

Barrages

MOE OUVRAGES ECRETEURS DE L'ASPE DE
VAULONGUE ET DES CROTTES
Etudes préliminaires



Rapport n° : 16F-114-RM-2
Révision n° : A
Date : 04/01/2017

Votre contact :
Marc-Henri PROST
prost@isl.fr

Rapport

ISL Ingénierie SAS - MONTPELLIER
65 rue Clément Ader
34000 - Castelnau-le-Lez
FRANCE
Tel. : +33.4.67.54.51.88
Fax : +33.4.67.54.52.05

www.isl.fr

ISL
Ingénierie

Visa

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A					Etat du document : En cours de rédaction

ASA : SALMI Akim

MHP : PROST Marc-Henri

Provisoire

SOMMAIRE

1	CONTEXTE	1
1.1	PRESENTATON GENERALE	1
1.2	SITUATION GENERALE DES AMENAGEMENTS	1
1.3	CONTENU DU RAPPORT	3
1.4	AMENAGEMENTS ETUDIES	3
1.5	ETUDE DE SITES ALTERNATIFS	3
1.6	BIBLIOGRAPHIE	5
2	ETUDES HYDROLOGIQUES	6
2.1	OBLIGATIONS REGLEMENTAIRES ET CRUE DE PROJET	6
2.1.1	CLASSEMENT DES BARRAGES	6
2.1.2	DETERMINATION DES CRUES A ETUDIER	7
2.1.3	SYNTHESE DES CRUES A CONSIDERER POUR LES BASSINS DE L'ASPE ET DE VAULONGUE	8
2.2	DETERMINATION DE L'HYDROLOGIE DE REFERENCE DES CRUES EXCEPTIONNELLE ET EXTREME	8
2.2.1	METHODOLOGIE	8
2.2.1.1	Caractéristiques des bassins versants	8
2.2.1.2	Situation des bassins versants par rapport aux événements régionaux généralisés	10
2.2.2	STATISTIQUES PLUVIOMETRIQUES	15
2.2.2.1	Données pluviométriques recueillies	15
2.2.2.2	Synthèse de l'analyse pluviométrique	19
2.2.3	ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE	21
2.2.3.1	Méthode rationnelle	21
2.2.3.2	Débit SHYREG	22
2.2.4	TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT	23
2.2.4.1	Methodologie	23
2.2.4.2	Application des CN aux pluies réelles	24
2.2.4.3	Construction des hyétogrammes de référence	27
2.2.4.4	Résultats	28
2.2.5	COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES APPROCHES	29
2.2.6	SYNTHESE SUR LES CRUES DE REFERENCE	30

2.3	HYDROLOGIE DES CRUES FREQUENTES A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT	31
2.3.1	CONTEXTE ET BIBLIOGRAPHIE	31
2.3.2	DESCRIPTION DU TERRITOIRE	31
2.3.3	DONNEES PLUVIOMETRIQUES	32
2.3.3.1	Données statistiques	32
2.3.3.2	Evènements réels	33
2.3.4	MODELE HYDROLOGIQUE – TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT	35
2.3.5	SYNTHESE SUR LES CRUES DE REFERENCE	36
3	DIMENSIONNEMENT ET FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES	39
3.1	DESCRIPTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES	39
3.1.1	LE BARRAGE DE L'ASPE	39
3.1.1.1	Présentation générale du barrage	39
3.1.1.2	Loi Hauteur-Surface-Volume	41
3.1.1.3	Description et fonctionnement de l'évacuateur de crue de l'Aspé	44
3.1.1.4	Description et fonctionnement du pertuis de fond du barrage de l'Aspé	46
3.1.2	LE BASSIN DE VAULONGUE	47
3.1.2.1	Présentation générale de l'ouvrage	47
3.1.2.2	Loi Hauteur-Surface-Volume	50
3.1.2.3	Description et fonctionnement de l'évacuateur de crue du bassin de Vaulongue	53
3.1.2.4	Description et fonctionnement du pertuis de fond du bassin de Vaulongue	54
3.2	CALCUL DU LAMINAGE DES CRUES	54
3.2.1	RAPPEL DES OBJECTIFS DE DIMENSIONNEMENT	54
3.2.2	MODELES UTILISES	55
3.2.3	BARRAGE DE L'ASPE	55
3.2.4	BASSIN DE VAULONGUE	59
4	RENTABILITE ECONOMIQUE DES PROJETS	70
4.1	CONTEXTE DE L'ACB REALISE	70
4.2	RESULTATS DE L'AMC REALISEE EN 2015	70
4.3	COMPARAISON DES EFFICACITES HYDRAULIQUES ENTRE 2015 ET 2017	71
4.4	CONCLUSION SUR LA RENTABILITE ECONOMIQUE DU PROJET	74

5	CONCLUSION	80
1	CONTEXTE	1
1.1	PRESENTATION GENERALE	1
1.2	SITUATION GENERALE DES AMENAGEMENTS	1
1.3	VOCATION DES AMENAGEMENTS	3
1.4	CONTENU DU RAPPORT	4
1.5	BIBLIOGRAPHIE	4
2	ETUDES HYDROLOGIQUES	5
2.1	HYDROLOGIE DES CRUES EXCEPTIONNELLES ET EXTREMES	5
2.1.1	OBLIGATIONS REGLEMENTAIRES ET CRUE DE PROJET	5
2.1.1.1	Classement des barrages	5
2.1.1.2	Détermination des crues à étudier	6
2.1.1.3	Cas des petits barrages	7
2.1.1.4	Synthèse des crues à considérer pour les bassins de l'Aspe et de Vaulongue	7
2.1.2	DETERMINATION DE L'HYDROLOGIE DE REFERENCE	7
2.1.2.1	Méthodologie	7
2.1.2.2	Caractéristiques des bassins versants	7
2.1.2.3	Situation des bassins versants par rapport aux événements régionaux généralisés	8
2.1.3	STATISTIQUES PLUVIOMETRIQUES	14
2.1.3.1	Données pluviométriques recueillies	14
2.1.3.2	Synthèse de l'analyse pluviométrique	18
2.1.4	ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE	20
2.1.4.1	Méthode rationnelle	20
2.1.4.2	Débit SHYREG	20
2.1.5	TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT	22
2.1.5.1	Méthodologie	22
2.1.5.2	Application des CN aux pluies réelles	23
2.1.5.3	Construction des hyétogrammes de référence	25
2.1.5.4	Résultats	26
2.1.6	COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES APPROCHES	27
2.1.7	SYNTHESE SUR LES CRUES DE REFERENCE	28
2.2	HYDROLOGIE GENERALE DES CRUES FREQUENTES A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT	29

2.2.1	CONTEXTE ET BIBLIOGRAPHIE	29
2.2.2	DESCRIPTION DU TERRITOIRE	29
2.2.3	STATISTIQUES PLUVIOMETRIQUES	30
2.2.4	MODELE HYDROLOGIQUE — TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT	33
2.2.5	SYNTHESE SUR LES CRUES DE REFERENCE	34
3	DIMENSIONNEMENT ET FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES	37
3.1	DESCRIPTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES	37
3.1.1	LE BARRAGE DE L'ASPE	37
3.1.1.1	Présentation générale du barrage	37
3.1.1.2	Fiche synoptique du barrage de l'Aspé	38
3.1.1.3	Loi Hauteur-Surface-Volume	39
3.1.1.4	Description et fonctionnement de l'évacuateur de crue de l'Aspé	41
3.1.1.5	Description et fonctionnement du pertuis de fond du barrage de l'Aspé	43
3.1.2	LE BASSIN DE VAULONGUE	44
3.1.2.1	Présentation générale du bassin	44
3.1.2.2	Fiche synoptique du bassin de Vaulongue	46
3.1.2.3	Loi Hauteur-Surface-Volume	47
3.1.2.4	Description et fonctionnement de l'évacuateur de crue du bassin de Vaulongue	48
3.1.2.5	Description et fonctionnement du pertuis de fond du bassin de Vaulongue	49
3.2	CALCUL DU LAMINAGE DES CRUES	49
3.2.1	RAPPEL DES OBJECTIFS DE DIMENSIONNEMENT	49
3.2.2	MODELES UTILISES	49
3.2.3	BARRAGE DE L'ASPE	50
3.2.4	BASSIN DE VAULONGUE	53
3.3	VERIFICATION COMPLEMENTAIRE	56
3.3.1	PRESENTATION DU MODELE	56
3.3.1.1	Etendue du modèle	56
3.3.1.2	Données topographiques	57
3.3.2	HYPOTHESES DE CALCUL	57
3.3.2.1	Condition à la limite amont	57
3.3.2.2	Condition à la limite aval	57
3.3.2.3	Coefficients de rugosité	58
3.3.3	CALAGE DU MODELE	58
3.3.4	MODELISATION DE L'ETAT PROJETE	64

3.3.5	RESULTATS DE LA MODELISATION	64
4	RENTABILITE ECONOMIQUE DES PROJETS	64
4.1	CONTEXTE DE L'ACB REALISE	64
4.2	LES BENEFICES	64
4.3	LES COUTS	64
4.4	LES INDICATEURS SYNTHETIQUES VAN ET B/C	65
5	CONTRAINTE ENVIRONNEMENTALES	66
6	CONCLUSION	70

