collobrières et pour le Maraval près de son exutoire sont comparables entre eux et assez différents des paramètres relatifs aux grands cours d'eau du bassin du Gapeau : ils sont représentatifs des ruisseaux moyens affluents de rive gauche du Réal Martin.

5.2.8. Conclusion de l'analyse hydrologique

Il apparaît que le bassin versant du Gapeau possède un fonctionnement hydrologique relativement homogène par secteur, mais assez différent d'un secteur à l'autre. Cette différence tient surtout à des conditions de relief, de couverture des sols, de géologie, de structure des réseaux hydrographiques et dans une moindre mesure d'artificialisation des bords des cours d'eau.

En ce qui concerne les estimations de débits de référence du Gapeau et du Réal Martin, malgré une sous-estimation des débits à Hyères et surtout à La Crau dans les tableaux de débits placés dans la banque HYDRO, l'introduction de valeurs mieux estimées pour la forte crue de janvier 2014 notamment permet un meilleur ajustement statistique, qui conduit à des estimations de débits de crues de références qui sont jugées cohérentes après application de plusieurs approches différentes.

Ces valeurs sont donc considérées comme acceptables : elles sont rappelées ci-après (sans indiquer l'intervalle de confiance et en considérant le débit de crue centennale comme indicatif, obtenu par extrapolation des ajustements).

Station	Surface (km ²)	Période de retour					
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Gapeau à Solliès-Pont	169	47	74	92	109	132	160
Réal Martin à La Crau	277	91	147	184	220	266	330
Réal Collobrier à Pierrefeu	70.6	33	57	72	87	106	150
Gapeau à Hyères	517	152	248	311	372	450	620

Tableau 29 : Débits de référence sur le bassin du Gapeau par ajustement de Gumbel

Pour mémoire, le cabinet SCP a estimé plausible en 2006 dans son étude d'aménagement de retenir à Hyères Sainte-Eulalie la plage des valeurs de référence suivantes :

- $Q_{10\text{ans}} = 300 \text{ à } 320 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{100\text{ans}} = 400 \text{ à } 420 \text{ m}^3/\text{s}$.

On constate une cohérence excellente pour la crue décennale, mais une forte sous-estimation pour la crue centennale liée à une forte sous-estimation des apports du Réal Martin probablement liée à la mauvaise estimation à la station de la Crau – Decapris.

Par ailleurs, l'analyse de l'évolution de certains paramètres hydrologiques permet de mettre en évidence une tendance continue sur le bassin du Réal Martin à une montée de crue de plus en plus rapide et à un débit de pointe de plus en plus fort par rapport au débit marquant le début du ressuyage. L'évolution de ces deux paramètres est interprété comme un rôle de moins en moins fort joué par la plaine de Cuers en tant que zone d'accumulation des eaux de ruissellement provenant de la plaine elle-même et des coteaux à l'Ouest, qui sont en partie urbanisés : les développements urbains récents, les grands aménagements d'infrastructures, la densification des réseaux de drainage et des chemins sur la plaine ont vraisemblablement conduit à une augmentation continue des débits déversés vers le Réal Martin et dans le Petit Réal depuis une trentaine ou une quarantaine d'années.

Les informations issues du traitement et de l'analyse critique de mesures sur le bassin du Gapeau sont considérées comme représentatives de secteurs donnés et peuvent être utilisées dans la modélisation hydrologique.

Tous ces éléments ont été introduits dans le choix des paramètres du modèle hydrologique du bassin du Gapeau, vérifié par comparaison des crues simulées avec enregistrements et observations.

Des hydrogrammes de crues des divers cours d'eau traités ici sont reportés en Annexe 4 à titre d'illustration ; la sélection d'événements a été faite de manière à montrer le panel de réponses hydrologiques enregistrées à ces différentes stations, sachant que la distribution spatiale et temporelle des pluies reste un paramètre important qui explique à elle seule une assez forte variabilité dans la forme des hydrogrammes.

5.3. TRAITEMENT STATISTIQUE DES VOLUMES

Afin de réduire l'impact de l'imprécision sur les forts débits sur les estimations de crues, nous avons complété le traitement statistique des débits maximaux de crue par un traitement statistique et un ajustement des volumes de crue mesurés entre le début de la crue et le début du ressuyage : l'erreur sur les forts débits est alors moins forte puisque la majeure partie du volume est écoulé sous des débits inférieurs aux valeurs d'incertitude des mesures.

Ce traitement statistique des volumes de crue a été fait pour les deux stations sur le Gapeau (à Solliès-Pont et à Hyères), pour la station actuelle sur le Réal Martin (à La Crau – Decapris) et l'ancienne stations des Jacarels, et pour la station sur le Réal Collobrier (Pont de Fer), ceci pour la période disponible dans la Banque Hydro : 1967 – 1981 pour le Réal Collobrier, 1969-1981 pour le Réal Martin aux Jacarels, 1970-2015 pour le Réal Martin à La Crau et les deux stations sur le Gapeau.

Le traitement est fait par la méthode d'ajustement de Gumbel, en considérant les valeurs maximales de chaque année de la période de traitement et en affectant à chaque valeur une fréquence apparente déduite de son rang dans l'échantillon classé.

En pratique, pour tenir compte du fait que certaines crues sont longues et résultent d'une succession d'averses, deux traitements ont été effectués :

- Le premier concerne les volumes écoulés sur toute la durée de la crue ;
- Le second porte sur le volume de crue ramené sur 48 heures (en multipliant par 48 le volume moyen horaire réel), ce qui ne modifie pas les valeurs pour la plupart de crue dont la durée est effectivement proche de deux jours. Ce traitement permet surtout d'éviter les valeurs « loin » de la droite d'ajustement.

Les résultats graphiques de ces traitements statistiques sont présentés ci-dessous pour les volumes réels sur la durée totale de crue, les volumes étant exprimés en millions de m³ :

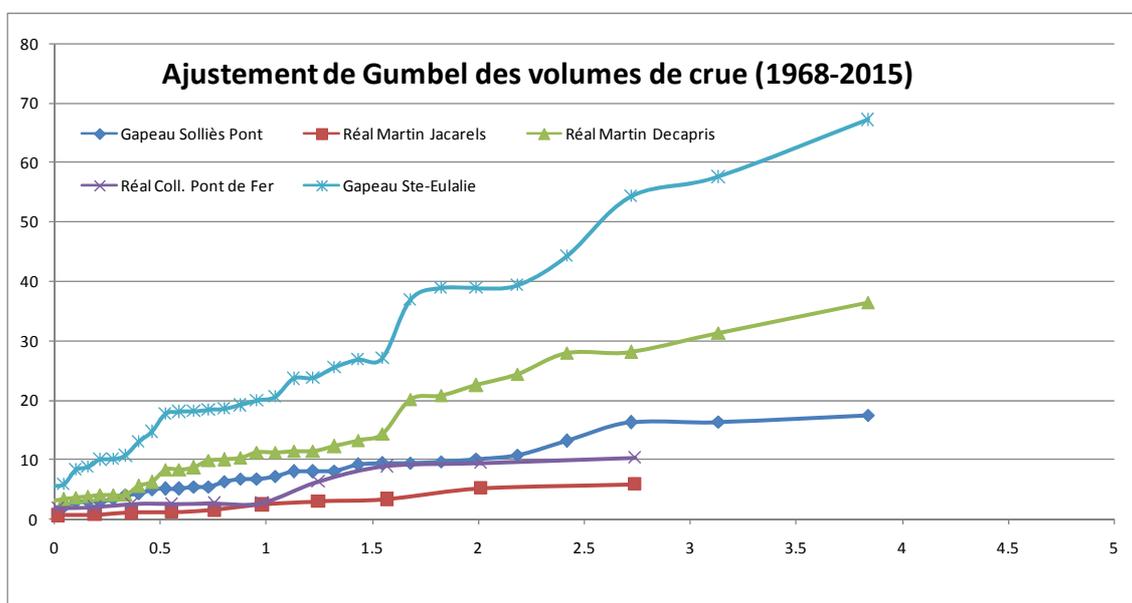


Figure 35 : Ajustement en diagramme de Gumbel des volumes de crue sur le bassin du Gapeau

Ce graphique étant peu lisible pour les stations de plus faibles volumes, la figure suivante montre cette représentation pour ces trois stations les plus en amont :

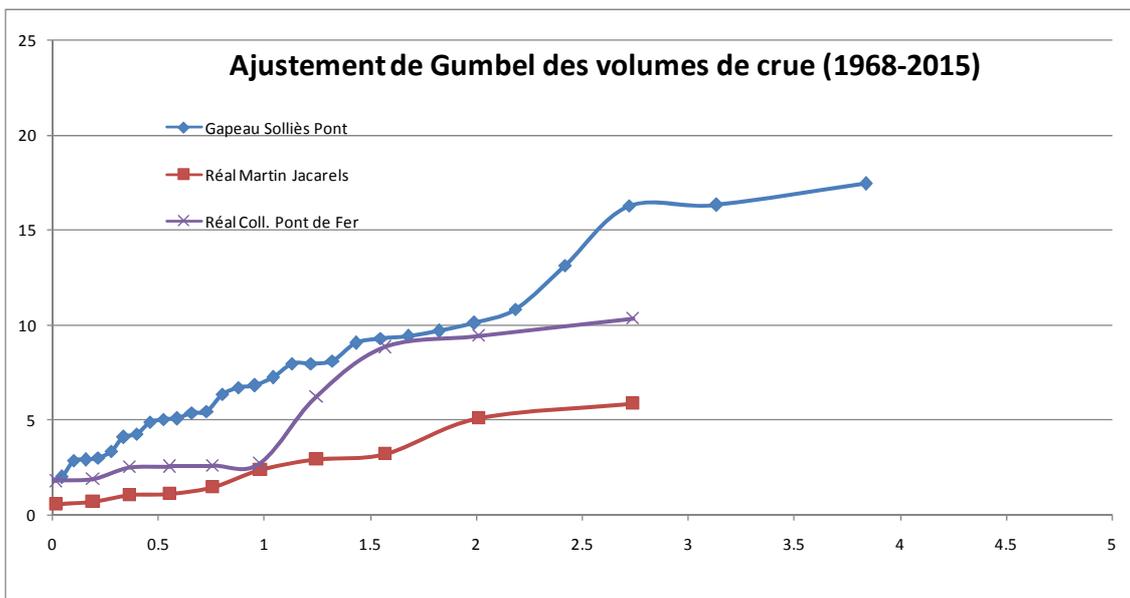


Figure 36 : Ajustement en diagramme de Gumbel des volumes de crue sur les stations amont

La qualité des ajustements (par droite de Gumbel ou autre) dépend d'abord de la qualité et de la représentativité des échantillons traités : le traitement des données brutes de volumes de crue montre certaines « anomalies » liées au fait que les crues ont des durées différentes, comme indiqué plus haut : c'est pourquoi les volumes de crues ont été « rapportés » à des durées de 48 heures et ont fait l'objet du même traitement statistiques. la représentation en diagramme de Gumbel est présenté ci-après :

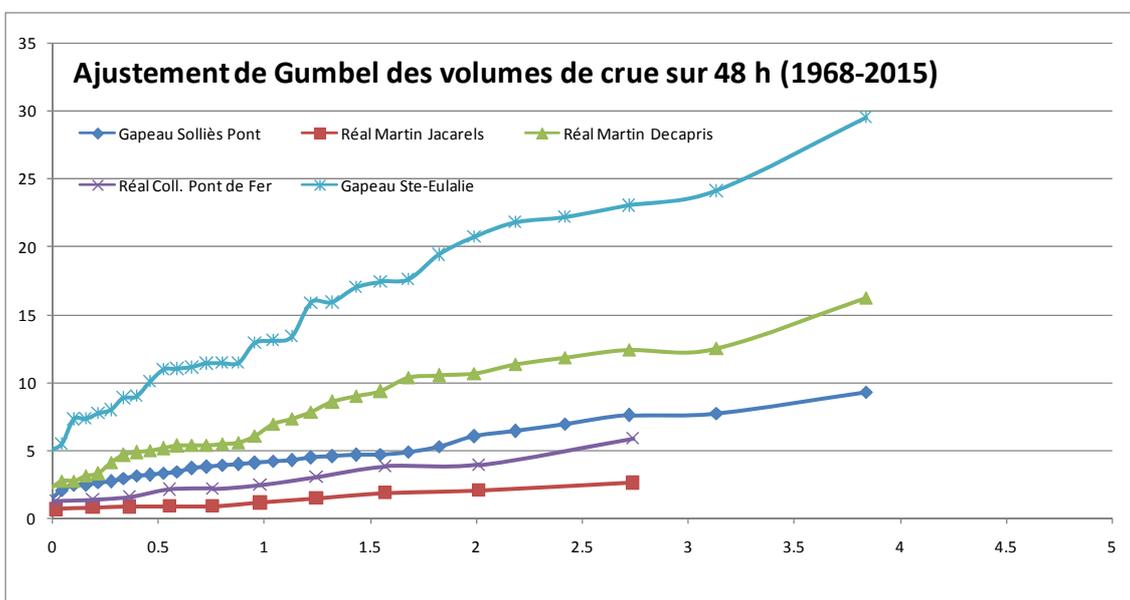


Figure 37 : Ajustement des volumes de crue ramenés sur 48 h

Cette représentation est faite en diagramme de Gumbel : l'abscisse est la période de retour en unité de Gumbel ($-\ln(-\ln(1-1/T))$) où T est la période de retour en années). Pour mémoire, un ajustement de Gumbel consiste à identifier la droite correspondant à la droite de tendance de la série expérimentale tracée en diagramme de Gumbel ; d'autre ajustement traduisant bien la tendance expérimentale sans que cela corresponde à une droite sont bien sûr possible, surtout si la tendance n'est pas clairement linéaire.

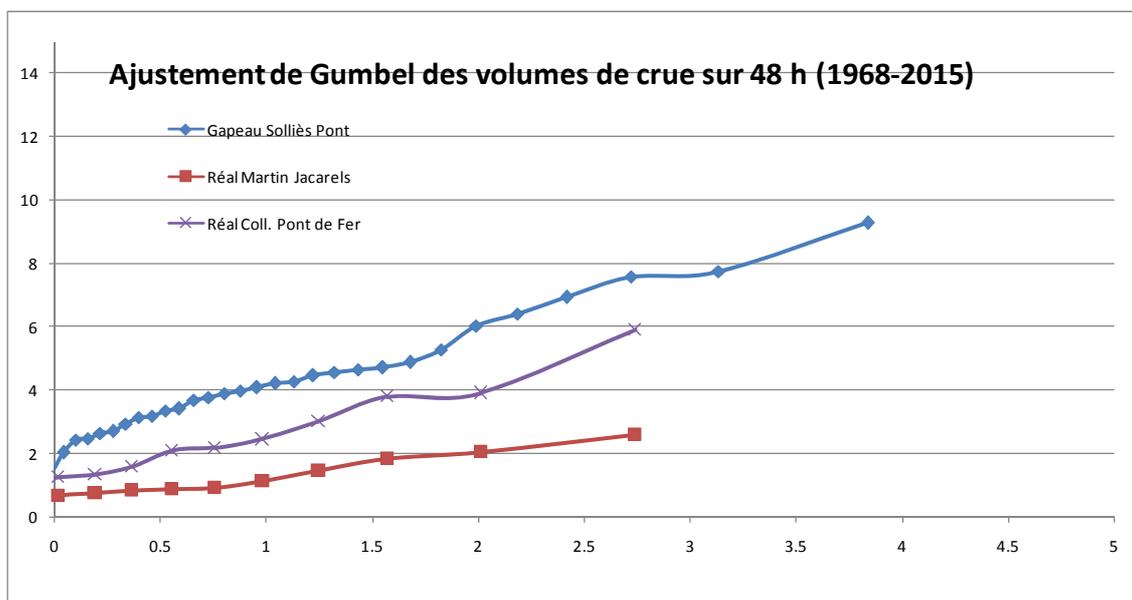


Figure 38 : Ajustement des volumes de crue sur les stations amont ramenés sur 48 h

Un ajustement linéaire d'assez bonne qualité est alors possible sur ce diagramme. Les valeurs proposées sont indiquées dans le tableau suivant :

Cours d'eau / station	Période de retour en années (et en Unités Gumbel)			
	10 ans (2,25)	20 ans (2,97)	50 ans (3,90)	100 ans (4,60)
Réal Collobrier / Pont de Fer	9,5 / 4,5	11 / 6		
Réal Martin / Jacarels	6 / 2,5	7 / 3		
Réal Martin / Decapris	23 / 14	20 / 14	38 / 17	45 / 20
Gapeau / Solliès-Pont	13 / 6,5	15 / 7,5	18 / 9,5	23 / 12
Gapeau / Ste-Eulalie	45 / 22	55 / 25	70 / 32	80 / 35

Tableau 30 : Ajustement statistique des volumes de crue (en millions de m³) et valeur ramenée sur 48 h aux stations du bassin du Gapeau

Remarque : les séries disponibles sont trop courtes pour les Réal Collobrier au Pont de Fer et pour le Réal Martin aux Jacarels pour estimer des volumes de crue pour des périodes de retour dépassant 20 ans.

Ce tableau indique notamment qu'une crue de fréquence centennale du Gapeau à Solliès-Pont, à Hyères – Sainte Eulalie et du Réal Martin à la Decapris correspondent à des volumes (entre début de crue et ressuyage) de l'ordre de 23, 80 et de 45 millions de m³ respectivement. On note par ailleurs que le volume de crue du Réal Martin à la Decapris représente un peu moins de 50 % du volume du Gapeau à Hyères, alors que cette proportion est plutôt de 55 à 60 % en termes de débits maximaux !

Considérant les taux de ruissellements estimés pour des fortes crues sur les bassins versants principaux cours d'eau de la zone d'étude, on peut alors proposer diverses répartition des volumes de pluies à l'origine de ces fortes crues.