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 CARTOGRAPHIES

ANNEXE 1 TITRE ANNEXE

TABLE DES FIGURES

Figure 1	: implantation des sites étudiés et des sites alternatifs	4
Figure 2	: Zonage pluviométrique de l'évènement du 15 juin 2010	10
Figure 3	: Précipitations enregistrées à la station de Taradeau le 15/06/2010	11
Figure 4	: Zonage pluviométrique de l'évènement du 5 novembre 2011	12
Figure 5	: Précipitations enregistrées à proximité des barrages le 5/11/2011	13
Figure 6	: Zonage pluviométrique de l'évènement du 3 décembre 2006	14
Figure 7	: Précipitations enregistrées à proximité des barrages le 3/12/2006	14
Figure 8	: Localisation des stations du réal Collobrier – Source [2]	18
Figure 9	: Distribution en fréquence des pluies - Réal Collobrier, source [2]	18
Figure 10	: Localisation des points de calcul des débits Shyreg	22
Figure 11	: Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage de Saint Esprit – Episode de déc. 2006	26
Figure 12	: Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage de Saint Esprit – Episode de 2011	26
Figure 13	: Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage des Cous – Episode de nov. 2011	27

Figure 14 : Hyétoigrammes de projet	28
Figure 15 : Hydrogrammes en entrée du barrage de l'Aspé	29
Figure 16 : Hydrogrammes en entrée du bassin de Vaulongue	29
Figure 17 : Hyétoigramme de période de retour 10, 30, 50 et 100 ans – HGM 2013	33
Figure 18 : Hydrogrammes à l'aval du vallon des Crottes	37
Figure 19 : Hydrogrammes de la Garonne au droit de Vaulongue	38
Figure 20 : Hydrogrammes de l'affluent de Vaulongue	38
Figure 21 : loi Hauteur-Surface de la retenue du barrage de l'Aspé	42
Figure 22 : Loi Hauteur - Volume de la retenue du barrage de l'Aspé	42
Figure 23 : Emprise des PHEE du barrage de l'Aspé	43
Figure 24 : Loi d'évacuation de l'évacuateur du barrage de l'Aspé	46
Figure 25 : Loi d'évacuation du pertuis de fond du barrage de l'Aspé	47
Figure 26 : loi Hauteur-Surface de la retenue du bassin de Vaulongue	50
Figure 27 : Loi Hauteur - Volume de la retenue du bassin de Vaulongue	51
Figure 28 : Emprise des PHEE du bassin de Vaulongue	52
Figure 29 : Vue de la retenue du bassin de Vaulongue	53
Figure 30 : Loi d'évacuation de l'évacuateur du bassin de Vaulongue	54
Figure 31 : Loi d'évacuation du pertuis de fond du bassin de Vaulongue	54
Figure 32 : Laminage de la crue d'optimisation du fonctionnement (T = 55 ans) – Barrage de l'Aspé	56
Figure 33 : Laminage de la crue de 2011 – Barrage de l'Aspé	57
Figure 34 : Laminage de la crue exceptionnelle – Barrage de l'Aspé	58
Figure 35 : Laminage de la crue extrême – Barrage de l'Aspé	58
Figure 36 : Laminage de la crue d'optimisation du fonctionnement (T = 55 ans) – Bassin de Vaulongue	60
Figure 37 : Laminage de la crue de 2011 – Bassin de Vaulongue	60
Figure 38 : Laminage de la crue exceptionnelle – Barrage de Vaulongue	61
Figure 39 : Laminage de la crue extrême – Bassin de Vaulongue	62
Figure 40 : Comparaison des hydrogrammes de la crue de période de retour 30 ans	74
Figure 1 : Zonage pluviométrique de l'évènement du 15 juin 2010	9
Figure 2 : Précipitations enregistrées à la station de Taradeau le 15/06/2010	10
Figure 3 : Zonage pluviométrique de l'évènement du 5 novembre 2011	11
Figure 4 : Précipitations enregistrées à proximité des barrages le 5/11/2011	12
Figure 5 : Zonage pluviométrique de l'évènement du 3 décembre 2006	12
Figure 6 : Précipitations enregistrées à proximité des barrages le 3/12/2006	13
Figure 7 : Localisation des stations du réal-Collobrier – Source [2]	17

Figure 8 : Distribution en fréquence des pluies – Réal Collobrier, source [2]	17
Figure 9 : Localisation des points de calcul des débits Shyreg	21
Figure 10 : Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage de Saint Esprit – Episode de déc. 2006	24
Figure 11 : Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage de Saint Esprit – Episode de 2011	24
Figure 12 : Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage des Gous – Episode de nov. 2011	25
Figure 13 : Hyétoigrammes de projet	26
Figure 14 : Hydrogrammes en entrée du barrage de l'Aspé	27
Figure 15 : Hydrogrammes en entrée du bassin de Vaulongue	27
Figure 16 : Localisation des bassins versants	30
Figure 17 : Hyétoigramme de période de retour 10, 30, 50 et 100 ans – HGM 2013	34
Figure 18 : loi Hauteur Surface de la retenue du barrage de l'Aspé	40
Figure 19 : Loi Hauteur – Volume de la retenue du barrage de l'Aspé	40
Figure 20 : Vue en plan de l'évacuateur de crue de l'Aspé	42
Figure 21 : Coupe amont aval le long du coursier de l'Aspé	42
Figure 22 : Loi d'évacuation de l'évacuateur du barrage de l'Aspé	43
Figure 23 : Coupe amont aval de la vidange du barrage de l'Aspé	43
Figure 24 : Loi d'évacuation du pertuis de fond du barrage de l'Aspé	44
Figure 25 : loi Hauteur Surface de la retenue du bassin de Vaulongue	47
Figure 26 : Loi Hauteur – Volume de la retenue du bassin de Vaulongue	47
Figure 27 : Loi d'évacuation de l'évacuateur du bassin de Vaulongue	49
Figure 28 : Loi d'évacuation du pertuis de fond du bassin de Vaulongue	49
Figure 29 : Laminage de la crue de dimensionnement (T = 55 ans) – Barrage de l'Aspé	51
Figure 30 : Laminage de la crue centennale (T = 100 ans révisée) – Barrage de l'Aspé	51
Figure 31 : Laminage de la crue millénale – Barrage de l'Aspé	52
Figure 32 : Laminage de la crue décennale – Barrage de l'Aspé	52
Figure 33 : Laminage de la crue de 2011 – Barrage de l'Aspé	53
Figure 34 : Laminage de la crue de dimensionnement (T = 55 ans) – Bassin de Vaulongue	54
Figure 35 : Laminage de la crue centennale (T = 100 ans révisée) – Bassin de Vaulongue	54
Figure 36 : Laminage de la crue millénale – Bassin de Vaulongue	55
Figure 37 : Laminage de la crue décennale – Bassin de Vaulongue	55
Figure 38 : Laminage de la crue de 2011 – Bassin de Vaulongue	56
Figure 39 : Localisation de la zone modélisée	57
Figure 40 : Condition limite aval du modèle 1D – Courbe de tarage	58

Figure 41 : Localisation des repères de crue	58
Figure 42 : Calage sur la crue de 2011	60
Figure 43 : Résultats du calage pour la crue de 2011	60
Figure 44 : Profil en travers en état projeté	64
Figure 45 : Modélisation 1D de la crue millénaire au droit de Vaulongue	62
Figure 46 : Modélisation 1D de la crue millénaire au droit de Vaulongue	62

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données sur l'efficacité hydraulique des ouvrages	4
Tableau 2 : Analyse des impacts et l'efficacité des ouvrages	5
Tableau 3 : Classement des barrages	7
Tableau 4 : Période de retour de la crue exceptionnelle en fonction de type de barrage et de sa classe	7
Tableau 5 : Période de retour de la crue extrême en fonction de type de barrage et de sa classe ..	8
Tableau 6 : Situations exceptionnelle et extrême pour les deux bassins écrêteurs	8
Tableau 7 : Occupation des sols des bassins versants	9
Tableau 8 : Caractéristiques du bassin versant de l'Aspé	9
Tableau 9 : Caractéristiques du bassin versant de Vaulongue	9
Tableau 10 : Intensités et cumuls pluviométriques lors de l'épisode de juin 2010	11
Tableau 11 : Cumuls pluviométriques lors de l'épisode de novembre 2011	13
Tableau 12 : Cumuls pluviométriques lors de l'épisode de décembre 2006	14
Tableau 13 : Cumuls de pluie pour les événements récents	15
Tableau 14 : Pluies journalière (en mm) de différentes périodes de retour (Source : Météo France)	15
Tableau 15 : Données de pluie à Fréjus – Méthode du renouvellement Météo France	16
Tableau 16 : Données de pluie à Fréjus – Montana Météo France	17
Tableau 17 : Quantiles de pluie SHYREG du bassin	17
Tableau 18 : Quantiles de pluies - Réal Collobrier	19
Tableau 19 : Synthèse des cumuls des pluies de période de retour 10 ans (mm)	19
Tableau 20 : Synthèse des cumuls des pluies de période de retour 100 ans (mm)	20
Tableau 21 : Cumuls pluviométriques retenus (T = 10 ans et T = 100 ans)	20
Tableau 22 : Cumuls pluviométriques retenus (T = 1 000 ans, T = 3 000 ans et T = 10 000 ans) ..	21
Tableau 23 : Débits Shyreg	23

Tableau 24 : grille de croisement des CN	24
Tableau 25 : CN des bassins versants.....	24
Tableau 26 : Cumuls pluviométriques des hyétogrammes de référence	27
Tableau 27 : Coefficients de Montana des hyétogrammes de référence	28
Tableau 28 : Débits de pointe des crues	28
Tableau 29 : Volume des crues.....	29
Tableau 30 : Comparaison des débits de pointe de crue du barrage de l'Aspé	30
Tableau 31 : Comparaison des débits de pointe de crue du bassin de Vaulongue.....	30
Tableau 32 : Synthèse pour les crues de référence	30
Tableau 33 : Intensités de pluie sur 1h et 12h retenues	32
Tableau 34 : Cumuls des pluies (en mm) des événements de 2006 et 2011.....	33
Tableau 35 : Comparaison des cumuls de pluies	34
Tableau 36 : Périodes de retour réaffectées	35
Tableau 37 : Valeurs caractéristiques de la retenue de l'Aspé	43
Tableau 38 : Valeurs caractéristiques de la retenue de Vaulongue.....	52
Tableau 39 : Période de retour des événements modélisés	55
Tableau 40 : Laminage des crues par le barrage de l'Aspé.....	56
Tableau 41 : Laminage des crues par le bassin de Vaulongue	59
Tableau 42 : Coûts des aménagements (en € HT).....	70
Tableau 1 : Classement des barrages.....	6
Tableau 2 : Période de retour de la crue exceptionnelle en fonction de type de barrage et de sa classe	6
Tableau 3 : Période de retour de la crue extrême en fonction de type de barrage et de sa classe ..	6
Tableau 4 : Périodes de retour de la crue de projet pour un petit barrage en terre en fonction de la hauteur et du volume du barrage	7
Tableau 5 : Période de retour de la crue de projet et de la crue extrême pour les deux bassins écrêteurs.....	7
Tableau 6 : Occupation des sols des bassins versants	8
Tableau 7 : Caractéristiques du bassin versant de l'Aspé	8
Tableau 8 : Caractéristiques du bassin versant de Vaulongue	8
Tableau 9 : Intensités et cumuls pluviométriques lors de l'épisode de juin 2010	10
Tableau 10 : Cumuls pluviométriques lors de l'épisode de novembre 2011	12
Tableau 11 : Cumuls pluviométriques lors de l'épisode de décembre 2006	13
Tableau 12 : Cumuls de pluie pour les événements récents	14
Tableau 13 : Pluies journalière (en mm) de différentes périodes de retour (Source : Météo France)	14
Tableau 14 : Données de pluie à Fréjus – Méthode du renouvellement Météo France	15

Tableau 15 : Données de pluie à Fréjus – Montana Météo France	16
Tableau 16 : Quantiles de pluie SHYREG du bassin	16
Tableau 17 : Quantiles de pluies – Réal Collobrier	18
Tableau 18 : Synthèse des cumuls des pluies de période de retour 10 ans (mm)	18
Tableau 19 : Synthèse des cumuls des pluies de période de retour 100 ans (mm)	19
Tableau 20 : Cumuls pluviométriques retenus (T = 10 ans et T = 100 ans)	19
Tableau 21 : Cumuls pluviométriques retenus (T = 1 000 ans, T = 3 000 ans et T = 10 000 ans) ..	19
Tableau 22 : Débits Shyreg	21
Tableau 23 : grille de croisement des CN	23
Tableau 24 : CN des bassins versants	23
Tableau 25 : Cumuls pluviométriques des hyétogrammes de référence	25
Tableau 26 : Coefficients de Montana des hyétogrammes de référence	26
Tableau 27 : Débits de pointe des crues	26
Tableau 28 : Volume des crues	27
Tableau 29 : Comparaison des débits de pointe de crue du barrage de l'Aspé	28
Tableau 30 : Comparaison des débits de pointe de crue du bassin de Vaulongue	28
Tableau 31 : Synthèse pour les crues de référence	28
Tableau 32 : Intensités de pluie sur 1h et 12h retenues	30
Tableau 33 : Période de retour des événements modélisés	50
Tableau 34 : Laminage des crues par le barrage de l'Aspé	50
Tableau 35 : Laminage des crues par le bassin de Vaulongue	53
Tableau 36 : Caractéristiques des laisses de crue	59
Tableau 37 : Dommages moyens annuels (DMA) des 2 scénarios	64
Tableau 38 : Coûts des aménagements (en € HT)	65
Tableau 39 : Indicateurs synthétiques	65

Provisoire

1 CONTEXTE

1.1 PRESENTATION GENERALE

La Garonne ~~prend sa source, rivière prenant sa source~~ dans l'Estérel. ~~Elle connaît, connaît~~ des crues ~~régulières et régulièrement~~ dommageables pour les communes de Fréjus et Saint Raphaël situées dans la partie aval du bassin versant.

Les dernières crues, d'occurrences comprises entre 50 et 100 ans (2006 et 2011) ont ainsi rappelé ~~le problème récurrent de~~ la vulnérabilité des riverains au risque de crue. La partie basse de Fréjus et Saint-Raphaël forme une cuvette où les hauteurs d'eau peuvent être importantes en cas d'inondation et mettre en péril des vies humaines et/ou des structures d'habitations et d'entreprises.

Face à ce constat, la CAVEM (Communauté d'Agglomération Var Estérel Méditerranée) a entrepris en 2007 une réflexion globale visant à définir une stratégie de protection contre les crues des communes de Fréjus et Saint-Raphaël. Un schéma directeur de lutte contre les inondations de la Garonne, du Pédégal et du Valescure a donc été réalisé en 2007 et révisé en 2014 dans lequel 7 ouvrages écrêteurs étaient prévus (4 sur le bassin du Valescure et du Pédégal et 3 sur le bassin de la Garonne).

En 2015, une analyse multicritères est réalisée et il apparaît que la réalisation des 3 ouvrages écrêteurs de Vaulongue, de l'Aspé et des Crottes amont permettent d'obtenir un écrêtement significatif des crues de la Garonne dans la traversée de Saint Raphaël. L'analyse coût-bénéfice de ces ouvrages est positive.

~~En 2016, il~~ a CAVEM intègre la réalisation de ces ouvrages dans le PAPI Argens ~~en 2016~~.

~~Fin 2016~~ Suite à ce constat, la CAVEM ~~a confié confié après appel d'offres à~~ ISL Ingénierie la mission de maîtrise d'œuvre ~~complète des barrages de l'Aspé, des Crottes amont et de Vaulongue~~ des ouvrages à ISL. Ce document s'inscrit dans le cadre de cette mission. Il présente ~~l'étude préliminaire des ouvrages~~.

1.2 SITUATION GENERALE DES AMENAGEMENTS

Les barrages de l'Aspé et des Crottes amont sont situés sur le cours d'eau du vallon des Crottes, affluent de la Garonne qui se jette dans la mer Méditerranée après avoir traversé la commune de Saint-Raphaël. L'implantation prévisionnelle du barrage des Crottes est à environ 1,2 km en amont du barrage de l'Aspé, dans un vallon encaissé. Le barrage de l'Aspé se situera en amont immédiat de la confluence avec la Garonne.

Le bassin écrêteur de Vaulongue est envisagé en rive gauche de la Garonne, environ 900 m en aval de la confluence avec le vallon des Crottes. Ce bassin capte les eaux du thalweg en provenance de la zone d'activité du Cerceron.

La carte n°1 présente la situation générale des aménagements (1/10 000^{ème})

Carte n°1

1.3 CONTENU DU RAPPORT

Le présent document ~~s'inscrit dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre complète des ouvrages écrêteurs des Crottes amont, de l'Aspé et de Vaulongue confiée par la CAVEM à ISL Ingénierie.~~

Il a pour objectif de :

- définir l'hydrologie de référence associée aux ouvrages,
- décrire les ouvrages et préciser le calage et les dimensions des ouvrages d'évacuation (pertuis de fond, évacuateurs de crue),
- estimer l'impact des ouvrages sur les crues (laminage et impact hydraulique),
- présenter les conclusions en termes de rentabilité économique (AMC),
- rappeler les contraintes environnementales.

1.4 ~~VOCATION DES AMENAGEMENTS~~ ETUDIES

Le barrage des Crottes amont présente des contraintes environnementales et foncières importantes. En concertation avec la CAVEM, ISL a optimisé le barrage de l'Aspé de manière à ~~atteindre les objectifs conserver les mêmes gains hydrauliques sans construire le barrage des Crottes amont définis dans le cadre du schéma directeur avec un seul barrage au lieu de deux :-~~

- ~~Un débit de l'ordre de 5 m³/s relâché en aval du barrage de l'Aspé ;~~
- ~~Un débit de 4 m³/s restitué en aval du bassin de Vaulongue-~~

La crête du barrage de l'Aspé et la cote du déversoir ont été rehaussées afin d'augmenter le volume sous la retenue normale.