6. MODELISATION HYDROLOGIQUE

6.1. CHOIX DU LOGICIEL

La modélisation hydrologique du bassin du Gapeau a été effectuée au moyen du logiciel (libre de droits) HEC HMS, version 3.5. Cet outil est bien adapté aux objectifs du fait de la possibilité de représenter séparément les sous-bassins et de les modéliser à partir de paramètres qui ont un sens physique et peuvent être estimés à la fois par l'expérience, des observations de terrain et des analyses poussées des données disponibles. Cette analyse préalable est indispensable car les paramètres hydrologiques ne peuvent pas se déduire de facteurs tels que la géologie, le relief ou la couverture des sols.

En outre, cet outil est assez bien adapté pour une utilisation ultérieure telle que l'estimation de l'effet sur les débits d'aménagement de bassins versants ou de zones d'expansion des crues, ou telle que la construction d'un système de vigilance aux crues à partir de prévisions de pluie.

Enfin, il est simple de faire évoluer le modèle par ajout d'éléments, re-découpage de sous-bassins versants (pour étude d'un petit sous-bassin), introduction d'événements pluvieux supplémentaires dans le catalogue de pluies de référence associé au modèle, ou encore ajustement de paramètres à l'éclairage d'observations sur les crues à venir.

6.2. STRUCTURE DU MODELE HYDROLOGIQUE

6.2.1. Principe de découpage en sous-bassins

Le bassin versant du Gapeau a été « découpé » en sous-bassins qui apparaissent dans la structure topologique du modèle. Ces sous-bassins sont en fait de deux natures et ont été limités en prenant en compte les aspects suivants :

- Les bassins versants de tous les affluents importants doivent être modélisés, de manière à préciser leur fonctionnement hydrologique propre et à calculer les hydrogrammes de crue à leur exutoire dans le fleuve ;
- Les zones « intermédiaires » représentant les écoulements diffus directement vers le Gapeau et le Réal Martin doivent être pris en compte sous forme de sous-bassins versants répartis le long de ces vallées ;
- De même, pour les affluents principaux, les bassins doivent être découpés en sous-bassins intermédiaires pour calculer des hydrogrammes tout le long des cours d'eau et non uniquement aux confluences, ce découpage se faisant en identifiant des sous-bassins de superficies comparables ;
- Un point de calcul doit se trouver au niveau ou à proximité des « points de contrôle hydrologique » tels que les stations hydrométriques ou encore les sites d'enjeux importants, par exemple sous forme d'extrémité d'un tronçon. **A cet égard, le modèle hydrologique devra être ajusté une fois définis les points d'implantation des futures stations hydrométriques que le Syndicat souhaite mettre en place.**

Avec cette approche, le bassin du Gapeau a été représenté selon deux découpages constituant deux modèles hydrologiques :

- Un premier modèle simplifié dont la topologie a été définie en rapport avec le caractère plus ou moins homogène des affluents et en fonction des points de contrôle tels que les

confluences et les stations hydrométriques : ce modèle contient 16 sous-bassins versants et a été utilisé pour le calage des paramètres hydrologiques secteur par secteur.

- Un second modèle plus détaillé pour pouvoir estimer les débits de crues de chacun des cours d'eau du réseau secondaire au niveau soit de la traversée de sites d'enjeux pour permettre des études locales, soit de secteurs riches en ZEC à étudier en mission suivante. Ce second modèle contient actuellement 99 sous-bassins versants. Le calage de ce modèle détaillé à partir des données disponibles n'étant pas possible, les paramètres ont été déduits de ceux établis au moyen du modèle simplifié.

Les figures suivantes montrent le découpage retenu pour chacun de ces deux modèles au travers de leurs structures topologiques.

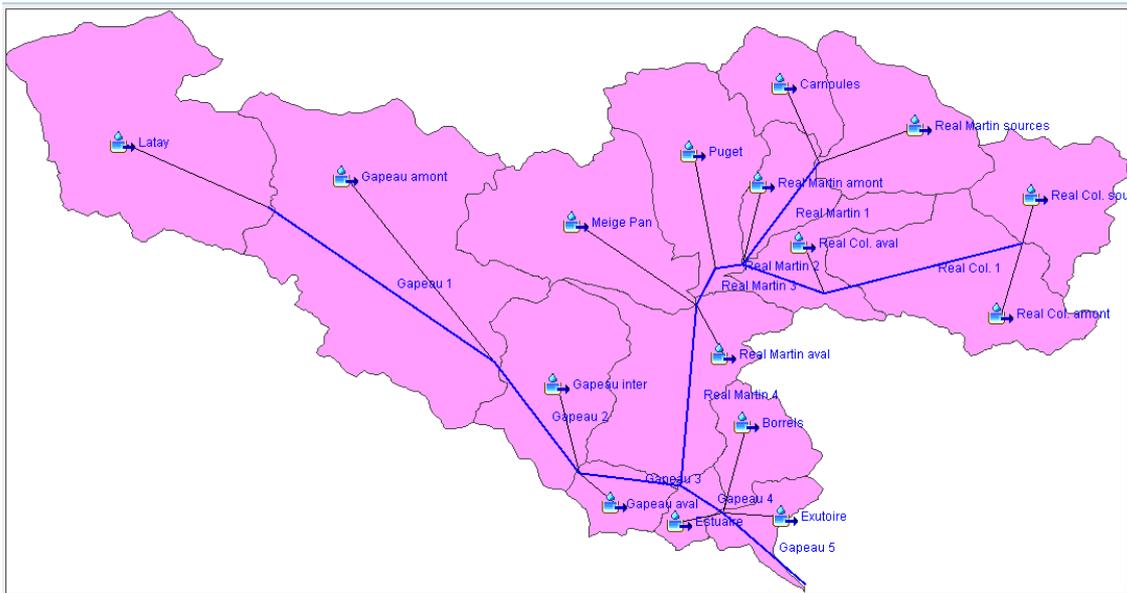


Figure 39 : Structure topologique du modèle simplifié du bassin versant du Gapeau

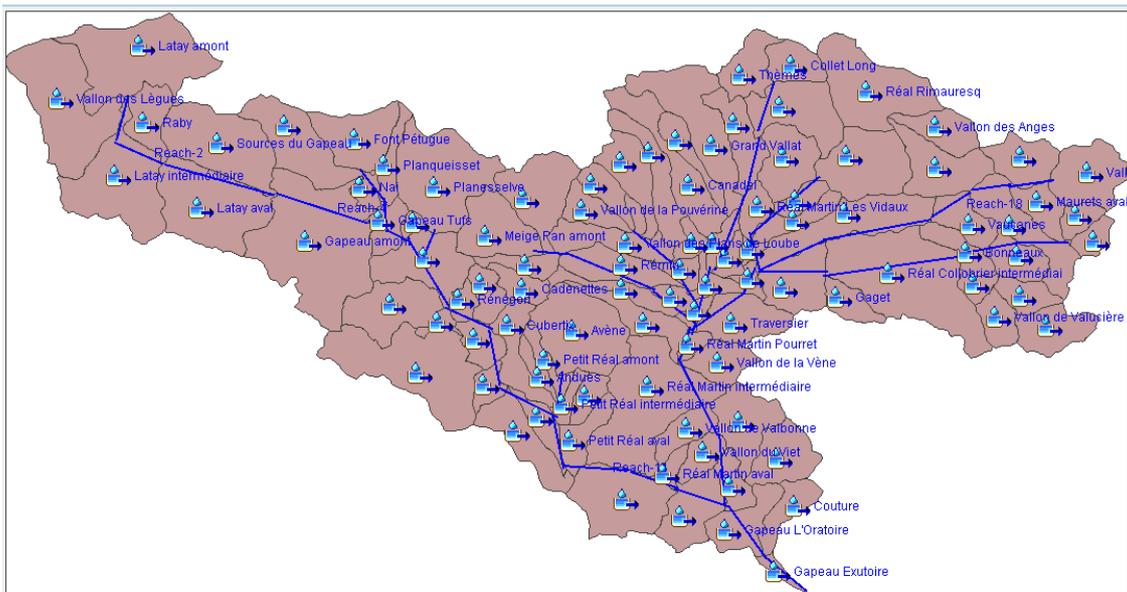


Figure 40 : Structure topologique du modèle détaillé du bassin versant du Gapeau

Il s'agit des versions de juin 2015 de ces deux modèles, appelés à évoluer tout au long de l'étude en cours en fonction des besoins en estimations de débits locaux.

6.3. PARAMETRES DU MODELE HYDROLOGIQUE

Les principaux paramètres descriptifs des sous-bassins versants sont les suivants :

- La superficie : ce paramètre est fourni sous SIG par la base de données associée au découpage cartographique représentant la délimitation des divers sous-bassins versants.
- Le taux de ruissellement ; dans HEC HMS, ce facteur est traduit par un seuil de pluie efficace (« Initial abstraction ») et par un numéro (« Curve Number ») ajustés par expérience et par analogie avec les bassins jaugés du territoire.
- Le temps de réponse (« lag time ») qui est le paramètre qui suffit à calculer la transformation pluie-débit par une approche dérivée de la méthode de l'hydrogramme unitaire. Ce paramètre d'abord défini par expérience a été ajusté sur les mesures et observations lors de crues récentes.
- Le débit de base, le ratio entre débit de pointe et début de ressuyage ainsi que la vitesse de ressuyage ont été globalement ajustés par grand secteur à partir du traitement des données hydrométriques.

Le tableau suivant précise les valeurs des principaux paramètres de modélisation des sous-bassins versants ; la totalité des paramètres peut être lue par consultation du modèle. **Ces paramètres sont appelés à évoluer dans le temps en fonction des données mesurées lors des événements à venir non seulement sur les trois stations hydrométriques de la DREAL, mais aussi au Pont de Fer et au niveau des stations hydrométriques que le SMBVG envisage de mettre en place sur le bassin versant.**

Le tableau suivant ne concerne que le modèle simplifié. Les valeurs des paramètres sont provisoires.

Sous-bassin	Superficie (km ²)	Seuil de pluie efficace (mm)	Curve Number	Lag time (mn)
Real Col. amont	44.53	30	60	360
Real Col. sources	27.43	30	60	300
Real Col. aval	20.23	30	50	240
Real Martin sources	33.98	35	55	420
Carnoules	16.65	35	60	400
Real Martin amont	14.48	35	50	260
Puget	39.67	38	45	400
Meige Pan	64.61	40	40	300
Real Martin aval	25.47	40	35	120
Gapeau amont	107.60	35	50	350
Latay	75.45	40	45	500
Gapeau inter	36.54	35	40	160
Gapeau aval	25.47	30	55	120
Borrels	15.34	25	65	200
Exutoire	9.68	28	48	20
Estuaire	6.30	25	45	25

Tableau 31 : Paramètres hydrologiques des sous-bassins dans le modèle hydrologique simplifié

6.4. EXPLOITATION DES MODELES HYDROLOGIQUES

6.4.1. Niveau de calage et fiabilité du modèle

Après « calage » sur des événements réels (crues de janvier et novembre 2014), le modèle a été utilisé pour simuler diverses crues observées mais aussi des crues de projet à partir de pluies statistiques de diverses périodes de retour.

Le modèle hydrologique du bassin versant du Gapeau est complexe à caler, y compris le modèle simplifié contenant 16 sous-bassins, car la superficie est importante et se trouve marquée par une assez forte hétérogénéité des pluies intenses mais relativement brèves.

En outre, les données disponibles pour le calage et la vérification de la qualité du modèle hydrologique sont peu nombreuses et de qualité globalement médiocre en ce qui concerne le suivi des forts débits ; le suivi pluviométrique traduit sous forme de lames d'eau calculées par le SPC MedEst à partir d'image radar au pas de temps horaire fournit en revanche un très bon jeu de données d'entrées. L'expérience montre que, en phase de calage d'un modèle hydrologique, les données de pluies sont celles qui influencent le plus les résultats de simulation.

Le modèle hydrologique simplifié est aujourd'hui considéré comme assez bien calé, même si des ajustements mineurs sont à prévoir en fonction de l'amélioration de la connaissance du fonctionnement hydrologique réel grâce à l'effort de métrologie engagé et à une meilleure prise en compte de l'effet des ZEC des bassins versants dans la suite de l'étude.

Il est en effet à noter que le modèle reste à améliorer dans le calcul d'amortissement des crues le long de la vallée du Réal Martin particulièrement.

6.4.2. Crues de référence

Débits et volumes de crues courantes à moyennes

Les valeurs de débits et volumes de crues du Gapeau et de ses affluents pour diverses périodes de retour seront détaillés ultérieurement.

7. SCENARIOS HYDROLOGIQUES DE FORTES CRUES DU GAPEAU

7.1. METHODE DE CONSTRUCTION

Considérant les taux de ruissellements estimés pour des fortes crues sur les bassins versants principaux cours d'eau de la zone d'étude et les volumes de crue du Réal martin et du Gapeau, on peut alors proposer diverses répartitions des volumes de pluies à l'origine de ces fortes crues.

Le rapport de Mission 2 présente les valeurs moyennes, les écarts-types et les valeurs maximales des taux de ruissellement estimés au niveau des stations hydrométriques. Il

présente aussi une corrélation entre ces taux de ruissellement et le débit maximal, montrant pour le Réal Martin et le Gapeau aval que les taux sont d'autant plus forts que le débit maximal de crue est élevé (le taux de ruissellement varie peu avec le ce débit maximal pour le bassin amont du Gapeau).

Le tableau suivant rappelle les ordres de grandeur de ces taux de ruissellement et indique l'interception initiale, les durées et volumes de pluie correspondant, ceci pour une crue centennale :

Cours d'eau et station	Gapeau à Solliès-Pont	Gapeau à Hyères – Sainte-Eulalie	Réal Martin à la Crau - Decapris
Surface de bassin versant	169 km ²	517 km ²	277 km ²
Volume de crue avant ressuyage	23 millions de m ³	80 millions de m ³	45 millions de m ³
Volume de ressuyage	1 million de m ³	6 millions de m ³	3 millions de m ³
Volume total de crue	24 millions de m ³	86 millions de m ³	48 millions de m ³
Taux de ruissellement	40 % à 45 %	45 % à 55 %	55 % à 65 %
Interception initiale	35 mm	35 mm	40 mm
Volume de pluie	53 à 60 millions de m ³	156 - 191 millions de m ³	74 à 87 millions de m ³
Lame d'eau moyenne	314 à 355 mm	302 à 369 mm	267 à 314 mm

Tableau 32 : Estimation des volumes de pluies à l'origine d'une crue centennale du Réal Martin et du Gapeau sur la zone aval

Remarques :

- Le volume de ressuyage est estimé par application d'un taux de pourcentage du volume de crue avant ressuyage, ce taux étant estimé à partir des enregistrements d'hydrogrammes de crues récentes. Il représente 4 % pour le Gapeau amont, 7 à 8 % pour le Réal Martin et le Gapeau aval
- Le volume de pluie est le rapport entre le volume total de crue et le taux de ruissellement. Dans le cas du Gapeau amont, un taux élevé est pris en compte pour les fortes crues pour tenir compte d'apports karstiques très mal connus.
- La lame d'eau moyenne est le rapport entre le volume de pluie et la surface de bassin versant. Elle mesure la valeur moyenne du cumul de précipitations de manière homogène sur le bassin versant considéré.

D'après ce tableau, une crue de fréquence centennale du Gapeau dans la plaine de Hyères correspond alors, en termes de volumes, à une lame d'eau **moyenne** de l'ordre de 340 mm affectant la totalité de son bassin versant. Cette lame d'eau est le cumul sur une durée complète d'averse inférieure à un quart de la durée de crue et dépassant le temps de concentration du bassin versant du Gapeau dans sa globalité ; l'analyse des données et une estimation « théorique » indiquent que le temps de concentration est de l'ordre de :

- 16 h pour le Gapeau à Solliès-Pont,
- 12 h pour le Réal Martin à La Crau – Decapris,

- 20 h pour le Gapeau à Hyères – Sainte-Eulalie.

La durée de crue est variable d'un événement à l'autre. Pour les fortes crues, cette durée est de l'ordre de :

- 50 h pour le Gapeau à Solliès-Pont,
- 150 à 200 h pour le Réal Martin à La Crau – Decapris,
- 200 à 350 h pour le Gapeau à Hyères – Sainte-Eulalie.

L'analyse de fortes crues récentes montrent par ailleurs que la durée de pluie associée est en général de l'ordre de 2 jours au moins, avec une distribution spatiale et temporelle hétérogène.

Ces éléments conduisent alors à envisager une durée de pluie de 2 à 2,5 jours.

C'est sur la base de ces éléments que doivent être construits de scénarios de pluies à l'origine d'une crue centennale sur la basse plaine du Gapeau.