1.5 ETUDE DE SITES ALTERNATIFS

Afin de s'assurer que les sites retenus présente la meilleure efficacité hydraulique pour les impacts (foncières et environnementaux) les plus réduits, la CAVEM a demandé à ISL de procéder à une recherche de sites alternatifs et de les comparer au titre de leur efficacité hydraulique.

Le rapport 16F-114-RM-4, émis par ISL en janvier 2017, détaille les cette analyse. Les principaux résultats sont présentés ci-après.

Les différents sites étudiés sont localisés sur la carte suivante.

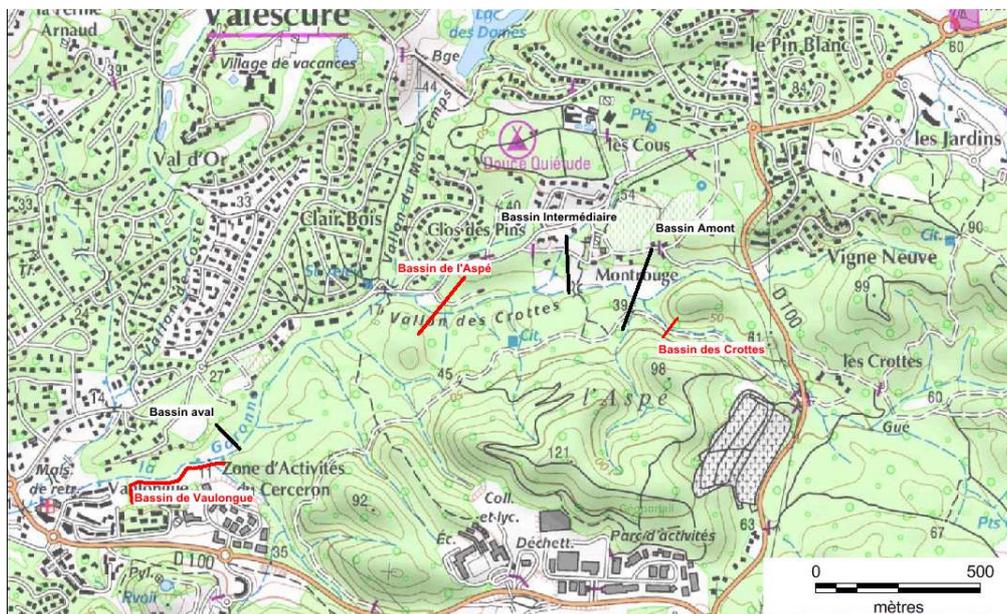


Figure 1 : implantation des sites étudiés et des sites alternatifs

Le bassin de Vaulongue est écarté de la comparaison : ce dernier concerne un bassin de dimension réduite et a un impact principalement local.

Trois sites alternatifs ont été étudiés en plus des barrages de l'Aspe et des Crottes amont. Les lois H/S/V de chaque site ont été comparées ainsi que leur impact foncier et environnemental.

Les tableaux suivants comparent les hauteurs et volumes de chaque site et synthétise l'efficacité et les impacts des ouvrages.

	<u>H max (m)</u>	<u>V max (m³)</u>	<u>Surface BV (km²)</u>
<u>Crottes</u>	<u>11</u>	<u>64 000</u>	<u>1,7</u>
<u>Aspe</u>	<u>13</u>	<u>225 000</u>	<u>2,7</u>
<u>Amont</u>	<u>10</u>	<u>125 000</u>	<u>2</u>
<u>Intermédiaire</u>	<u>6</u>	<u>70 000</u>	<u>2,3</u>
<u>Aval</u>	<u>3 à 6</u>	<u>17 000 à 36 000</u>	<u>14,3</u>

Tableau 1 : Données sur l'efficacité hydraulique des ouvrages

	<u>Efficacité hydraulique</u>	<u>Limitation de l'Impact foncier</u>	<u>Limitation de l'Impact environnemental</u>
<u>Crottes</u>	<u>+</u>	<u>+++</u>	<u>-</u>
<u>Amont</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>-</u>
<u>Intermédiaire</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>-</u>
<u>Aspé</u>	<u>+++</u>	<u>+</u>	<u>+</u>
<u>Aval</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>+</u>

Tableau 2 : Analyse des impacts et l'efficacité des ouvrages

Il résulte de cette analyse que les sites de l'Aspé et des Crottes sont les sites qui permettent d'obtenir la meilleure efficacité hydraulique tout en limitant suffisamment les impacts pour pouvoir envisager d'obtenir les autorisations administratives préalables à leur réalisation.

1.6 BIBLIOGRAPHIE

- [1] . Schéma directeur de lutte contre les inondations de la Garonne, du Pédégal et du Valescure – Phases 1 à 4 – BCEOM, juin 2007 ;
- [2] Publication « Le Bassin de recherche du Réal Collobrier – Etude des processus hydrologiques en milieu méditerranéen a échelle fine », M. Folton, M. tolsa, P. Arnaud, janvier 2013 ;
- [3] Note sur « *Les inondations du 15 juin 2010 dans le centre Var : Réflexion sur un épisode exceptionnel* », Claude MARTIN, 2010 ;
- [4] « Estimation des hauteurs de précipitations d'occurrence rare pour des durées de cumul de 1 à 10 jours sur 3000 postes français », Météo-France, juillet 1999 ;
- [4]-

2 ETUDES HYDROLOGIQUES

2.1 OBLIGATIONS REGLEMENTAIRES ET CRUE DE PROJET

L'étude prend en compte les dernières recommandations sur le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages (*Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages* – CFBR – Juin 2013) ainsi que le dernier décret paru : **Décret n. 2015-526 du 12 mai 2015** relatif aux règles applicables aux ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et aux règles de sûreté des ouvrages hydrauliques.

2.1.1 CLASSEMENT DES BARRAGES

Suite au dernier décret, les critères de classement des barrages sont les suivants.

	Critères
Classe A	$H \geq 20 \text{ m}$ ET $H^2 \times V^{0,5} \geq 1500$
Classe B	$H \geq 10 \text{ m}$ ET $H^2 \times V^{0,5} \geq 200$
Classe C	$H \geq 5 \text{ m}$ ET $H^2 \times V^{0,5} \geq 20$ OU $H > 2 \text{ m}$ ET $V > 0,05$ (=50 000 m ³) ET « Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 m »

Avec :

- H la hauteur du barrage par rapport au TN,
- V le volume sous la cote du déversoir pour un barrage écrêteur.

Pour les barrages écrêteurs, la notion de population protégée peut également être prise en compte.

La grille est la suivante.

	A	B	C
Population protégée par le système	$P > 30\,000$	$3\,000 < P < 30\,000$	$30 < P < 3\,000$

Le classement d'un barrage écrêteur doit donc considérer :

- ses caractéristiques H et V,
- la population protégée : "P", la population maximale exprimée en nombre d'habitants résidant dans la zone protégée, en incluant notamment les populations saisonnières

Le classement des différents barrages étudiés est le suivant :

	Aspé	Vaulongue
Type	Remblais	Remblais
H (m)	15,5	4,5
V (m ³)	19086 000	35 000
$H^2 \times V^{0,5}$	104 5	4
Classement au titre du décret de 2016	C	Non classé

Tableau 31 : Classement des barrages

Au titre des barrages, le barrage de l'Aspé serait classé en C et le bassin de Vaulongue n'est pas classé.

Au titre de la population protégée, ils seraient tout deux classés en C et sont dimensionnés en conséquence.

L'analyse réalisée dans le cadre de cette étude considère donc le barrage de l'Aspé en classe C et celui de Vaulongue suivant les recommandations des petits barrages.

2.1.2 DETERMINATION DES CRUES A ETUDIER

Les dernières recommandations sur le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages (Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – CFBR – Juin 2013) fixent le choix des périodes de retour des crues exceptionnelles et extrêmes.

~~Les recommandations du CFBR fixent les choix des situations de crue en fonction du type d'ouvrage et de sa classe.~~

• SITUATION EXCEPTIONNELLE DE CRUE : détermine les PHE

Classe du barrage	Barrages rigides	Barrages en remblais
A	3 000	10 000
B	1 000	3 000
C	300	1 000

Classe du barrage	Barrages rigides	Barrages en remblai
A	3000	10000
B	1000	3000
C	300	1000

Tableau 42 : Période de retour de la crue exceptionnelle en fonction de type de barrage et de sa classe

• SITUATION EXTREME DE CRUE : "L'ouvrage possède encore une marge de sécurité avant la survenance d'un accident. Supposé se produire quand la cote de danger est atteinte »

Classe du barrage	Probabilité annuelle de dépassement de

	la cote de danger
A	10^{-5}
B	3×10^{-5}
C	10^{-4}

Classe du barrage	Probabilité annuelle de dépassement de la cote de danger
A	10^{-5}
B	3×10^{-5}
C	10^{-4}

Tableau 53 : Période de retour de la crue extrême en fonction de type de barrage et de sa classe

2.1.3 SYNTHÈSE DES CRUES A CONSIDÉRER POUR LES BASSINS DE L'ASPE ET DE VAULONGUE

Les périodes de retour des crues à considérer pour les deux barrages sont présentés dans le tableau suivant.