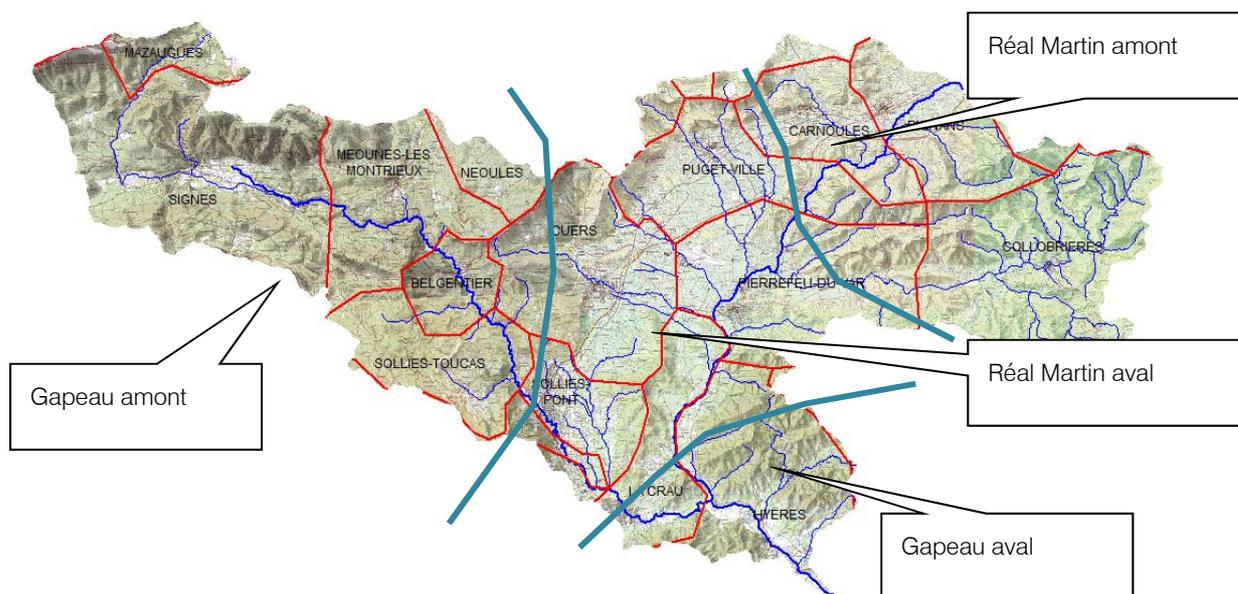
7.2. SCENARIOS PROPOSES

En pratique, quatre scénarios de pluie sont proposés, tenant compte de l'ensemble des éléments détaillés plus haut et en cherchant à étudier des situations sensiblement différentes.

Le tableau suivant présente ces quatre scénarios pluviométriques à partir d'une répartition des volumes de pluie sur le bassin versant selon quatre grands secteurs :

Scénario	Gapeau amont	Réal Martin amont	Réal Martin aval	Gapeau aval
1	Volume (184 millions de m ³ sur tout le BV) sur 55h réparti de manière homogène			
2	57 Mm ³ en 55h	80 Mm ³ en 55 h		47 Mm ³ en 55 h
3	28 Mm ³ en 55h	60 Mm ³ en 55 h	20 Mm ³ en 55 h	47 Mm ³ en 55 h
4	28 Mm ³ en 55h	20 Mm ³ en 55 h	60 Mm ³ en 55 h	47 Mm ³ en 55 h

Tableau 33 : Définition des scénarios pluviométriques pour une crue centennale du Gapeau aval



Le scénario 1 est une hypothèse de distribution homogène de pluie sur la totalité du bassin versant. Parfois observée pour des crues courantes à moyennes, elle est peu probable en cas de très forte averse mais reste possible.

Le scénario 2 est celui qui conduit théoriquement à une crue centennale du Gapeau à Solliès-Pont et une crue centennale du Réal Martin à la Crau par une pluie homogène sur son bassin versant en amont de Pierrefeu-du-Var, y compris sur le Réal Collobrier.

Le scénario 3 est une variante du précédent en considérant que la pluie tombe majoritairement sur la partie amont du bassin du Réal Martin (et du Réal Collobrier).

Le scénario 4 est aussi une variante du scénario 2 en supposant que les pluies se concentrent surtout sur la partie aval du bassin du Réal Martin.

En termes de lame d'eau, ces scénarios correspondent alors aux valeurs suivantes :

Scénario	Gapeau amont	Réal Martin amont	Réal Martin aval	Gapeau aval
1	Pluie homogène de 335 mm sur 55 h			
2	320 mm en 55 h	290 mm en 55 h		122 mm en 55 h
3	160 mm en 55 h	400 mm en 55 h	150 mm en 55 h	200 mm en 55 h
4	160 mm en 55 h	120 mm en 55 h	430 mm en 55 h	200 mm en 55 h

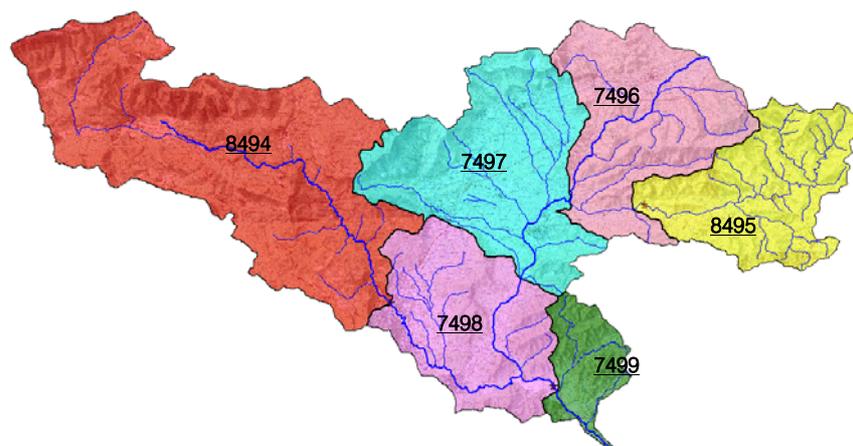
Tableau 34 : Définition des scénarios pluviométriques pour une crue centennale du Gapeau aval

Enfin, le tableau suivant résume ces scénarios en indiquant la répartition des volumes de pluie entre régions pluviométriques telles que définies pour la modélisation hydrologique, en considérant que ces lames d'eau sont déversées sur une durée de 55 heures :

Scénario	8494	8495	7496	7497	7498	7499
1	Pluie homogène de 335 mm sur 55 h					
2	320 mm	290 mm			122 mm	
3	160 mm	400 mm	150 mm	200 mm		
4	160 mm	120 mm	430 mm	200 mm		

Tableau 35 : Répartition des cumuls de pluie par région pluviométrique pour les quatre scénarios

La figure suivante rappelle la localisation de ces diverses régions pluviométriques à partir de leur numéro dans les traitements numériques :



En termes de cinétique de la pluie, ces lames d'eau sont fournies sur une durée totale de 55 heures, et avec une intensité maximale sur une durée totale proche du temps de concentration du bassin total du bassin versant du Gapeau, soit environ 20 heures.

7.3. REPONSE AUX SCENARIOS PLUVIOMETRIQUES

Le tableau suivant indique les valeurs de débit maximal de crue obtenues en simulant les quatre scénarios pluviométriques, ceci au niveau des stations hydrométriques, mais aussi à la confluence du Réal Martin et du Réal Collobrier, à la confluence du Réal Martin et du Gapeau ainsi qu'à l'exutoire du Gapeau :

Scénario	1	2	3	4
Gapeau à Solliès-Pont	150 m ³ /s	138 m ³ /s	55 m ³ /s	55 m ³ /s
Réal Martin à la confluence avec le Réal Collobrier	115 m ³ /s	112 m ³ /s	145 m ³ /s	25 m ³ /s
Réal Collobrier	218 m ³ /s	208 m ³ /s	275 m ³ /s	45 m ³ /s
Réal Martin à la Decapris	440 m ³ /s	425 m ³ /s	480 m ³ /s	172 m ³ /s
Réal Martin à la confluence avec le Gapeau	610 m ³ /s	590 m ³ /s	540 m ³ /s	412 m ³ /s
Gapeau à la confluence avec le Réal Martin	480 m ³ /s	360 m ³ /s	170 m ³ /s	170 m ³ /s
Gapeau à Sainte-Eulalie	1 090 m ³ /s	940 m ³ /s	710 m ³ /s	580 m ³ /s
Gapeau à l'exutoire	1 150 m ³ /s	955 m ³ /s	740 m ³ /s	615 m ³ /s

Tableau 36 : Débits maximaux pour les quatre scénarios pluviométriques de fortes crues

7.4. BILAN : DEBITS DE FORTES CRUES

Le tableau de synthèse présenté ci-dessus montre qu'un même volume de crue, associée à des pluies ayant des durées et des cumuls quasi-identiques mais des distributions spatiales différents peuvent produire des valeurs très sensiblement différentes au niveau du Gapeau et du Réal Martin sur leur partie aval. En outre, il est aussi envisageable de connaître des événements pluvieux marqués par une distribution spatiale plus ou moins forte combinée avec des décalages temporels entre les moments où se produisent les fortes intensités (des durées assez longues et homogènes ont été prises en compte ici).

Pour exploiter ces résultats il est alors nécessaire d'apprécier la représentativité des scénarios envisagés, mais cela ne peut se faire qu'à dire d'expert :

- Le scénario 1 fondé sur une pluie forte et homogène sur tout le bassin versant conduit à une crue quasi-centennale du Gapeau amont, du Réal Martin amont et du Réal Collobrier, ainsi que des fortes crues des cours d'eau de la plaine entre Hyères et Cuers : les cumuls sont alors considérables et correspondent à un événement très rare, dont la période de retour excède probablement très largement 100 ans. Les valeurs de débit du Gapeau aval et du Réal Martin aval sont certainement nettement supérieures aux valeurs en crue centennale.
- Le scénario 2 est également pénalisant, mais reste plus probable, puisqu'il consiste à envisager une forte pluie sur la totalité du bassin du Réal Martin et sur les affluents du Gapeau entre Solliès-Pont et Hyères. Il est probable qu'un tel événement conduise à une très forte crue du Réal Martin et de fait du Gapeau aval.
- Le scénario 3 envisage une pluie forte sur tout l'amont du bassin du Réal Martin et sur le bassin du Réal Collobrier, simultanément avec des pluies moyennes sur le reste du bassin versant : il s'agit d'un événement probable, puisqu'il a déjà été observé en termes de configuration, notamment en janvier 2014 (mais avec des cumuls nettement plus faibles). Ce scénario conduit à des ordres de grandeur représentatifs des crues de fréquence centennale du Réal Martin et du Gapeau aval.
- Le scénario 4 est également probable, en considérant une pluie moyenne sur l'ensemble du bassin versant, sauf sur la plaine entre Cuers, Solliès-Pont et Hyères. Un tel événement génère une crue moyenne du Réal Martin amont et du Réal Collobrier, mais de forts débits dans le Gapeau aval du fait des apports de tous les cours d'eau de cette plaine centrale et de la zone aval du bassin.

En conclusion, nous proposons de retenir comme ordres de grandeurs des débits de crue centennale du Gapeau et du Réal Martin sur leur zone de confluence (et sur la plaine côtière) des valeurs de :

- 450 à 500 m³/s pour le Réal Martin à la confluence avec le Gapeau,
- 600 à 650 m³/s pour le Gapeau à Hyères.

Pour mémoire, le traitement statistique présenté dans le rapport de Mission 2 propose une valeur de 620 m³/s pour le Gapeau à Hyères – Sainte-Eulalie, c'est-à-dire une valeur cohérente avec la présente analyse.

Nous proposons donc de retenir cette valeur.

8. INTEGRATION A L'ETUDE

8.1. STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA

L'analyse du fonctionnement hydrologique du bassin versant du Gapeau à partir de données comme par modélisation a permis de mettre en évidence un fonctionnement peu pénalisant du Gapeau lui-même et du Réal Collobrier pour la zone de plaine ; sur cette plaine, de Pierrefeu à la mer, les problèmes proviennent principalement des crues du Réal Martin qui est marqué par une montée rapide de ses débits et des valeurs fortes du fait d'apports naturels mais aussi d'apports fortement modifiés de l'ensemble de la plaine de Cuers. Cette évolution des débits naturels concerne aussi le bassin du Petit Réal.

On relève aussi des désordres locaux liés à des forts débits en période pluvieuses au niveau de petits cours dont le bassin versant a fortement évolué du fait de l'urbanisation ; c'est par exemple le cas le long de divers cours d'eau de la commune de Cuers.

On note enfin des problèmes d'inondation sur des sites d'enjeux proches de l'exutoire de petits bassins versants susceptible de crues violentes et rapides en période de pluies très intenses, comme par exemple près du ruisseau des Borrels, même si ces cours d'eau n'ont pas connu des évolutions très fortes de leur bassin versant et de leur fonctionnement hydrologique au cours des dernières décennies. La plaine de Signes et le village de Collobrières par exemple sont particulièrement concernées par ce risque d'inondation naturelle.

Il convient donc d'analyser ces dysfonctionnements et ces problèmes locaux et globaux à partir de la stratégie suivante :

- Identification des enjeux exposés à un risque d'inondation : ces éléments sont en grande partie connus, mais doivent faire l'objet d'un travail de compilation et d'interprétation, pour identifier les sites concernés par des inondations en cas de crues courantes, moyennes ou fortes des grands cours d'eau ou de ruisseau du réseau secondaire. L'Atlas des Zones Inondables, les PPRi et les études du TRI fournissent des éléments de réponse partielle.
- Analyse du fonctionnement hydrologique des cours d'eau concernés, à partir des éléments contenus dans le présent rapport et du modèle hydrologique, de manière à préciser la fréquence du risque et à caractériser le caractère plus ou moins naturel du fonctionnement actuel.
- Identification de pistes de solutions de réduction de l'aléa par réduction des apports de débits (au moyen d'ouvrages de rétention par exemple), d'allongement des temps de réponse des bassins versants et des cours d'eau, ou par combinaison des deux. Dans le cadre la mobilisation de ZEC du territoire peut être selon le cas une réponse suffisante.
- Pour le Réal Martin, définition et mise en place d'une stratégie spécifique de réduction des débits d'apport par mobilisation d'espaces répartis sur la plaine pour « freiner » le ruissellement et fortement étaler les apports dans le temps.
- Pour le Gapeau dans son ensemble, mobilisation de ZEC de plaine aménagée en système de rétention (comme par exemple à Plan du Pont) pour écrêter les débits.
- Analyse d'efficacité cumulée des dispositifs de réduction des débits en fonction de la rareté de l'événement de crue.
- Etude de dispositifs complémentaires de réduction de l'aléa résiduel par gestion des débordements au moyen de chenaux de crues ou d'axes d'écoulement préférentiels dans la plaine, le cas échéant par protections rapprochées (digues) de sites vulnérables et enfin amélioration des conditions d'évacuation dans la traversée de sites vulnérables si acceptable en aval (notamment gestion des dépôts sableux de l'embouchure, amélioration de capacité d'ouvrages de franchissement...).

- Mise en place de dispositifs compensatoires à l'urbanisation à venir et éventuellement actuelle.

Cette stratégie de réduction de l'aléa doit être complétée par une stratégie de réduction de vulnérabilité, par prise en compte du risque dans l'urbanisme, le cas échéant déplacement d'enjeux vulnérables hors des zones de danger, mise en place d'actions individuelles dans les habitations et les sites d'activité, amélioration de la prévision de crue et pose de systèmes locaux d'alerte...

Ces éléments seront à compléter et détailler dans le cadre du futur PAPI du bassin versant du Gapeau.

8.2. CARACTERISATION DES ENJEUX

L'opportunité de valoriser les zones d'expansion des crues sur le bassin versant se justifie non seulement par l'incidence hydraulique positive de ces dernières mais surtout par la propension des acteurs locaux à pouvoir préserver voire optimiser le fonctionnement de ces dernières.

Pour être en mesure de se prononcer sur les enjeux présents au droit de toutes les ZEC potentielles, nous avons procédé à une première analyse des enjeux présents qui sera enrichie dans le cadre des futurs SAGE et PAPI. A ce titre, une base de données infographiques a été créée à partir des informations disponibles. Elle distingue les enjeux en termes d'activité humaine et les enjeux environnementaux.

Le bassin versant du Gapeau se distingue par une activité agricole marquée du fait de la richesse des vallées du Gapeau, du Réal Martin et du Réal Collobrier. Toutefois, l'attractivité exceptionnelle des sites, la proximité de l'aire toulonnaise et du littoral varois ont favorisé le développement des communes et l'accroissement démographique. Le développement du tourisme et la disponibilité de terres plates ont permis l'implantation des campings.

La vallée du Gapeau, une plaine agricole entre Provence Calcaire et Provence Cristalline
(extrait du SCOT Provence Méditerranée) :

A l'ouest, se trouve le plateau calcaire de Siou Blanc, couvert de pins d'Alep, de chênes verts et de garrigues, avec ses massifs caractéristiques très marqués (le Coudon est le plus emblématique) drainé par la vallée du Gapeau entre Belgentier et Solliès-Toucas (canyon karstique). A l'est s'opposent les reliefs cristallins plus doux des contreforts des Maures, recouverts de pins maritimes, de chênes lièges et de maquis. Au centre de ce territoire s'étend une vaste plaine agricole, la dépression permienne, qui sépare la Provence calcaire de la Provence Cristalline. Cette plaine fertile est un vaste couloir naturel entre Toulon et Fréjus. Par cette situation, le secteur de la Vallée du Gapeau était appelé à accueillir l'extension de l'agglomération toulonnaise. De nombreuses voies de communications (voies ferrées, routes, autoroutes) s'y sont développées, elles coupent aujourd'hui la vallée selon un axe Nord / Sud. Ainsi, un couloir d'urbanisation s'est développé sur la partie ouest de la plaine et sur les contreforts des massifs, le long des infrastructures (La Farlède, Solliès Pont et dans une moindre mesure Solliès Ville et Solliès-Toucas). La Crau s'est développée sous forme de deux noyaux distincts (le village et la Moutonne) soumis à l'influence de l'A57 et de l'A570. La partie est de la dépression permienne est restée à dominante agricole, avec trois terroirs dominants :

- ✎ *l'horticulture au sud qui appartient au bassin de production hyérois,*
- ✎ *la viticulture à l'est (AOC Côtes de Provence)*
- ✎ *et les vergers au cœur du territoire (figuiers et cerisiers sur la plaine, oliviers en restanques dans la haute vallée).*

Les communes bordées par le Réal Collobrier, le Réal Martin, le Petit Réal et leurs affluents, disposent d'une agriculture majoritairement viticole.