	Aspé	Vaulongue
<u>Situation Crue de projet exceptionnelle</u>	<u>Crue (T=1 000 ans)</u>	<u>Crue (T=1 000 ans) 4 000 ans</u>
<u>Crue extrême Situation extrême 1</u>	<u>Crue (T=10 000 ans) $(Q(10^{-4}))$</u>	<u>Crue (T=10 000 ans) 10 000 ans</u>
<u>Situation extrême 2</u>	<u>Crue (T = 1 000 ans) et pertuis de fond obstrué</u>	<u>Crue (T = 1 000 ans) et pertuis de fond obstrué</u>

Tableau 65 : Période de retour de la crue de projet et de la crue Situations exceptionnelle et extrême pour les deux bassins écrêteurs

2.2 DETERMINATION DE L'HYDROLOGIE DE REFERENCE DES CRUES EXCEPTIONNELLES ET EXTREMES

2.2.1 METHODOLOGIE

L'approche suivante a été mise en œuvre :

- une estimation des temps de concentration,
- un recensement des événements historiques extrêmes,
- une synthèse des analyses statistiques de la pluviométrie,
- une estimation des débits de pointe,
- la construction des hyétogrammes de référence de périodes de retour 100 ans, 1000 ans, 3 000 ans et 10 000 ans,
- une modélisation pluie/débit de type hydrogramme unitaire,

2.2.1.1 Caractéristiques des bassins versants

Présentation des bassins versants

La carte n°1 insérée en ANNEXE 1 ~~Erreur ! Source du renvoi introuvable.~~ localise les bassins versants. Ils se situent entre le massif de l'Estérel et la mer à l'Est du département du Var.

Le tableau suivant présente l'occupation des sols sur chacun des bassins versants (selon la base Corine Land Cover).

	BV Aspé	BV Vaulongue
Zones urbanisées	16%	64%
Mines, décharges et chantiers	1%	
Forêts	57%	36%
Milieus à végétation arbustive et/ou herbacée	26%	

Tableau 76 : Occupation des sols des bassins versants

Les bassins versants sont majoritairement couverts par des forêts, des zones urbanisées et de la végétation arbustive.

Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques géométriques des bassins versants de l'Aspé et de Vaulongue sont présentées dans les tableaux suivants.

Surface	Altitude maximale du BV	Altitude minimale du BV	Chemin hydraulique	Pente pondérée
2,7 km ²	169 m NGF	16,5 m NGF	2,6 km	2,4 %

Tableau 87 : Caractéristiques du bassin versant de l'Aspé

Surface	Altitude maximale du BV	Altitude minimale du BV	Chemin hydraulique	Pente pondérée
0,8 km ²	121 m NGF	10,5 m NGF	1,5 km	4,4 %

Tableau 98 : Caractéristiques du bassin versant de Vaulongue

Le temps de concentration du bassin (temps mis par une goutte d'eau tombée en tête de bassin versant pour arriver à l'exutoire) a été approché par la formule de Bressand Golossov qui peut s'appliquer lorsque $S < 20 \text{ km}^2$.

$$T_c = \frac{L}{V}, \text{ avec } V = 1 + \frac{p-1}{9}$$

Les temps de concentration sont estimés à :

- 40 minutes pour le barrage de l'Aspé,
- 20 minutes pour le bassin de Vaulongue.

Ces temps de concentration conduisent à analyser les pluies de courtes durées de 30 minutes à 3h.

2.2.1.2 Situation des bassins versants par rapport aux événements régionaux généralisés

Cartographie des événements généralisés

Les événements retenus ont été sélectionnés dans la base de données Météo-France relative aux pluies extrêmes en France métropolitaine.

Événement du 15 JUIN 2010

La carte ci-dessous présente le zonage de la pluie sur un jour (de 6h à 6h) de l'événement du 15 juin 2010.

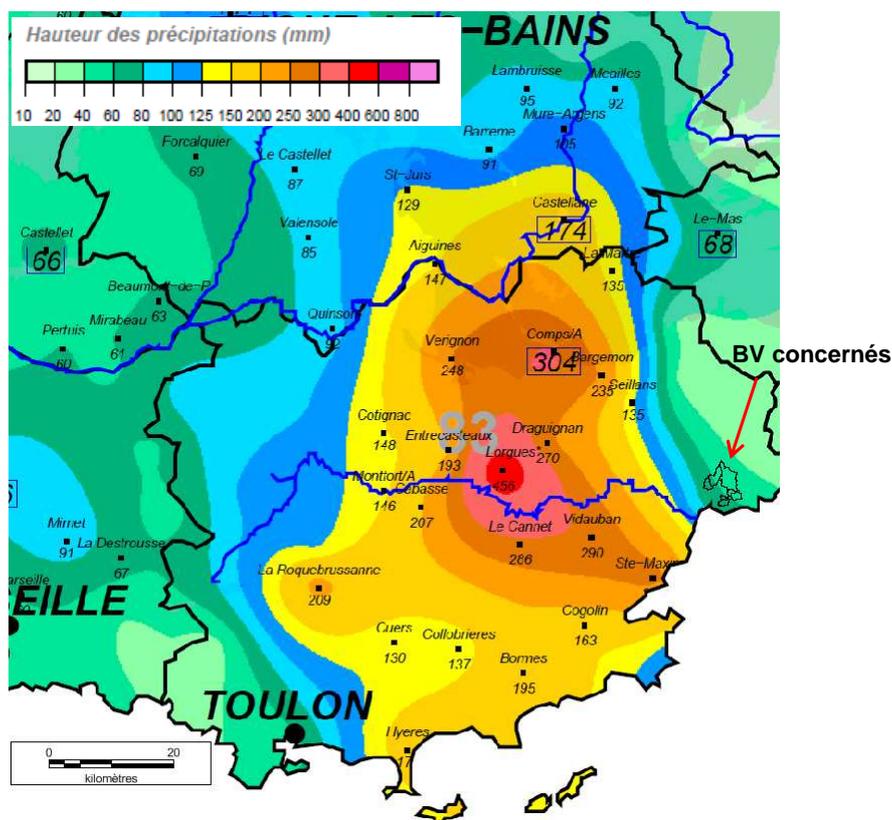


Figure 2 : Zonage pluviométrique de l'événement du 15 juin 2010

Cet épisode est l'événement contemporain le plus remarquable de la région. La cellule intense est centrée sur Lorgues où il est tombé jusqu'à 456 mm en un jour. Lors de cet événement, les bassins versants des barrages concernés par cette étude, situés à environ 35 km de l'épicentre, n'ont reçu qu'environ 60 mm de précipitation en un jour.

La figure suivante, extraite de [3] présente les précipitations enregistrées à la station de Taradeau (réseau CIRAME), située au Sud-Est de Lorgues. Cette station est située à environ 32 km à l'Ouest des bassins versants. Sur l'épisode, la station a reçu 387 mm.

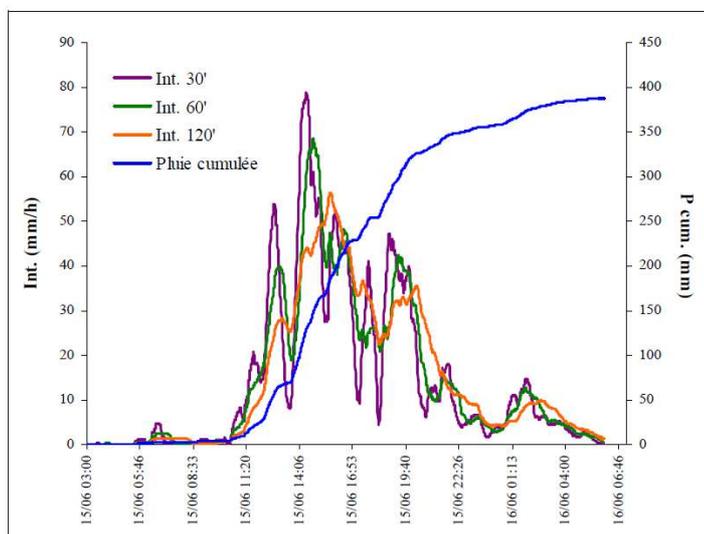


Figure 3 : Précipitations enregistrées à la station de Taradeau le 15/06/2010

Les intensités et cumuls mesurés sont présentés dans le tableau suivant.

	Intensité (mm/h)	Cumuls (mm)
30 minutes	79	39
1 h	69	69
3 h	57	183
24h	-	384

Tableau 109 : Intensités et cumuls pluviométriques lors de l'épisode de juin 2010

Cet épisode présente un caractère exceptionnel.

Evènement du 5 au 6 novembre 2011

La carte ci-dessous présente le zonage de la pluie sur un jour (6h-6h) de l'évènement du 5 novembre 2011.