Les distinctions entre les activités agricoles du Gapeau et du Real Martin viennent de la morphologie du bassin versant mais également du patrimoine transmis par les anciennes générations.

- ⌘ En effet, à l'Est, la vallée peu encaissée favorise la culture viticole sur de grandes surfaces et on y retrouve de nombreux domaines avec des vins AOC.
- ⌘ A l'Ouest, la culture en terrasse était priorisée grâce à une vallée très encaissée. Cependant, ces restanques sont souvent moins bien entretenues ou laissées à l'abandon ce qui a pour effet de favoriser l'urbanisation de ces zones.

8.2.1. Objectif de la base de données

La base de données « Analyse ZEC » a été construite avec pour objectif son utilisation pour l'évaluation des zones potentiellement utilisables pour les expansions de crues ainsi que pour l'évaluation des aménagements nécessaires à son fonctionnement.

Elle est complétée par les enjeux présents à proximité des ZEC. Ces enjeux se composent des enjeux liés aux activités humaines et des enjeux environnementaux.

8.2.2. Sources de données

La base de données des enjeux a été construite à partir des données ci-dessous puis complétée par une campagne terrain :

- ⌘ Les orthophotos publics
- ⌘ Le scan25
- ⌘ La BD TOPO – CRIGE PACA
- ⌘ L'occupation du sol - Corine Land Cover
- ⌘ Les zones naturelles protégées - CARMEN
- ⌘ Les périmètres de protection - Agence Régionale de Santé.

8.2.3. Typologie retenue

Les grandes classes d'enjeu retenues sont les suivantes :

Enjeux – Activités humaines	Urbain
	Industries et commerces
	Aérodrome
	Décharges et mines
	Terres arables
	Vignobles
	Vergers et petits fruits
	Oliveraies
	Prairies
Enjeux environnementaux	Périmètre de Protection Non Actif (captages)
	Périmètre de Protection Rapproché (captages)
	Périmètre de Protection Eloigné (captages)
	Zones humides
	ZNIEFF Type 1
	ZNIEFF Type 2
	Natura 2000
	Réservoir Biodiversité SRCE
	Actions prioritaires SRCE
	Corridor écologique SRCE
	Zone adhésion Parc Naturel

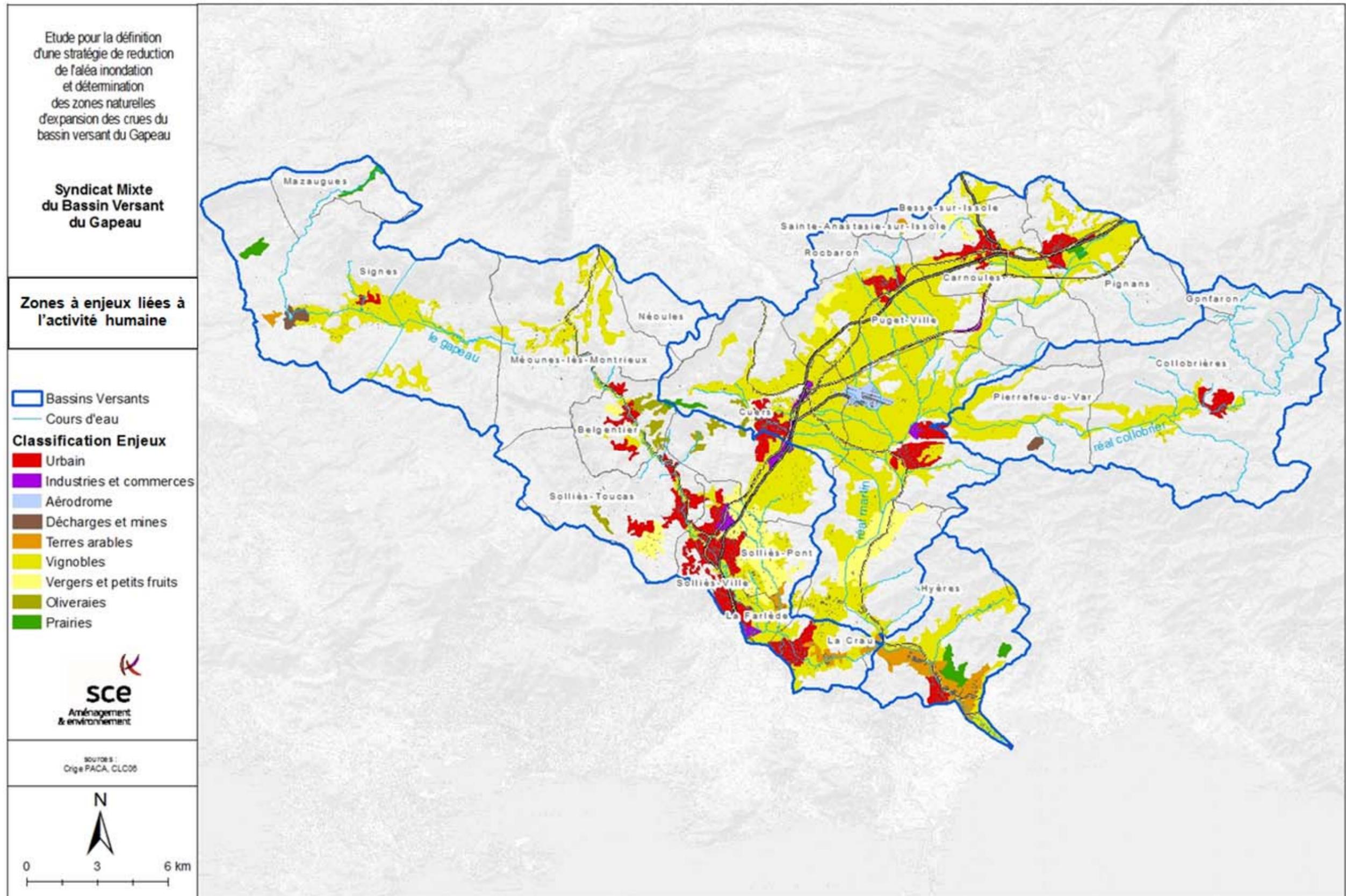


Figure 41 : Zones à enjeux liées à l'activité humaine.

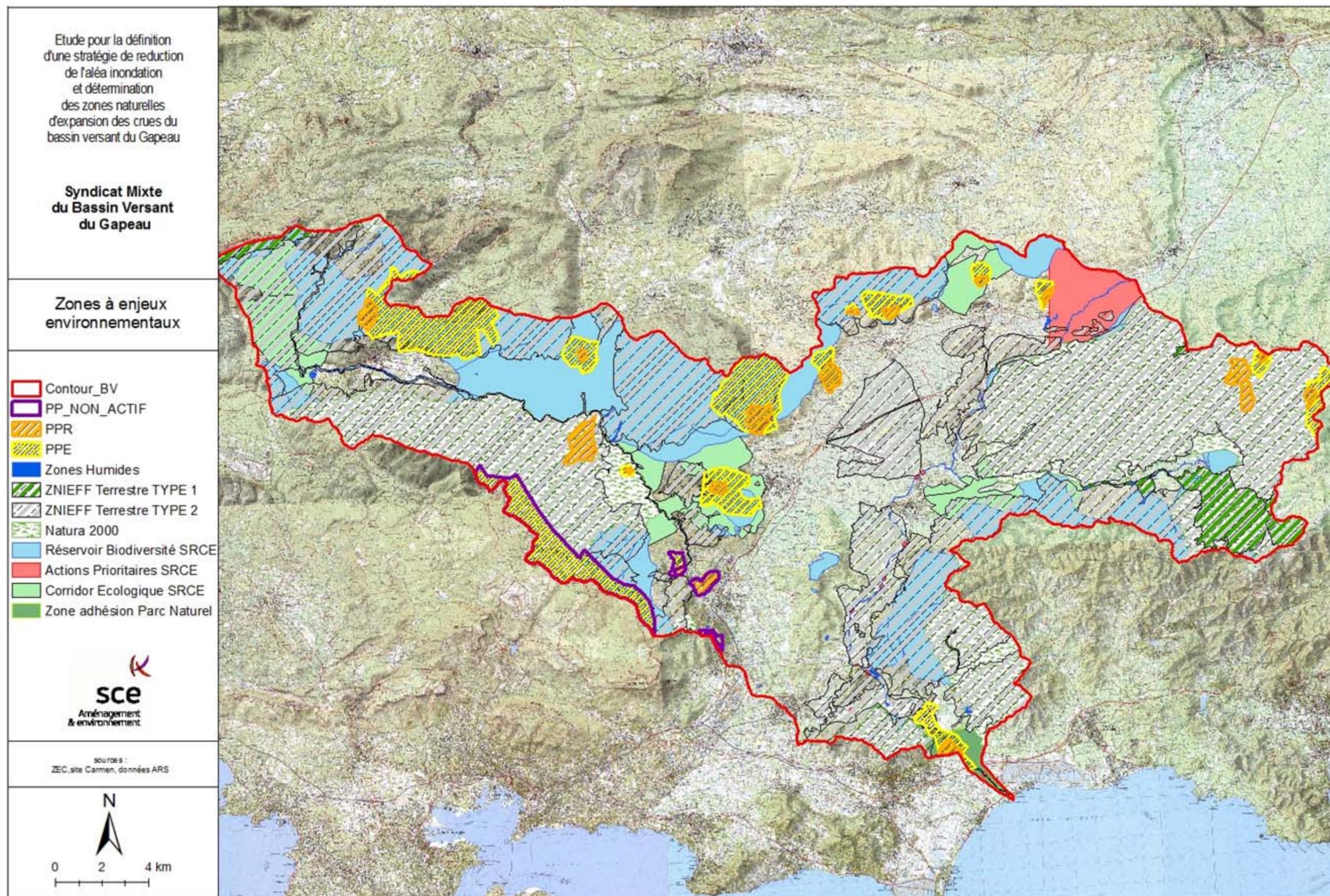


Figure 42 : Zones à enjeux environnementaux

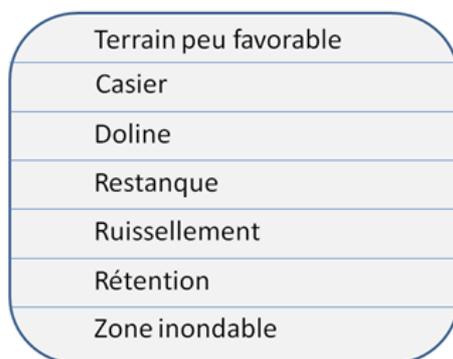
8.3. PRE INVENTAIRE DES ZEC

8.3.1. Méthodologie

Ce pré-inventaire des ZEC s'est effectué dans un premier temps uniquement à partir de l'analyse des éléments topographiques (courbes de niveau, lignes orographiques) sur carte IGN en tenant compte des bassins drainés en amont, indépendamment de l'occupation du sol (hors constructions). Par la suite, un découpage plus précis a été effectué par orthophotographies de façon à prédéterminer les ruisseaux et fossés à proximité, l'occupation du sol, les enjeux ainsi que leurs chemins d'accès.

A ce stade, 501 ZEC ont été pré-identifiées réparties sur tout le bassin versant du Gapeau.

Les ZEC peuvent être caractérisées suivant une typologie reposant sur leur localisation et leur mode de fonctionnement :



- ⌘ **Terrain peu favorable** : Identifiés en premier lieu comme ZEC potentielle, ces zones sont jugées peu favorables en raison, par exemple, de leur forte pente transversale ou longitudinale, leur faible intérêt hydraulique ou encore une altitude plus haute vis-à-vis de la berge opposée du cours d'eau.
- ⌘ **Casier** : Zone de rétention séparée en plusieurs compartiments permettant un stockage temporaire.
- ⌘ **Doline** : Cette zone, formant une cuvette, est le résultat d'une érosion des roches calcaires en contexte karstique où l'eau de ruissellement va pouvoir s'accumuler avant son infiltration.
- ⌘ **Restanque** : Terrain organisé en terrasses entraînant un ralentissement dynamique de l'écoulement pluvial sur des zones à forte pente.
- ⌘ **Ruissellement** : Surfaces en pente propice à l'écoulement diffus de l'eau.
- ⌘ **Rétention** : Stockage temporaire d'un certain volume d'eau par débordement d'un cours d'eau ou d'un canal.
- ⌘ **Zone inondable** : Terrain situé dans le lit moyen/majeur du cours d'eau.

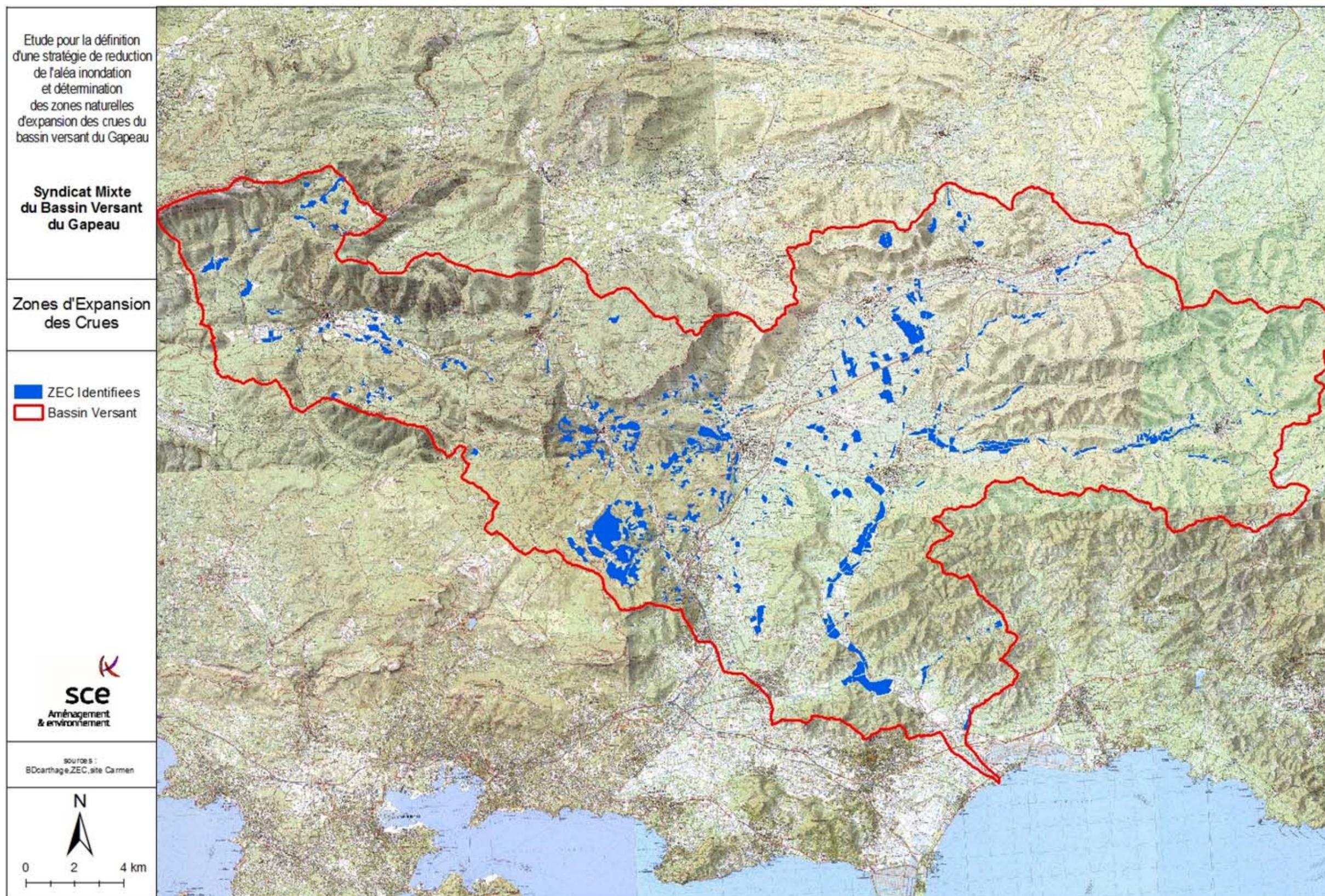


Figure 43 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées.

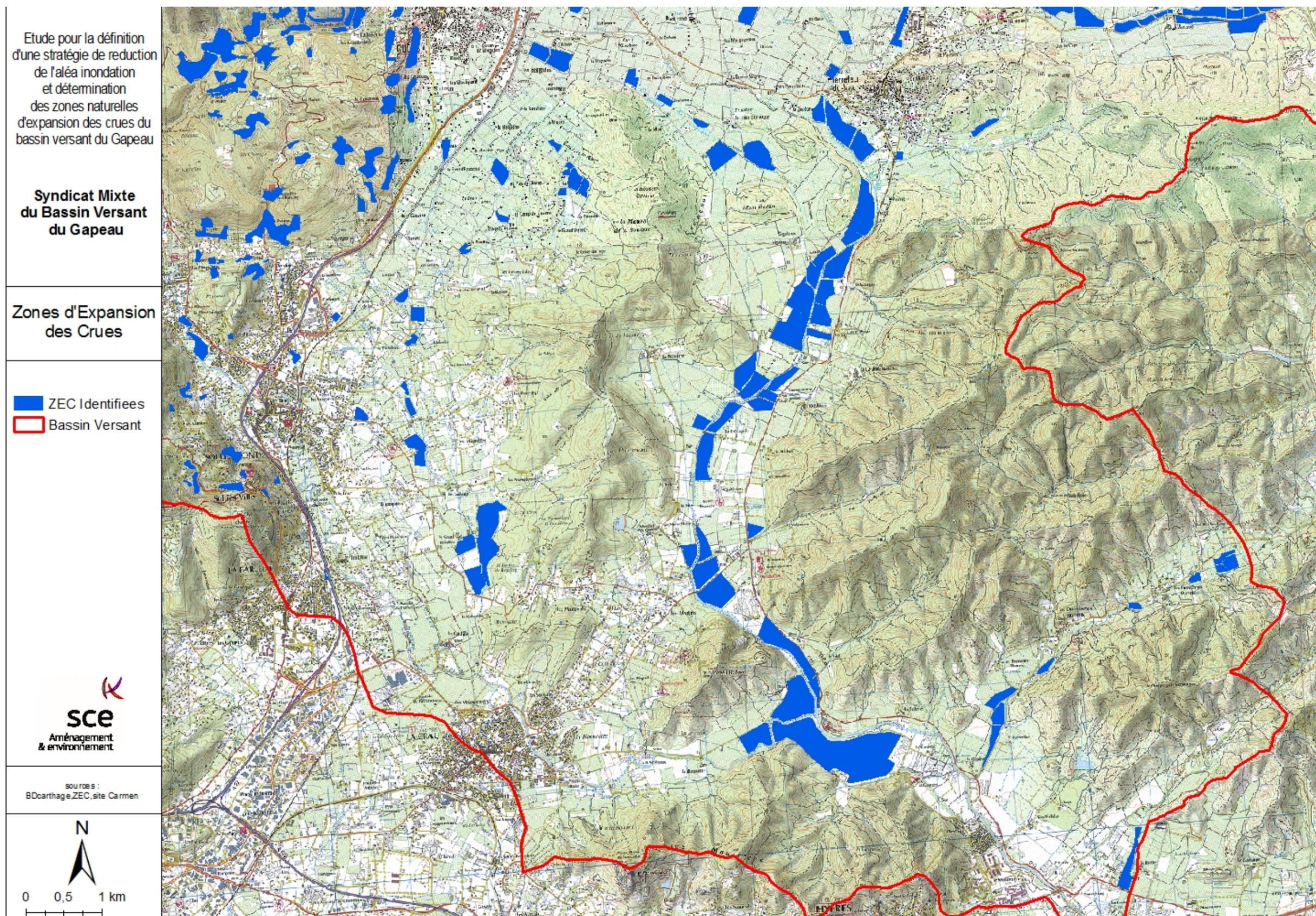


Figure 44 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées au niveau confluent Gapeau / Real Martin.

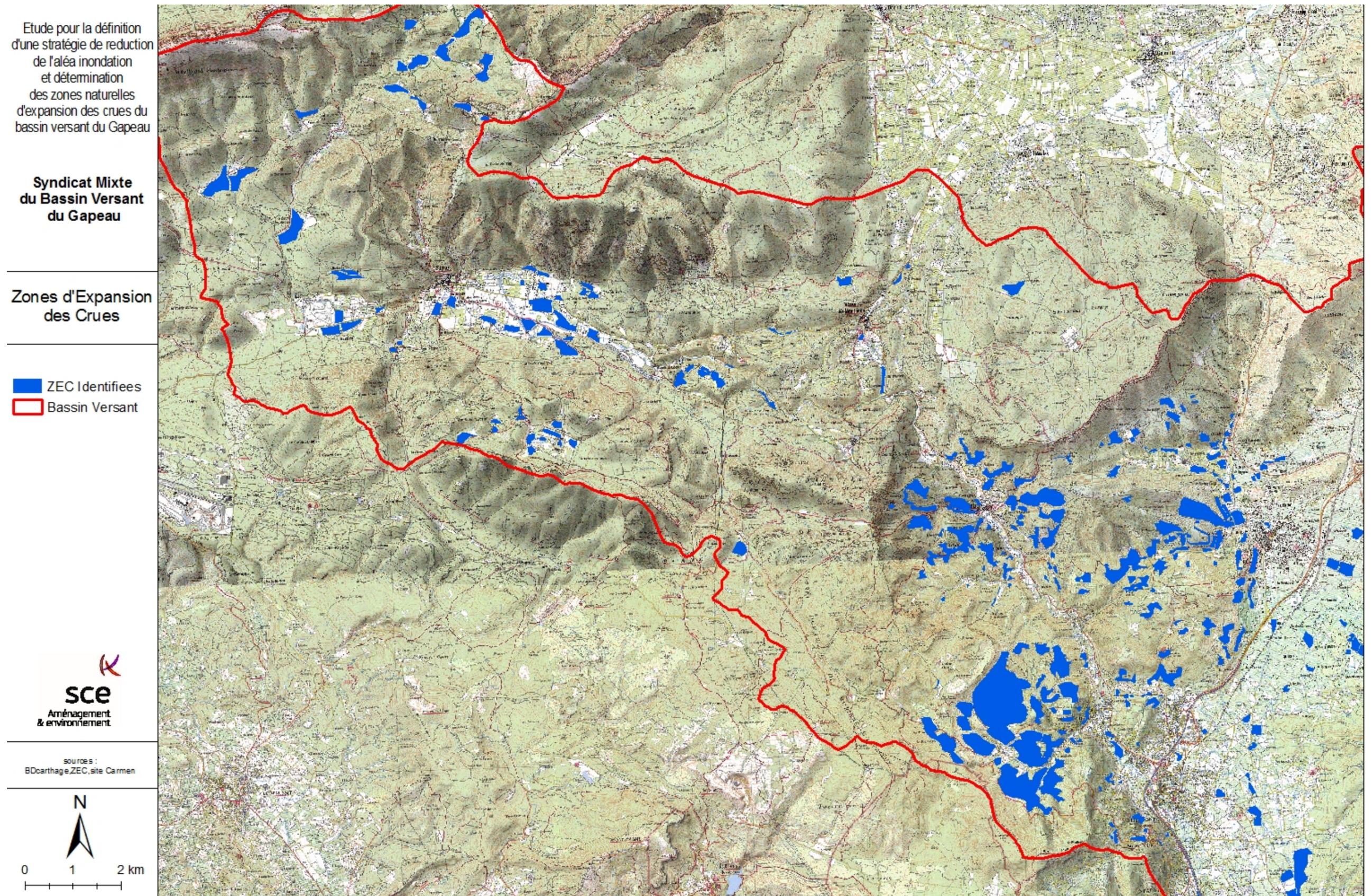


Figure 45 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées sur bassin du Gapeau.

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

Syndicat Mixte
du Bassin Versant
du Gapeau

Zones d'Expansion
des Crues

■ ZEC Identifiées
■ Bassin Versant


sce
Aménagement
& environnement

SOURCES :
BDcarthage,ZEC,site Carmen

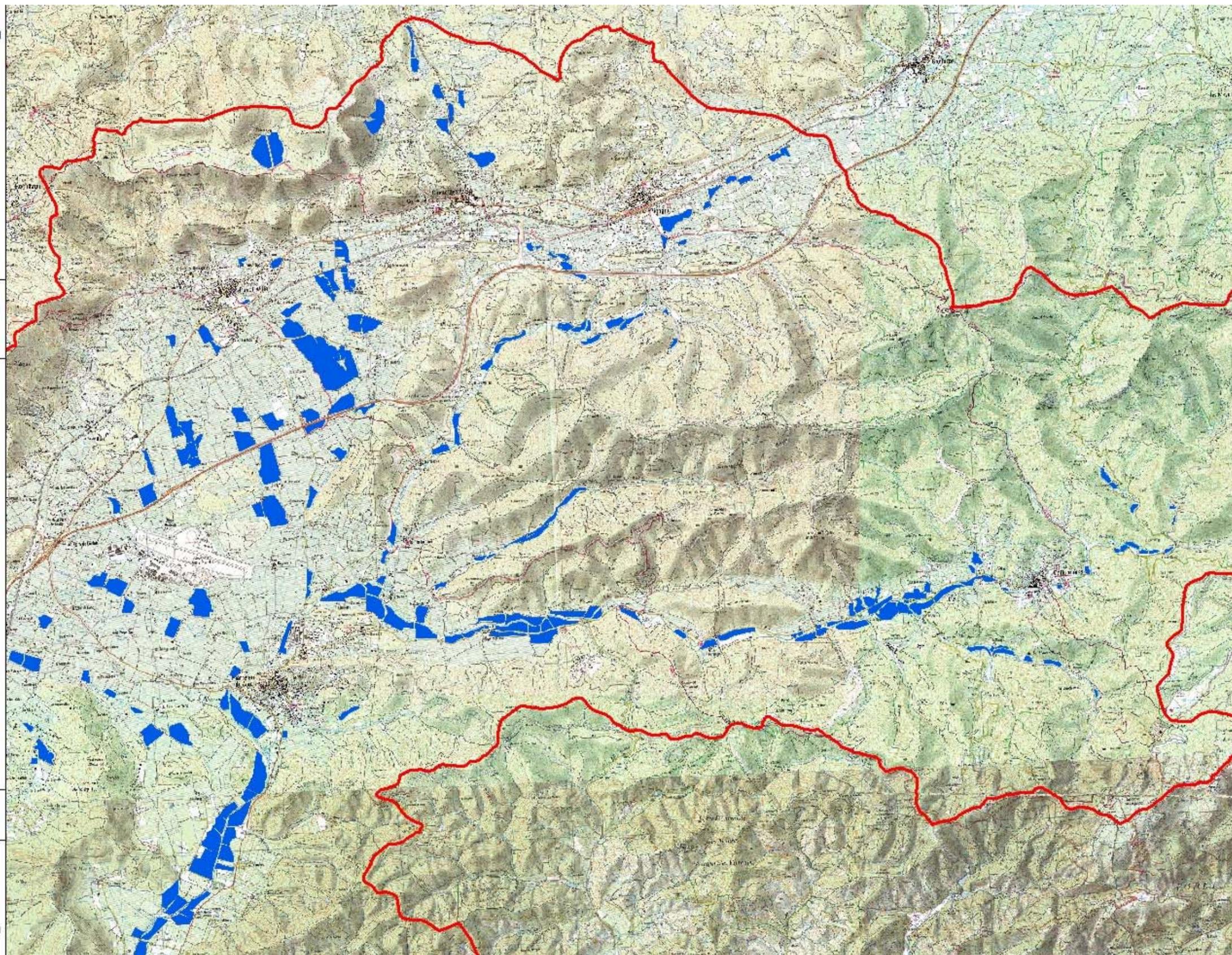
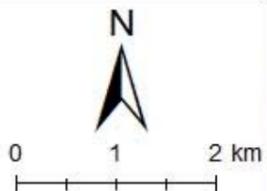
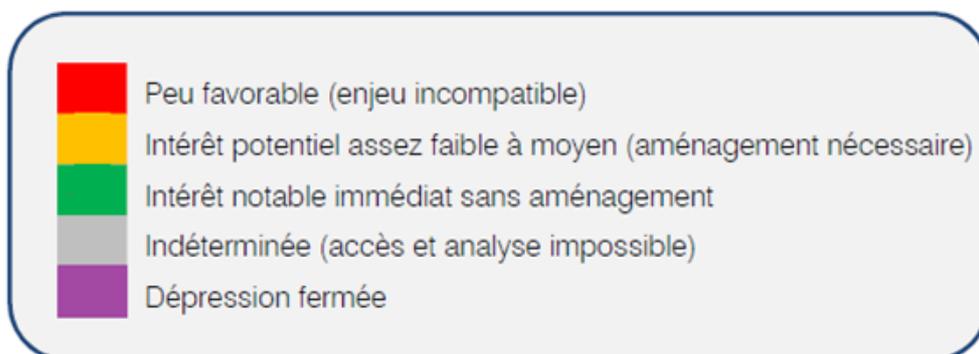


Figure 46 : Localisation des zones d'expansion des crues pré-identifiées sur bassin du Real Martin

Dans le cadre de la mission 3, chaque ZEC pré-identifiée sera visitée. Leur intérêt sera analysé en fonction de la topographie, de la configuration sur site (hauteur de berges...). Au final, chaque site sera associé à un jeu de couleur permettant d'évaluer l'efficacité hydraulique ou hydrologique potentielle des ZEC :



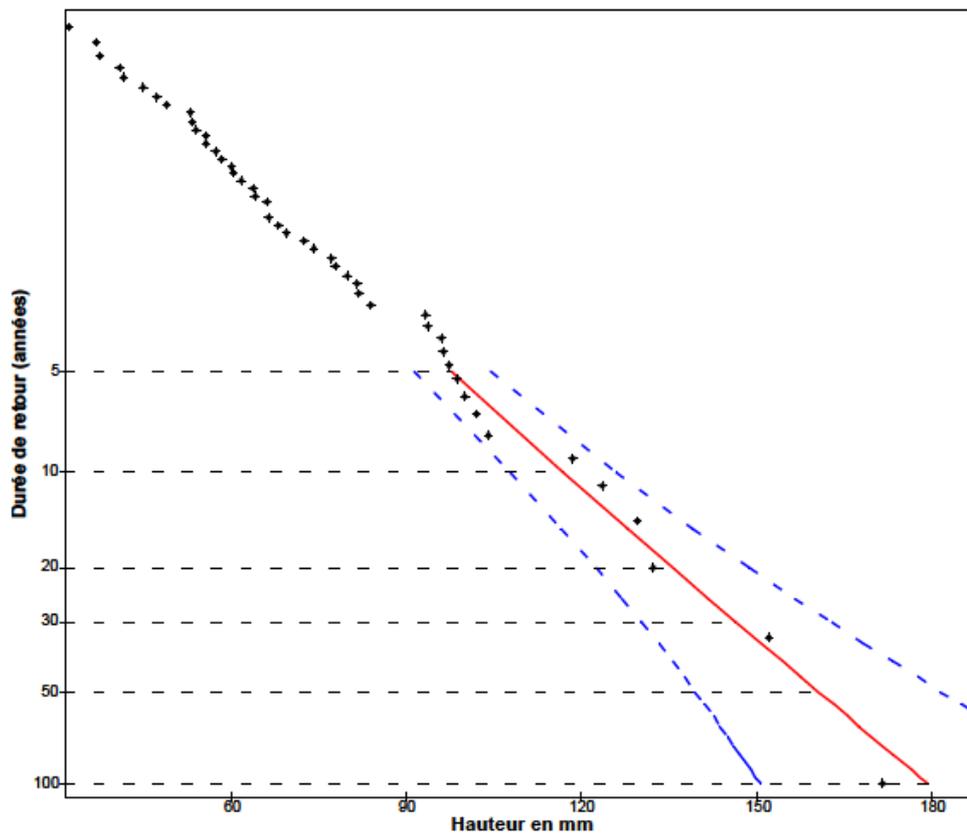
Annexe 1 : Ajustements statistiques de pluies journalières

HYERES (83)

Indicatif : 83069001, alt : 2 m., lat : 43°05'36"N, lon : 06°08'42"E

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.

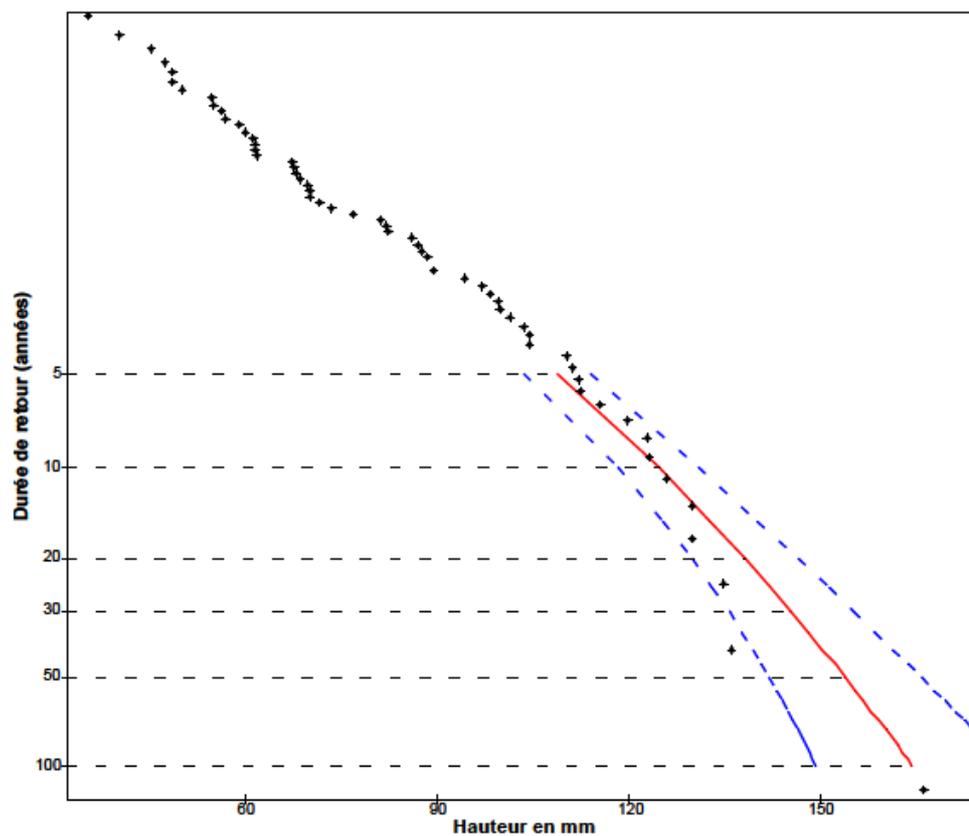


GONFARON-AGGLO (83)