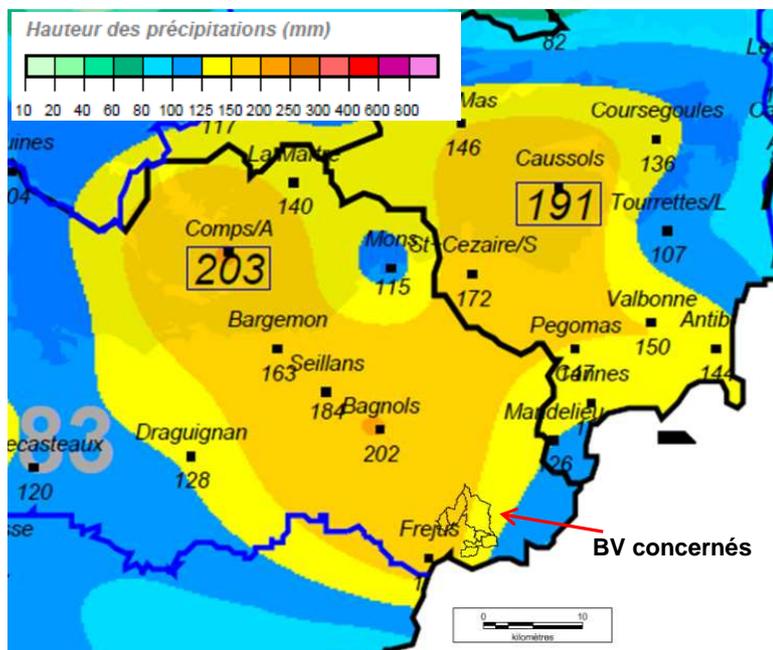


Figure 4 : Zonage pluviométrique de l'évènement du 5 novembre 2011

Cet épisode est l'évènement le plus important survenu sur les bassins versants des bassins de l'Aspe et de Vaulongue. De nombreux dégâts ont été occasionnés lors de cette crue à Fréjus et Saint Raphaël.

Lors de cet épisode, trois postes pluviométriques ont enregistré les précipitations au pas de temps horaire :

- Le poste du barrage des Cous,
- Le poste du Pédégal géré par Météo France, situé au niveau de la caserne de pompiers à la base nature de Fréjus,
- Le pluviomètre de l'Estérel, situé sur le bassin versant du Valescure et du Reyran.
- Le poste de Saint Esprit a dysfonctionné lors de cet épisode.

Commentaire [I1]: Postes des Cous et de l'Estérel gérés par???

Les hyétogrammes enregistrés au droit de ces 3 postes pluviométriques sont présentés sur le graphe suivant.

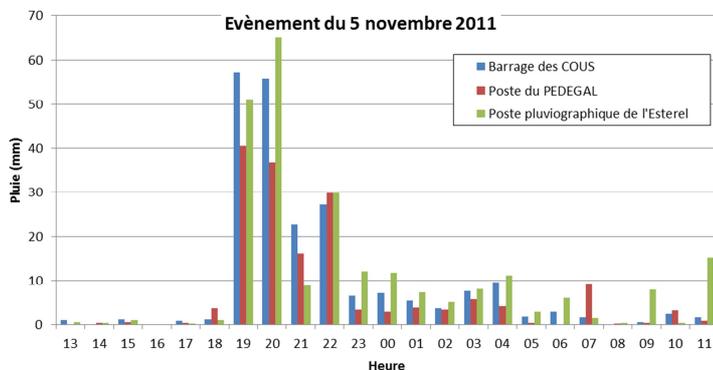


Figure 5 : Précipitations enregistrées à proximité des barrages le 5/11/2011

Les cumuls pluviométriques sont présentés dans le tableau suivant.

	Barrage des Cous	Poste Météo France du Pédégal	Poste de l'Estérel
Cumul en 1 h	57 mm	41 mm	65 mm
Cumul en 3 h	136 mm	93 mm	125 mm
Cumul en 6 h	176 mm	130 mm	179 mm
Cumul en 24 h	271 mm	166 mm	253 mm

Tableau 1140 : Cumuls pluviométriques lors de l'épisode de novembre 2011

Evènement du 2 au 3 décembre 2006

La carte ci-dessous présente le zonage de la pluie sur un jour (6h-6h) de l'évènement du 3 décembre 2006.

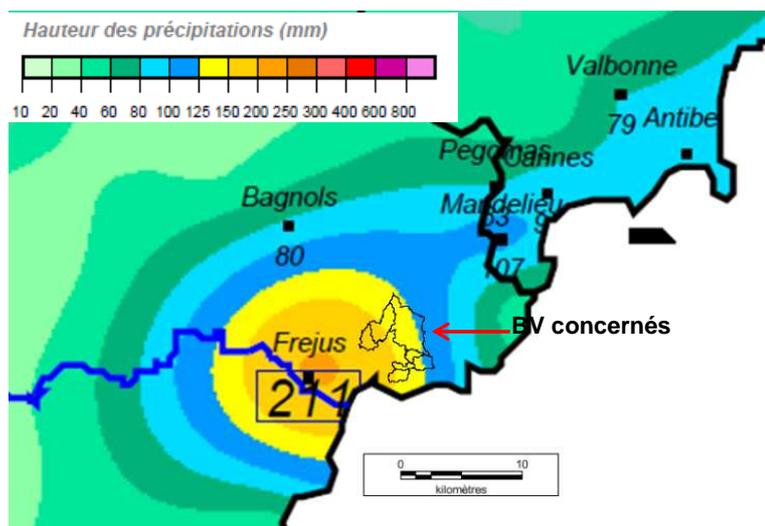


Figure 6 : Zonage pluviométrique de l'évènement du 3 décembre 2006

L'épisode est centré sur la commune de Fréjus. L'épicentre est situé à environ 8 km des bassins versants des barrages.

Lors de cet épisode, trois postes pluviométriques ont enregistré les précipitations au pas de temps horaire :

- Le poste du barrage des Cous,
- Le poste pluviométrique de la Garonne,
- Le poste de Saint Esprit.

Les hyétogrammes relevés dans ces 3 postes sont présentés ci-dessous.

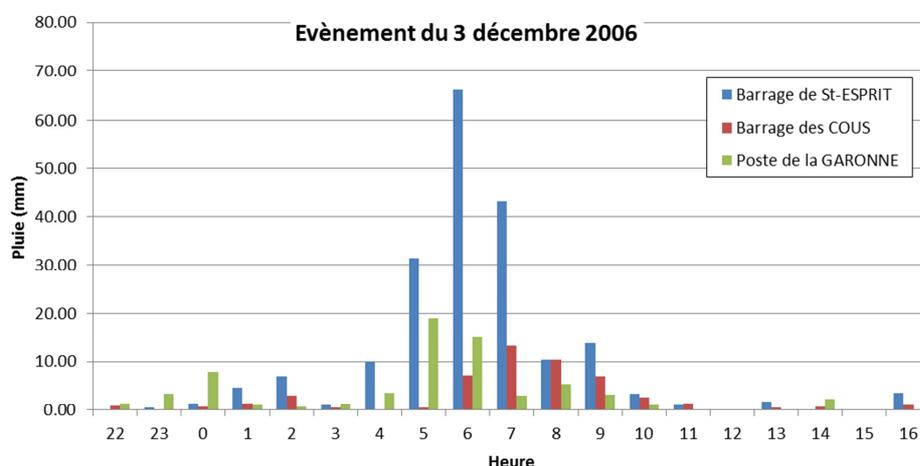


Figure 7 : Précipitations enregistrées à proximité des barrages le 3/12/2006

Les cumuls pluviométriques sont présentés dans le tableau suivant.

	Barrage des Cous	Barrage de Saint Esprit	Poste de la Garonne
Cumul en 1 h	13 mm	66 mm	19 mm
Cumul en 3 h	31 mm	141 mm	38 mm
Cumul en 6 h	42 mm	175 mm	49 mm
Cumul en 24 h	51 mm	200 mm	69 mm

Tableau 1244 : Cumuls pluviométriques lors de l'épisode de décembre 2006

Conclusion sur les évènements récents

Au cours des 10 dernières années, 3 évènements importants se sont produits dans un rayon de 36 km autour du bassin versant de la Garonne.

Les cumuls relevés lors de ces évènements sont synthétisés dans le tableau suivant.

	15 juin 2010		5 novembre 2011	3 décembre 2006
Max journalier – Cumuls Météo France	400 mm		203 mm	211 mm
Source	BDOH – Real Collobrier	Taradeau – Analyse événement	Barrage des Cous	Barrage de Saint Esprit
Distance du BV des barrages par rapport à l'épicentre	36 km		15 km	8 km
Distance de la station par rapport au BV des barrages	50 km	32 km	1 km	3 km
30 min		39 mm		
1 h	57 mm	69 mm	57 mm	66 mm
2 h		113 mm		
3 h	123 mm		136 mm	141 mm
6 h	195 mm		176 mm	175 mm
24 h	250 mm	384 mm	271 mm	200 mm

Tableau 1312 : Cumuls de pluie pour les événements récents

2.2.2 STATISTIQUES PLUVIOMETRIQUES

2.2.2.1 Données pluviométriques recueillies

Etude [4]

L'étude [4] propose une estimation des précipitations jusqu'à une période de retour de 100 ans pour les postes de Météo France. Les postes retenus dans le cadre de cette étude disposent d'au moins 30 années de données. La méthode d'ajustement utilisée a été la méthode du renouvellement.