Indicatif : 83067001, alt : 170 m., lat : 43°19'06"N, lon : 06°17'12"E

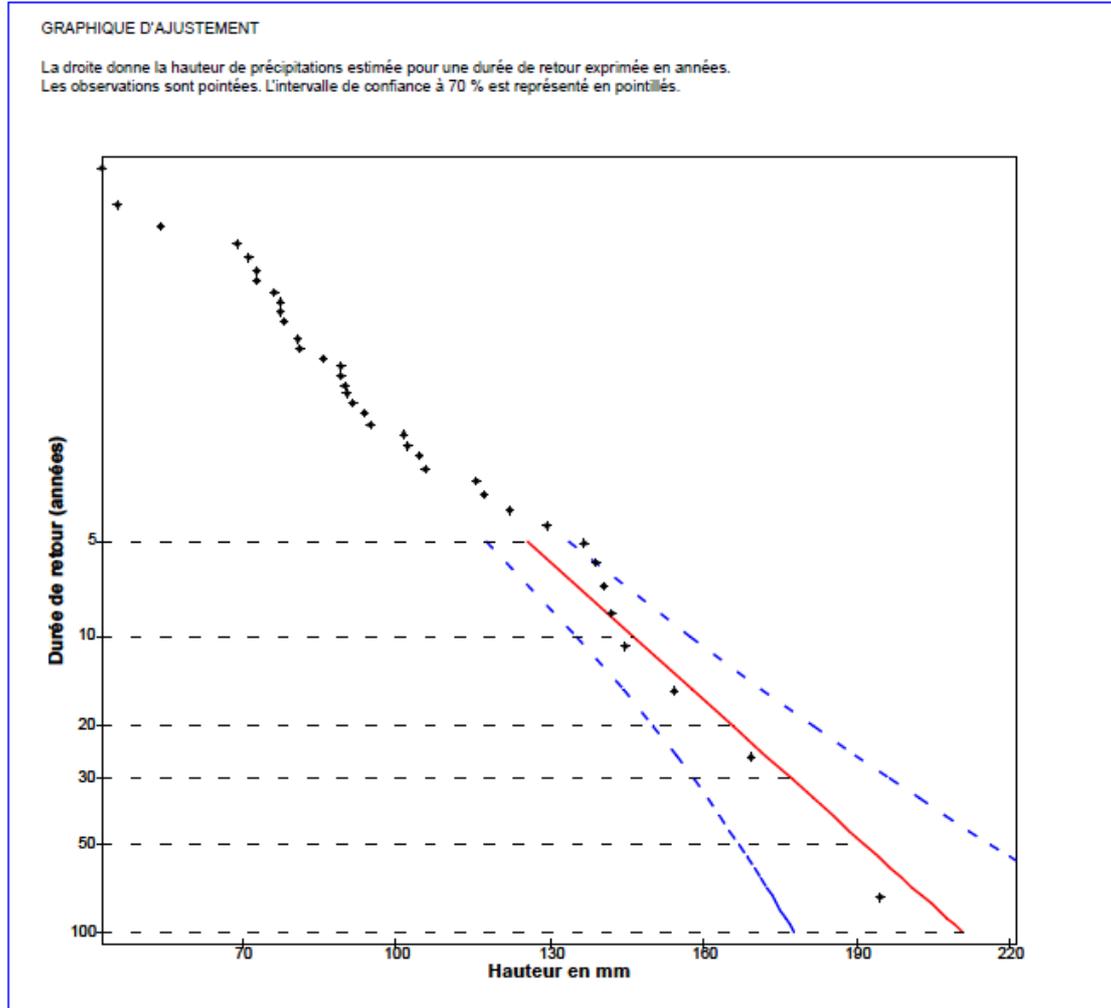
GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

La droite donne la hauteur de précipitations estimée pour une durée de retour exprimée en années.
Les observations sont pointées. L'intervalle de confiance à 70 % est représenté en pointillés.

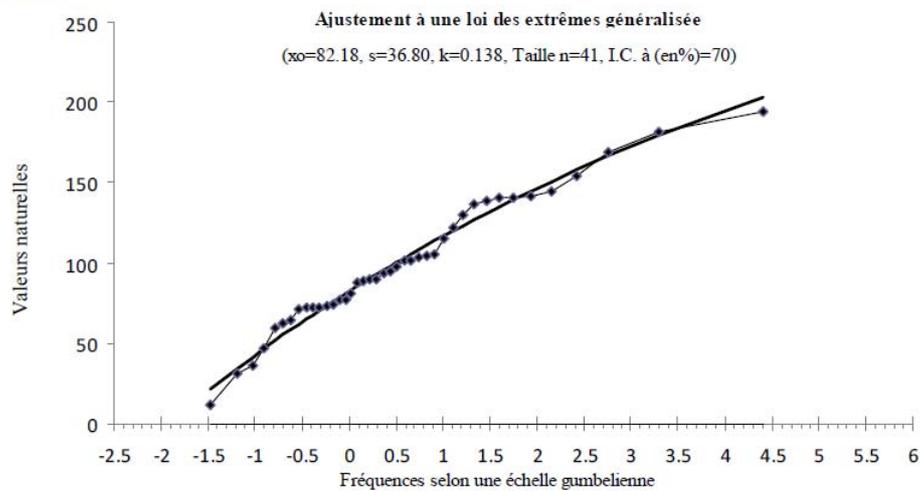


BORMES LES MIMOSAS (83)

Indicatif : 83019002, alt : 88 m., lat : 43°11'42"N, lon : 06°22'42"E



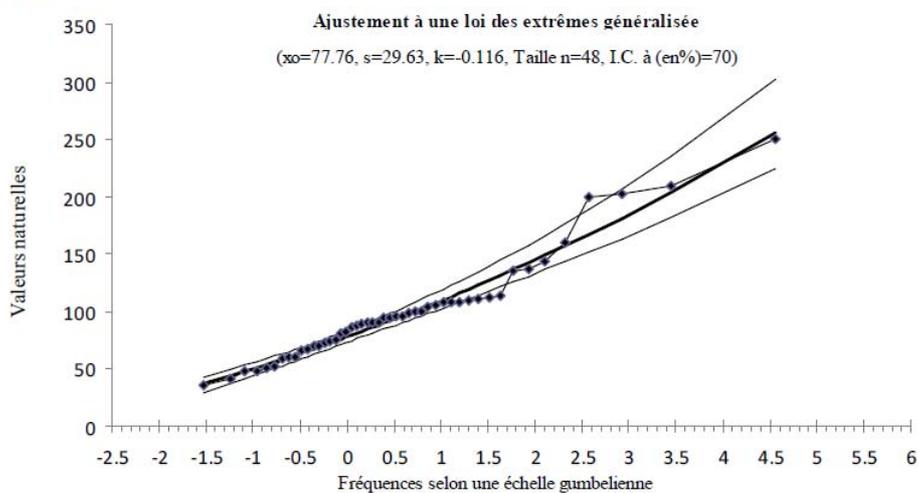
BORMES-LES-MIMOSAS



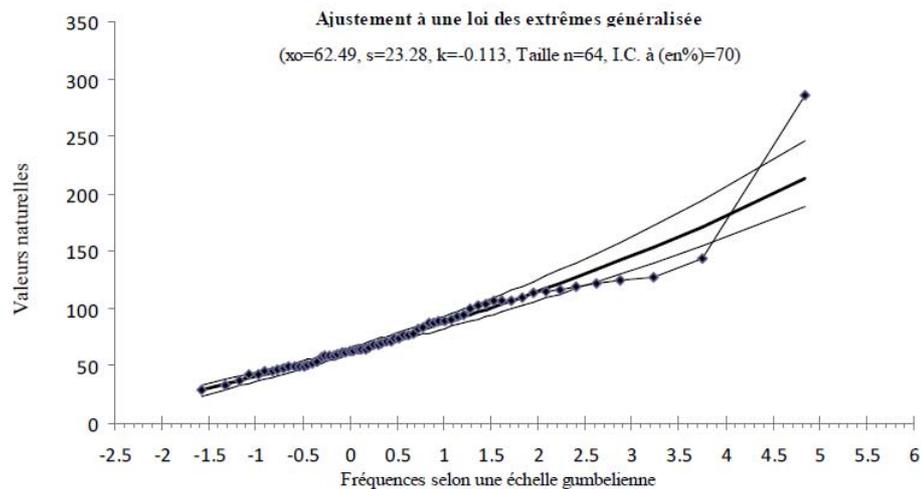
(Ajustement du Référentiel Hydrologique du Bassin de l'Argens)

SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
ÉTUDE 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.

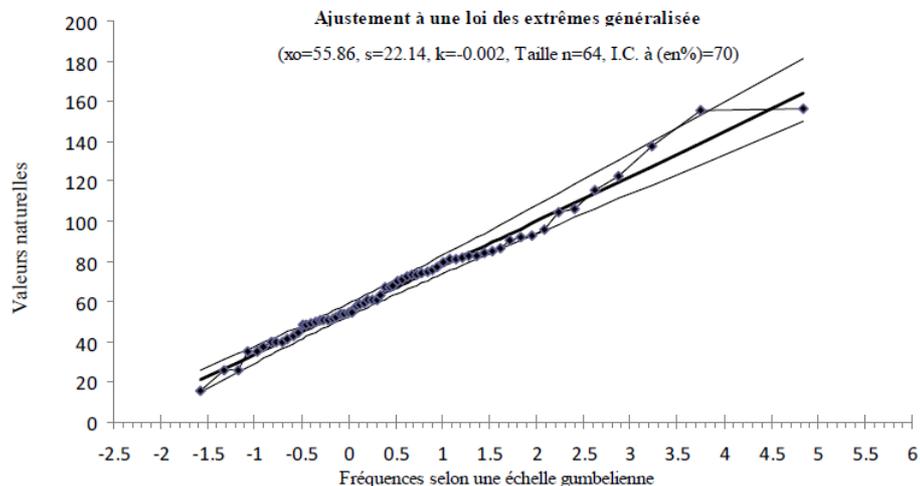
LA ROQUEBRUSSANNE



LE LUC

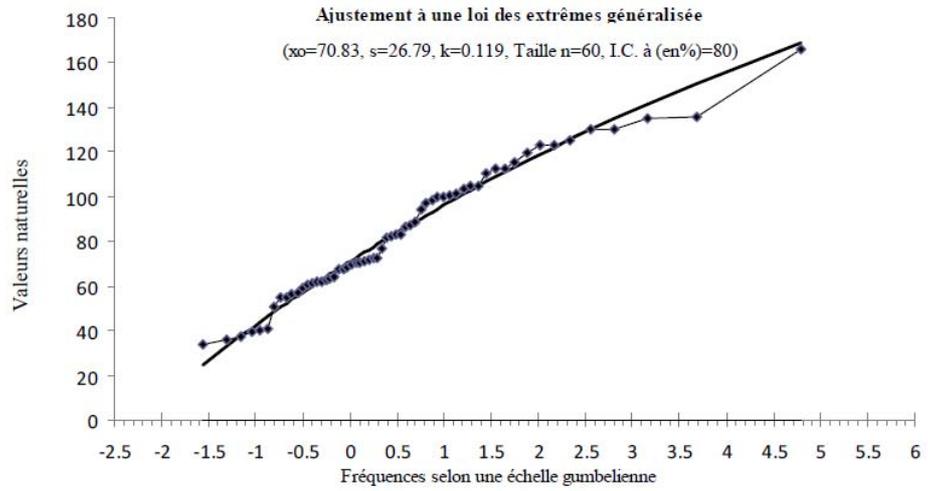


TOULON

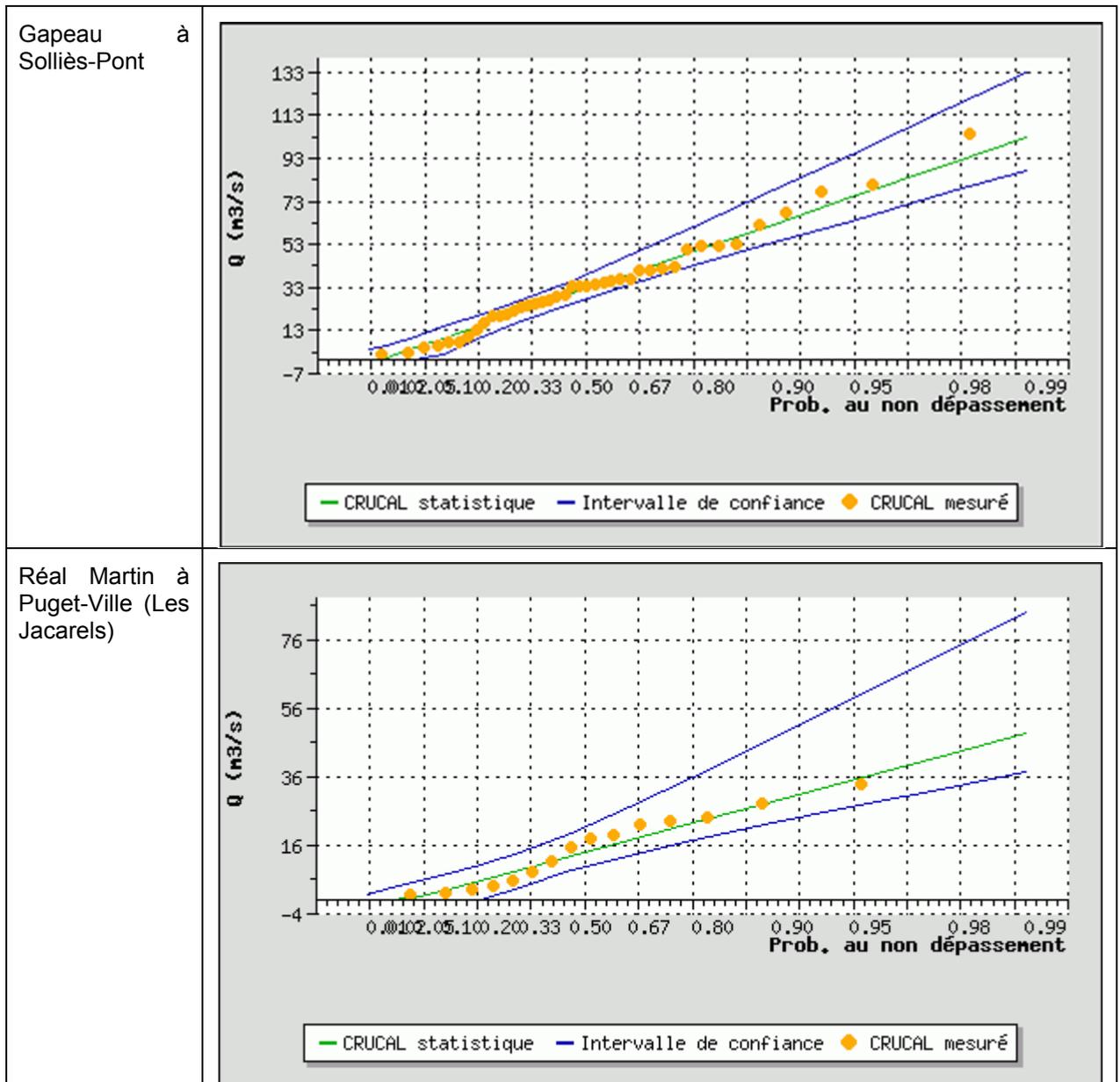


SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU
ÉTUDE POUR LA DÉFINITION D'UNE STRATÉGIE DE RÉDUCTION DE L'ALÉA
INONDATION ET DÉTERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.

GONFARON AGGLOMERATION

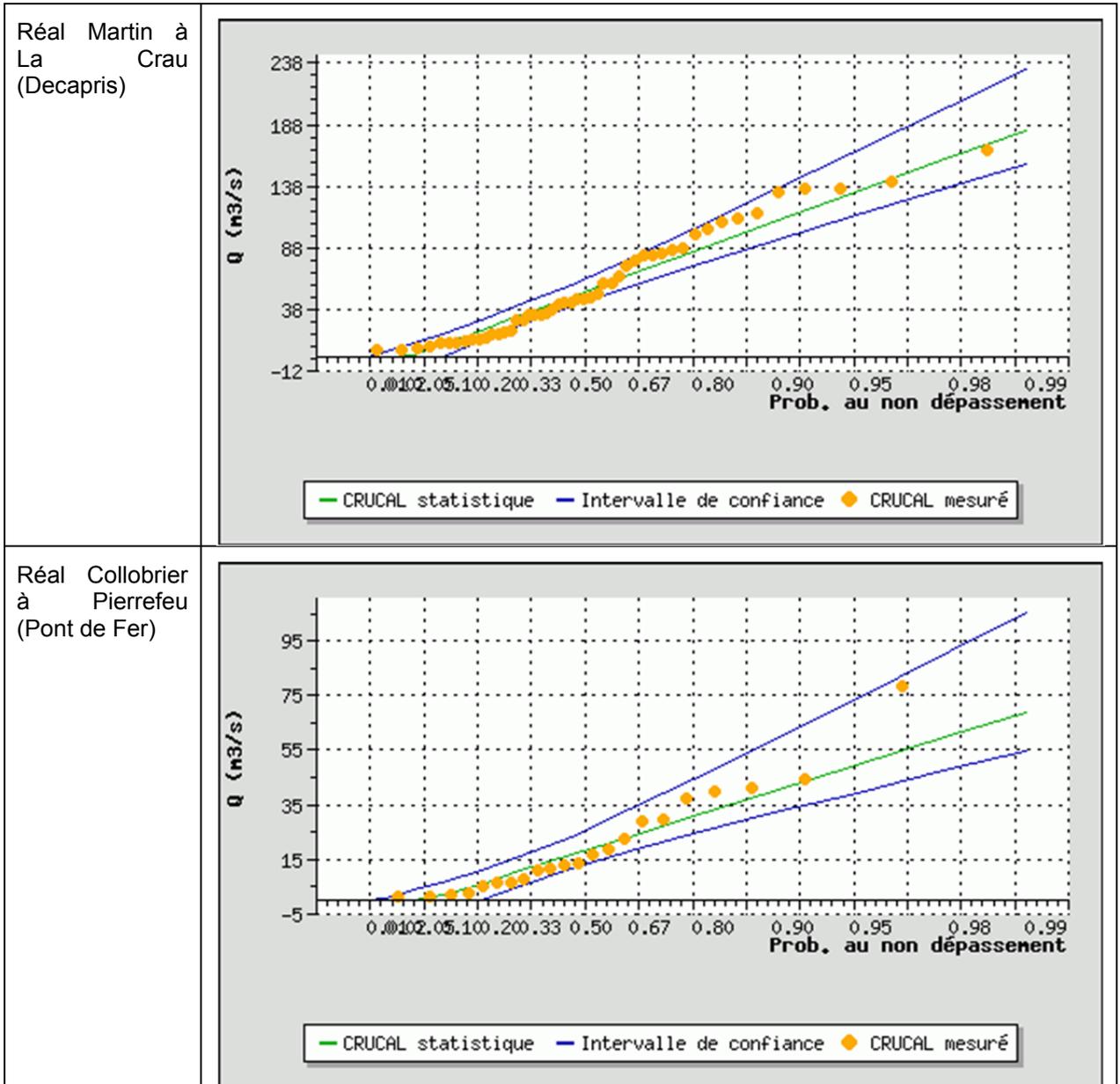


Annexe 2 : Ajustements de Gumbel des débits maximaux journaliers annuels



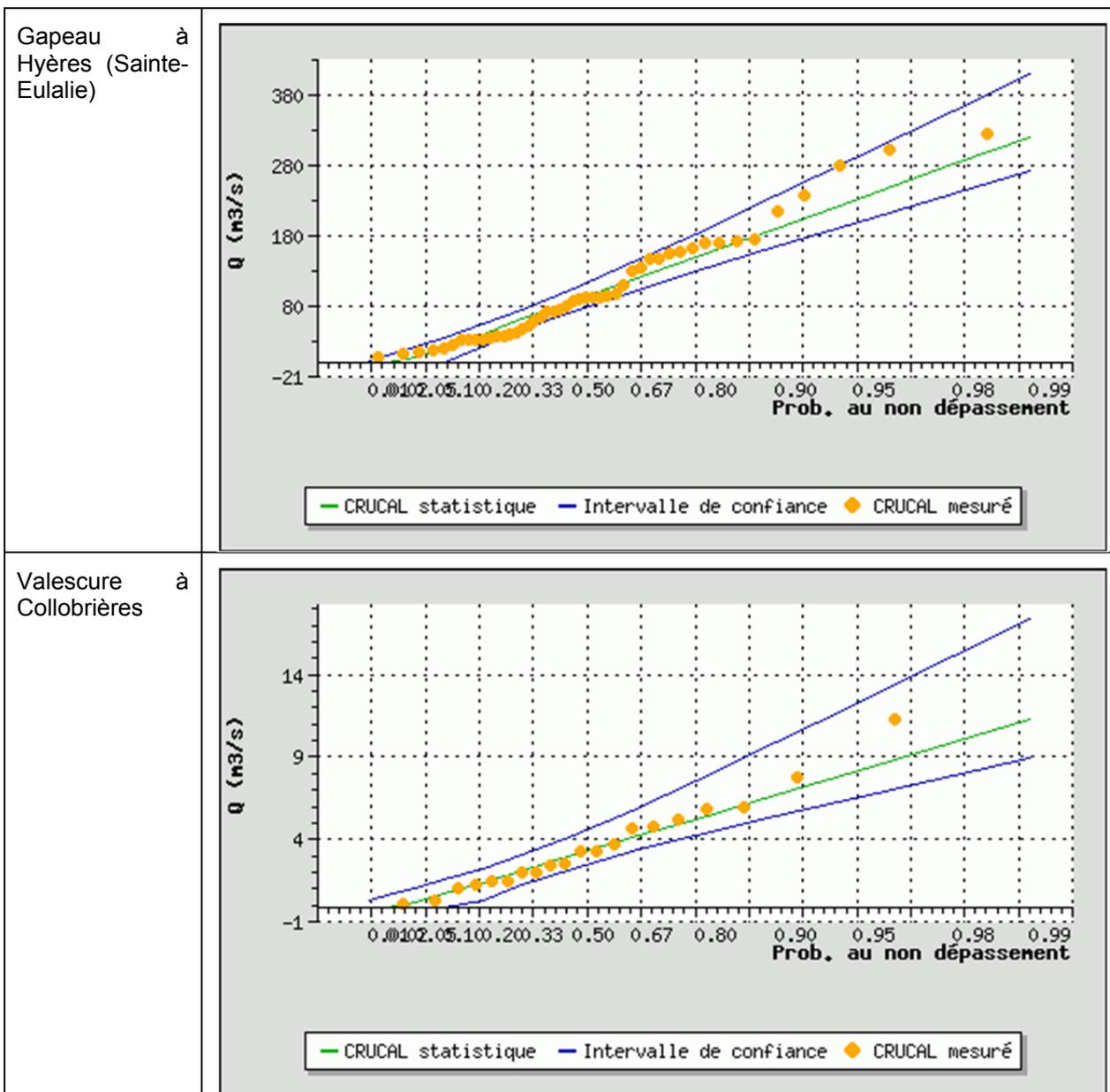
SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

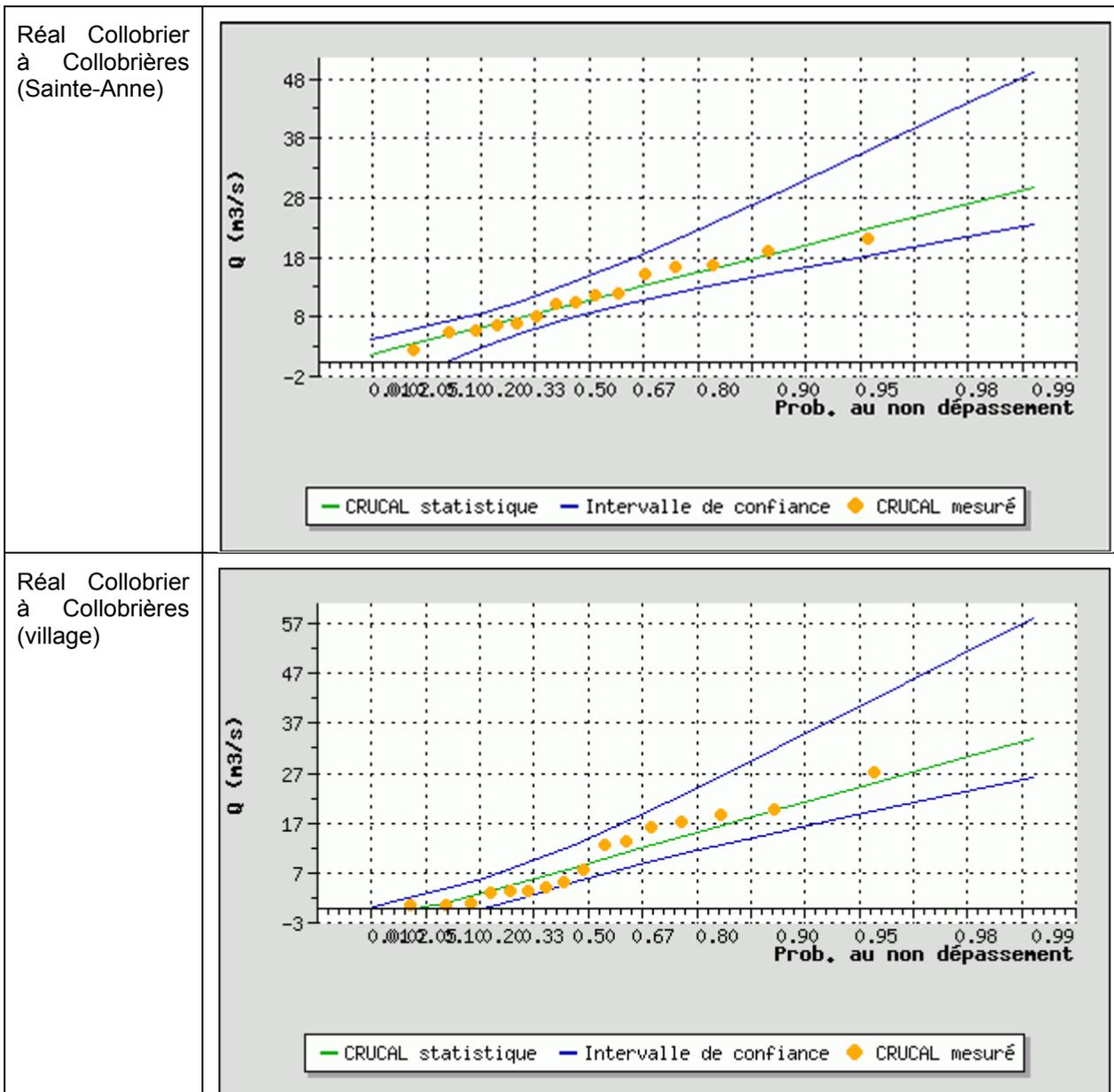
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
 INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
 CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.



SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

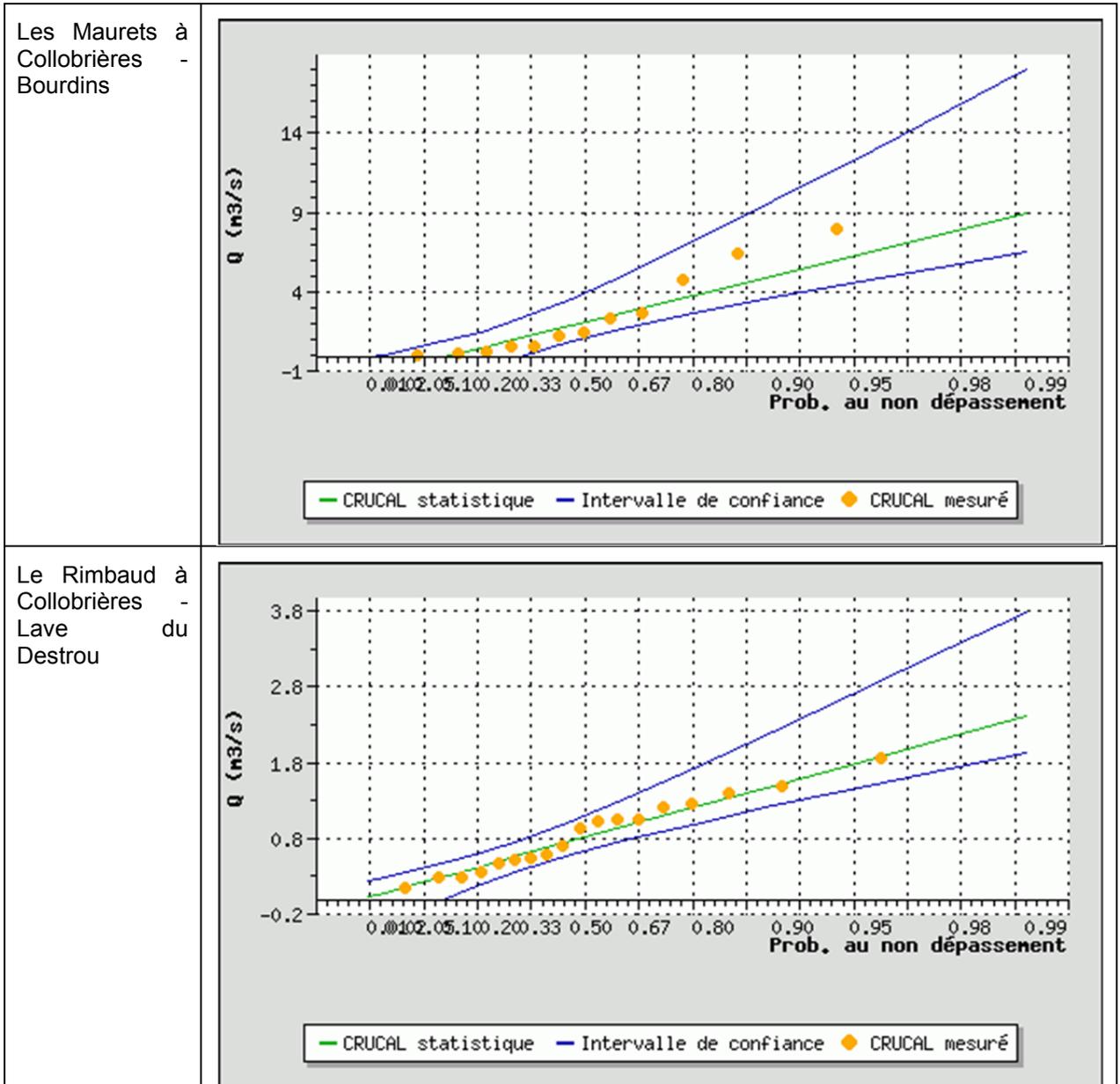
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
 INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
 CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.





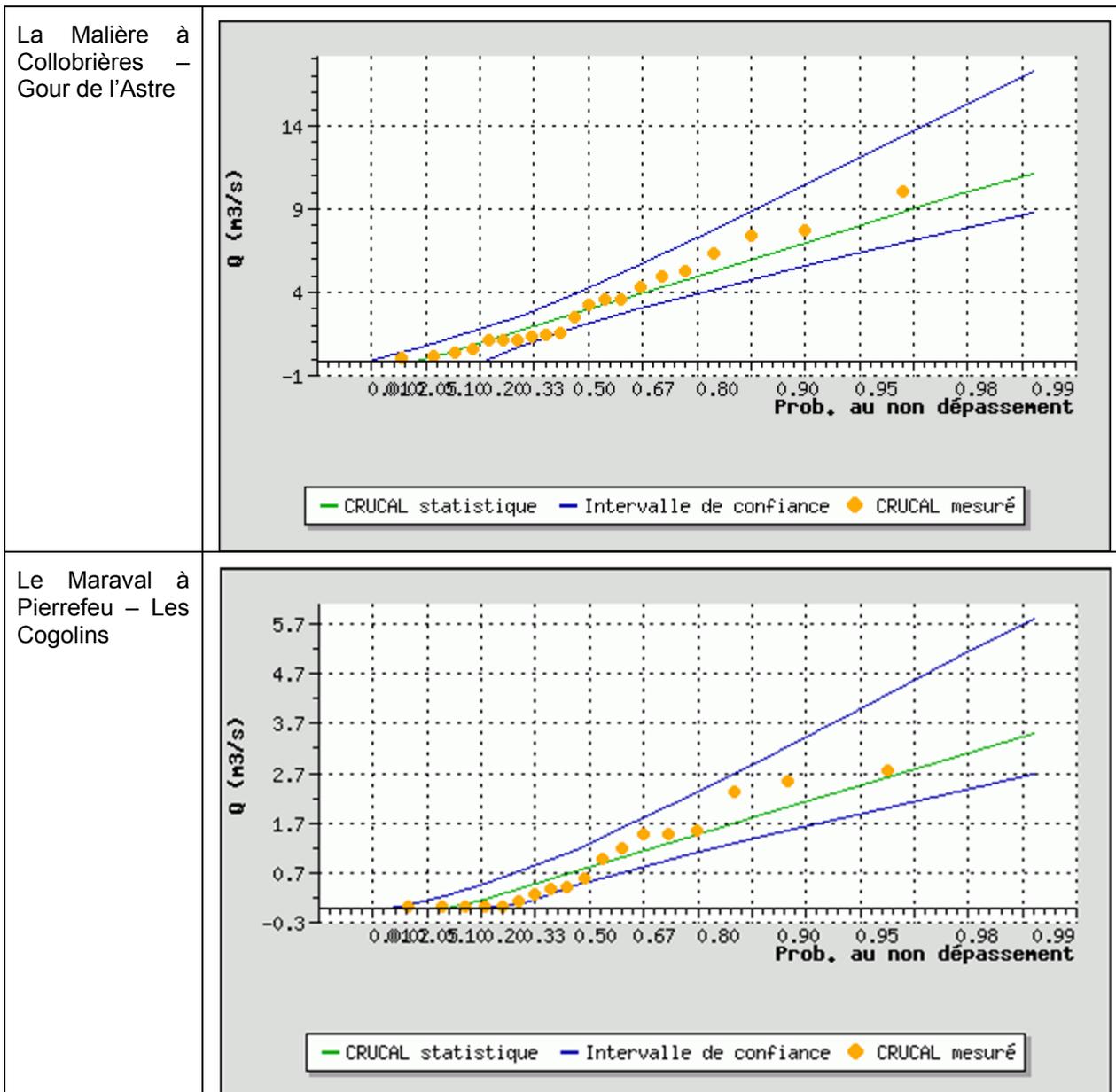
SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

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.