Le gradex est calculé à partir des valeurs proposées par Météo-France pour Pj10 et Pj100.

Les tableaux ci-dessous présentent les résultats de cette étude pour les postes entourant les bassins versants avec les bornes de l'intervalle de confiance à 70%.

	Altitude (m NGF)	Distance (km)	Années disponibles	PJ 10 ans	PJ 100 ans	Gradex journalier (mm)
Saint-Raphaël (83061001)	2	6	81	87 104 120	116 145 175	18
Le Dramont (83118002)	126	7	34	95 116 137	127 164 201	21
Adrets de l'Esterel (83001001)	310	6	43	96 116 136	129 163 197	20

Tableau 1413 : Pluies journalière (en mm) de différentes périodes de retour (Source : Météo France)

Les résultats sont relativement homogènes

- 104 mm < PJ 10 ans < 116 mm,
- 145 mm < PJ 100 ans < 164 mm,
- 18 < Gradex journalier < 21 mm.

Les incertitudes sont cependant fortes avec par exemple pour le postes du Dramont un intervalle de confiance à 70% pour PJ 100 ans compris entre 127 et 201 mm.

Ajustement Météo France à la station de Fréjus

Les ajustements statistiques des pluies de durée comprise entre 6 minutes et 2 jours à la station de Fréjus réalisés par Météo France ont été repris de [1].

La méthode du renouvellement a été utilisée pour une série de données couvrant la période de 1969 à 2003 (34 ans).

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Durée de la pluie	Hauteur de pluie par période de retour (mm)	
	10 ans	100 ans
30 min	33	48
1h	51	80
3h	70	103
6h	84	123
1j	120	173

Tableau 1514 : Données de pluie à Fréjus – Méthode du renouvellement Météo France

Coefficients de Montana de Météo France à la station de Fréjus

Les coefficients de Montana calculés par Météo France à la station de Fréjus ont été acquis dans le cadre de la présente étude. Les statistiques ont été réalisées sur la période 1969 – 2011 (42 ans) et sur des durées de 6 minutes à 24 heures.

La formule de Montana permet de calculer la quantité de pluie en fonction de la durée et des coefficients de Montana :

$$h(t) = a \times t^{1-b}, \text{ avec } h \text{ en mm et } t \text{ en minutes.}$$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Durée de la pluie	Hauteur de pluie par période de retour (mm)	
	10 ans	100 ans
30 min	32	49
1 h	42	67
3 h	66	111
6 h	88	153
24 h	156	290

Tableau 1615 : Données de pluie à Fréjus – Montana Météo France

Méthode de Shyreg

La méthode SHYREG a été développée par le Cemagref en partenariat avec Météo-France, le CETE Méditerranée et la Direction de Prévention des Pollutions et des Risques (DPPR) du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable. Elle constitue la régionalisation de la méthodologie SHYPRE (Simulation d'Hydrogrammes pour la PREDétermination des crues).

SHYREG s'appuie sur une transposition simple de la pluie horaire en débit associé à un générateur stochastique de pluie horaire, permettant de valoriser l'information donnée par les pluviographes.

Les données de pluies SHYREG fournies par Météo France en un point de grille situé sur la commune de Saint Raphaël pour des pas de temps de 1 à 24 h pour les périodes de retour 10 et 100 ans sont présentées dans le tableau suivant.

	100 ans	10 ans
1 heure	76 mm	48 mm
3 heures	96 mm	64 mm
6 heures	122 mm	81 mm
24 heures	205 mm	127 mm

Tableau 1746 : Quantiles de pluie SHYREG du bassin

Le bassin de recherche du Réal Collobrier

Depuis 1966, le bassin versant de recherche et d'expérimentation du Réal Collobrier est étudié pour améliorer la connaissance des phénomènes hydrologiques des régions méditerranéennes. Ce bassin expérimental est situé environ à 50 km au sud ouest de Fréjus.

La publication [2] présente un ajustement sur les pluies de 1h et de 24h au niveau de deux stations du bassin du Réal Collobrier :

- Anselme : située en tête de bassin versant, à environ 40km des barrages de Cous et Saint Esprit;
- Davids : située à l'exutoire du bassin versant, à environ 55km des deux barrages.

Ces stations sont localisées sur la carte ci-dessous.

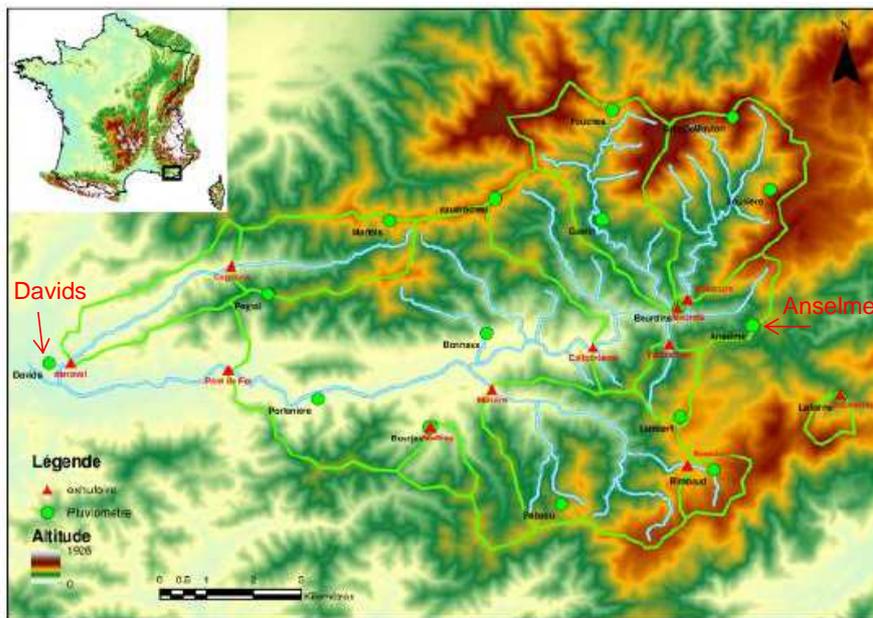


Figure 8 : Localisation des stations du réal Collobrier – Source [2]

Le graphe suivant présente la distribution de fréquence des pluies. Les droites en rouge correspondent aux ajustements que nous avons proposés dans le cadre de la présente étude.

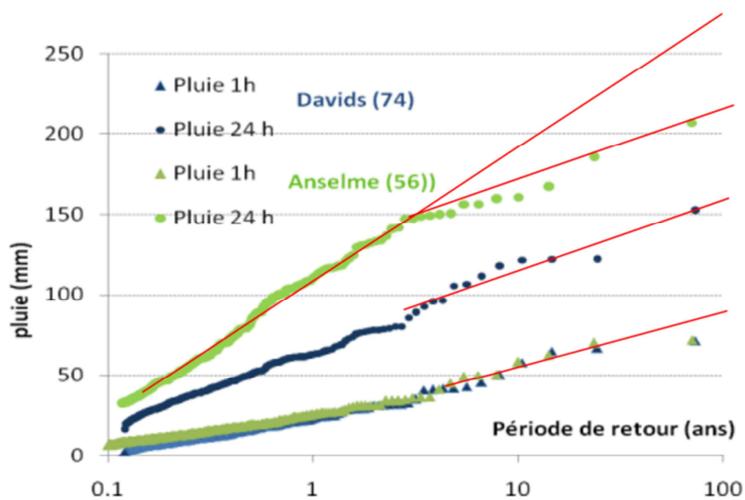


Figure 9 : Distribution en fréquence des pluies - Réal Collobrier, source [2]

Les deux stations ont des répartitions comparables pour les pluies horaires mais différentes pour des pluies de 24h.

Pour les pluies de 24h à la station d'Anselme, deux ajustements différents sont proposés dans le cadre de la présente étude (cf. les droites tracées en rouge sur la figure précédente).

Durée de la pluie	Davids		Anselme	
	10 ans	100 ans	10 ans	100 ans
1 h	55 mm	90 mm	55 mm	90 mm
24 h	115 mm	160 mm	190 mm	275 mm
			170 mm	215 mm

Tableau 1817 : Quantiles de pluies - Réal Collobrier

2.2.2.2 Synthèse de l'analyse pluviométrique

Les tableaux insérés ci-dessous récapitulent l'ensemble des pluies estimées par différentes méthodes pour les pluies décennale et centennale.

Pour les pluies de 24h, lorsque les données sont journalières, le coefficient de Weiss est appliqué pour se ramener à une pluie journalière ($P_{24h} = P_j \times 1,14$).