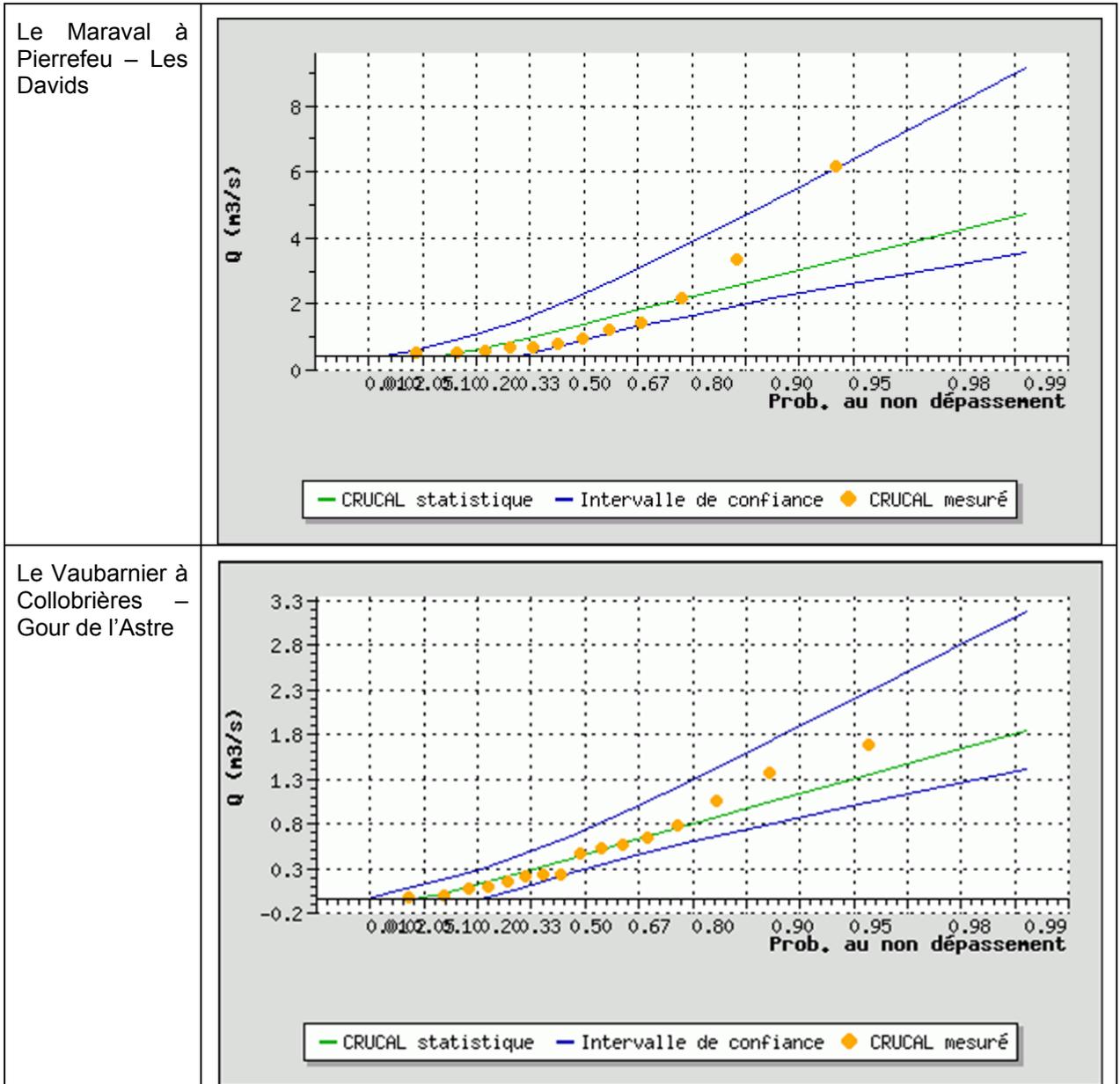


SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

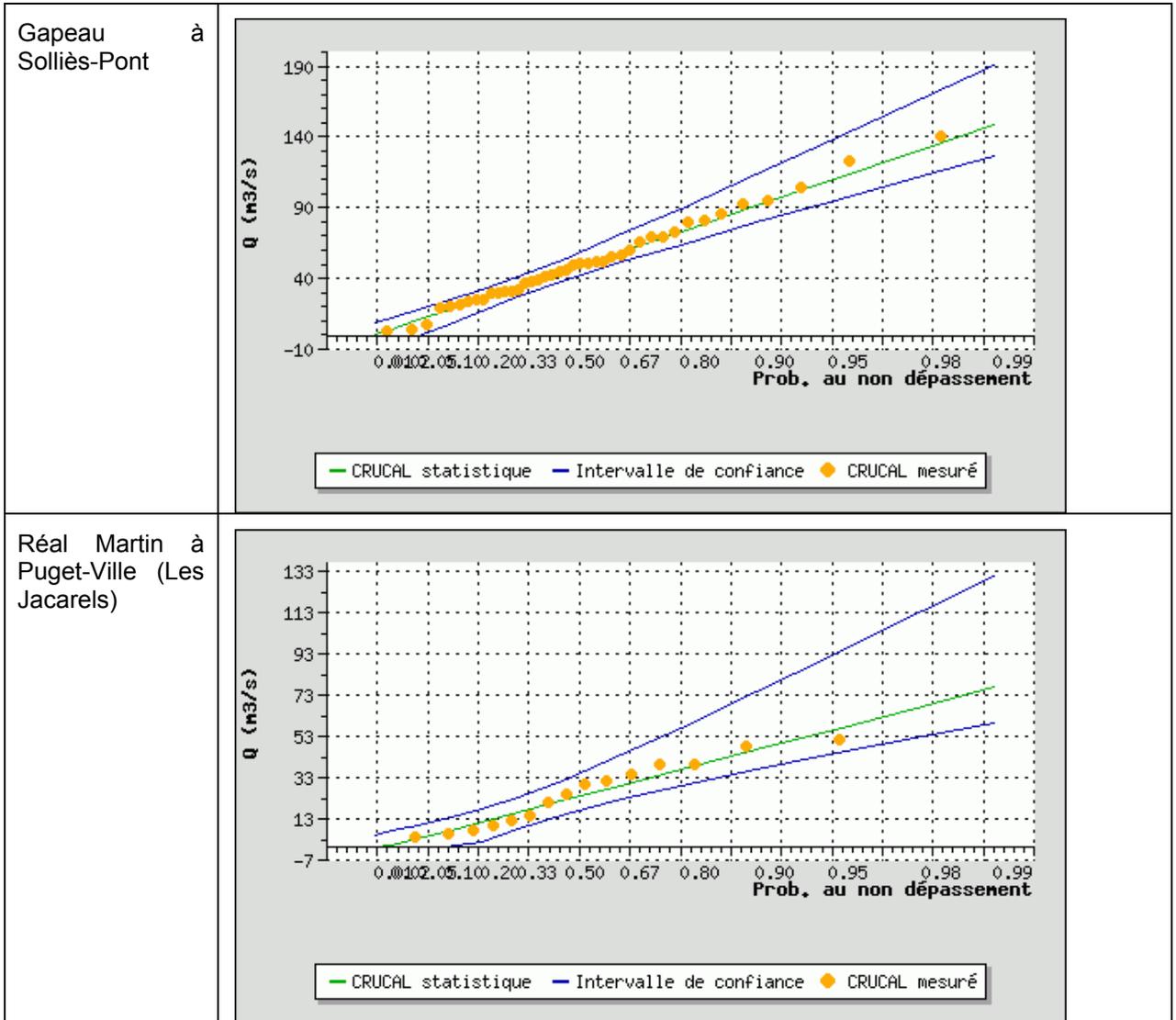
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
 INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
 CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.



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.

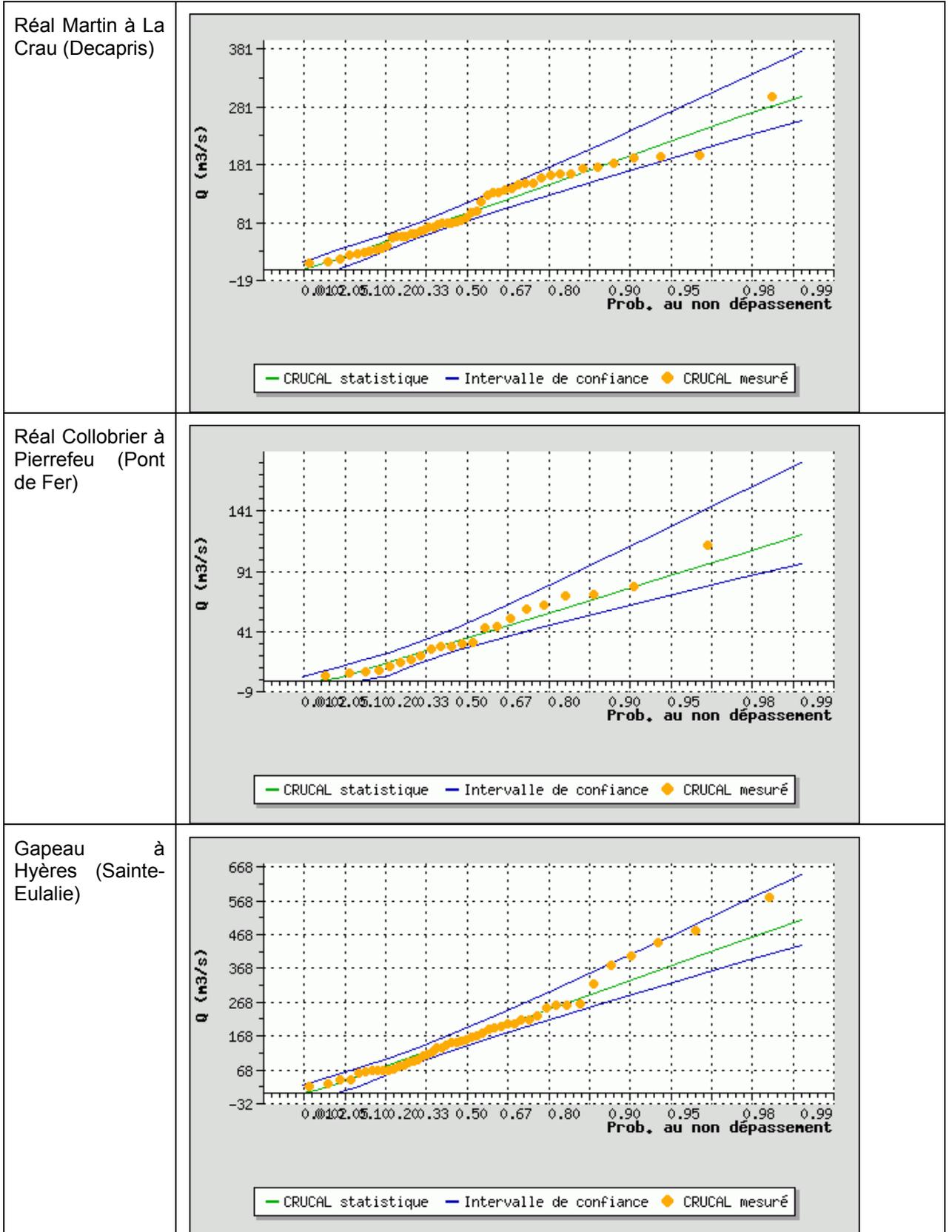


Annexe 3 : Ajustements de Gumbel des débits maximaux instantanés



SYNDICAT MIXTE DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU

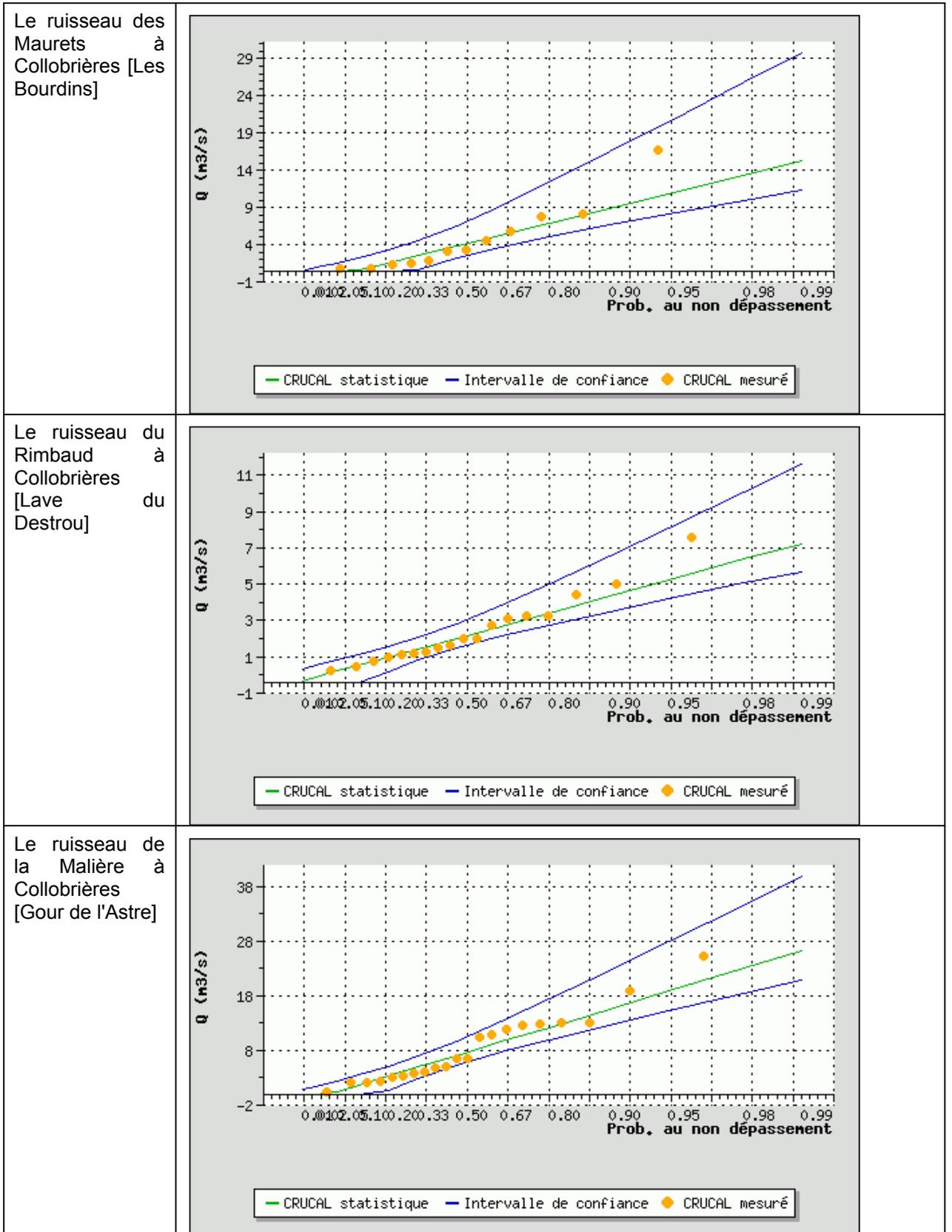
ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE STRATEGIE DE REDUCTION DE L'ALEA
INONDATION ET DETERMINATION DES ZONES NATURELLES D'EXPANSION DES
CRUES DU BASSIN VERSANT DU GAPEAU.

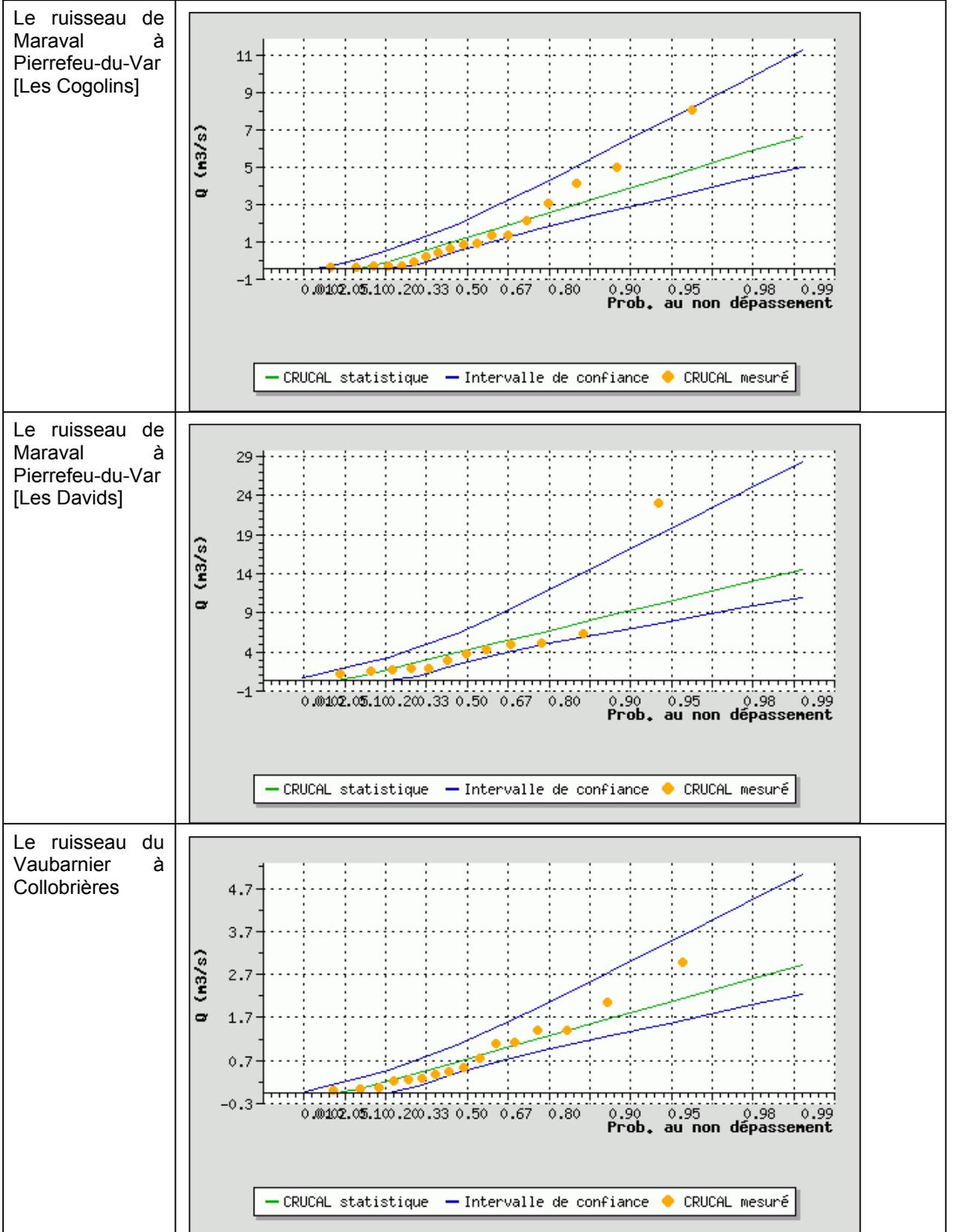


<p>Valescure à Collobrières</p>	
<p>Le Réal à Collobrier Collobrières [Sainte-Anne]</p>	
<p>Le Réal à Collobrier Collobrières [village]</p>	

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.







sce

Aménagement
& environnement

www.sce.fr

GROUPE KERAN