Cumul pluviométrique de période de 10 ans (mm)

	Ajustement Météo France Fréjus 1969- 2003	Station de Davids	Station d'Anselme	Montana Météo France Fréjus 1969 - 2011	Shyreg Météo France Saint Raphaël 2016	Pluies extrêmes Station des Adrets de l'Esterel
	SDI BCEOM (2007) [1]	Réal Collobrier [2] 2013		[2016]	[2016]	Météo France (1999)
30 min	33			32		
1 h	51	55	55	42	48	
3 h	70			66	64	
6 h	84			88	81	
24 h	136	115	170 à 190	156	127	132

Tableau 1948 : Synthèse des cumuls des pluies de période de retour 10 ans (mm)

Cumul pluviométrique de période de 100 ans (mm)

	Ajustement Météo France Fréjus 1969- 2003	Station de Davids	Station d'Anselme	Montana Météo France Fréjus 1969 - 2011	Shyreg Météo France Saint Raphaël 2016	Pluies extrêmes Station des Adrets de l'Esterel
	SDI BCEOM (2007) [1]	Réal Collobrier [2] 2013		[2016]	[2016]	Météo France (1999)
30 min	48			49		
1 h	80	90	90	67	76	
3 h	103			111	96	
6 h	123			153	122	
24 h	197	160	215 à 275	290	205	186

Tableau 2019 : Synthèse des cumuls des pluies de période de retour 100 ans (mm)

Les deux tableaux insérés précédemment appellent les commentaires suivants.

- Les pluies de durée 30 minutes et 1 h sont homogènes entre les différentes méthodes ; les valeurs commencent à diverger à partir de la pluie de 2 h ;
- Les ajustements réalisés avant 2006 ne prennent pas en compte les événements récents remarquables (400 mm en 1 jours en 2010, 271 mm en 24h en 2011 et 200 mm en 24h en 2006).

Dans le cadre de la présente étude, les cumuls retenus sont présentés dans le tableau suivant.

	T = 10 ans	T = 100 ans
Pluie de 1 h (mm)	55 mm	90 mm
Pluie de 3 h (mm)	74 mm	120 mm
Pluie de 24 h (mm)	170 mm	275 mm

Tableau 2120 : Cumuls pluviométriques retenus (T = 10 ans et T = 100 ans)

Les pluies de période de retour 1000 ans, 3000 ans et 10 000 ans sont calculées en extrapolant le gradex estimé à partir des valeurs décennales et centennales. Les résultats obtenus sont les suivants.

	T = 1 000 ans	T = 3 000 ans	T = 10 000 ans
Pluie de 1 h (mm)	125 mm	142 mm	160 mm
Pluie de 3 h (mm)	168 mm	190 mm	214 mm
Pluie de 24 h (mm)	380 mm	430 mm	485 mm

Tableau 2224 : Cumuls pluviométriques retenus (T = 1 000 ans, T = 3 000 ans et T = 10 000 ans)

2.2.3 ESTIMATION DES DEBITS DE POINTE

2.2.3.1 Méthode rationnelle

Dans le cadre de la présente étude, le débit centennal de pointe a été déterminé à partir de la formule de Bressand Golossof, classiquement employée pour les petits bassins versants dans le Gard (S < 20km²) :

$$Q = \frac{C \times A \times i}{3,6}$$

Avec :

- C : coefficient de ruissellement :

$$C = 0,8 \times \left(1 - \frac{P_0}{P_j}\right)$$

- P₀ : rétention initiale du bassin versant (mm)
- P_j : pluie journalière centennale dans le Gard (mm)
- A : superficie du bassin versant (km²)
- I : intensité centennale moyenne pendant une durée égale au temps de concentration du bassin versant dans le Gard (mm/h).

Le coefficient de ruissellement a été estimé compris entre 0,58 (P₀ = 65 mm) et 0,50 (P₀ = 90 mm) pour les bassins versants des bassins de l'Aspé et de Vaulongue à partir de l'occupation des sols (cf. paragraphe 2.2.1.12-1-2-2).

L'intensité centennale moyenne a été estimée à partir des coefficients de Montana entre 30 min et 1h à :

- 96 mm/h sur le temps de concentration de 40 minutes pour le barrage de l'Aspé,
- 108 mm/h sur le temps de concentration de 20 minutes pour le bassin de Vaulongue.

Le débit centennal a été estimé à :

- Au barrage de l'Aspé :
 - Q_{BG} (T = 100 ans) = 42 m³/s pour C = 0,58
 - Q_{BG} (T = 100 ans) = 36 m³/s pour C = 0,50
- Au bassin de Vaulongue :
 - Q_{BG} (T = 100 ans) = 13 m³/s pour C = 0,58
 - Q_{BG} (T = 100 ans) = 11 m³/s pour C = 0,50

2.2.3.2 Débit SHYREG

L'Irstea a mis en œuvre la méthode SHYREG afin d'estimer des quantiles de débits de crue sur l'ensemble du territoire métropolitain. C'est une méthode d'estimation de l'aléa hydrologique basée sur la régionalisation des paramètres de modèles de générateur de pluie et de transposition pluie/débit. Cette régionalisation implique la prise en compte de variables locales pouvant influencer le régime hydrologique naturel de surface et consécutif à une précipitation.

La localisation des points de calcul des débits Shyreg à proximité du bassin versant des barrages est présentée sur la carte suivante.



Figure 10 : Localisation des points de calcul des débits Shyreg

Les débits Shyreg de période de retour 100 ans sont présentés dans le tableau suivant.

Localisation	Référence	Surface BV (km ²)	Débit de pointe Shyreg (m ³ /s)	Débit pseudo spécifique ¹ (m ³ /s/km ²)
Garonne en amont du barrage des Cousins	MedEst_1943	5,2	21	5,6
Garonne aval Vallon des Crottes	MedEst_1944	12,6	46	6,1
Garonne exutoire	MedEst_1126	19	66	6,3
Valescure Bassin du Castellas	MedEst_1123	5	27	7,5
Valescure RD100	MedEst_1124	6,7	36	7,9
Valescure exutoire	MedEst_1125	11,4	54	7,7

Tableau 2322 : Débits Shyreg

Les débits spécifiques sont compris entre 5,6 et 7,9 m³/s/km². En extrapolant aux bassins de l'Aspé (S_{BV} = 2,7 km²) et de Vaulongue (S_{BV} = 0,8 km²), les fourchettes suivantes sont obtenues :

- 12 m³/s < Q_{Shyreg} Aspé 100 ans < 18 m³/s,
- 4 m³/s < Q_{Shyreg} Vaulongue 100 ans < 6 m³/s.

2.2.4 TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT

2.2.4.1 Méthodologie

Les hydrogrammes de projet sont calculés en utilisant la méthode de l'hydrogramme unitaire à partir des hyétogrammes de projet.

Un modèle pluie/débit a été construit à l'aide du logiciel GESRES^{ISL}.

Ce logiciel comprend :

- un module pluie-débit de type hydrogramme unitaire SCS (Soil Conservation Service) ; cette méthode permet dans un premier temps le calcul du volume d'eau ruisselée à partir du hyétogramme, via le coefficient CN (Curve Number), et dans un second temps la construction d'un hydrogramme unitaire ;
- un module de propagation de type Muskingum qui permet de simuler les transferts, l'atténuation et le cumul des hydrogrammes dans les biefs ;
- un module de laminage qui permet d'introduire les retenues (lois hauteur-surface) et les caractéristiques hydrauliques des ouvrages d'évacuation (déversoir, pertuis ...).

CN est un coefficient représentatif de la nature du sol, de son occupation et des antécédents pluvieux. L'appréciation des volumes d'eau ruisselés se ramène donc à l'évaluation de ce paramètre.

Ce paramètre a été calculé pour chaque bassin versant en affectant un coefficient CN à chaque polygone élémentaire homogène selon la grille de croisement suivante.

Valeurs de CN	1	2	3	4
---------------	---	---	---	---

¹ Débit pseudo spécifique = $q = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/s)}}{S \text{ (km}^2\text{)}^{0,8}}$

		Gneiss Granites Schistes marnes	Marno- calcaires grès	Calcaires	Alluvions Colluvions
1	Aéroports, Centres bourgs et Centres anciens	95	95	95	95
2	Réseau routier	95	95	95	95
3	Zones industrielles et commerciales, Zones portuaires, Habitats continus collectifs et individuels	86	86	86	86
4	Territoires agricoles, vignobles	55	49	45	43
5	Zones boisées feuillus et résineux dominants	43	40	36	32
6	Chantiers mines décharges, Espaces de sport et loisir, Zones humides, Lagunes, Marais salant, Zones végétalisées non boisées	59	53	49	47
7	Zones peu ou pas végétalisées, Roches nues	72	68	65	63
8	Cours d'eau, Plans d'eau	100	100	100	100
9	Végétation sclérophylle et végétation arbustive, Forêt en mutation, Landes et broussailles	50	47	40	36

Tableau 2423 : grille de croisement des CN

Les bassins versants des barrages sont majoritairement peu perméable (catégories 1 et 2 du tableau).

Pour chaque bassin versant, un coefficient CN moyen a été calculé en effectuant la moyenne des CN pondérés par les surfaces des polygones élémentaires le composant. Les CN moyen des bassins versants sont consignées dans le tableau ci-dessous.

BV Aspé	BV Vaulongue
56	70

Tableau 2524 : CN des bassins versants

2.2.4.2 Application des CN aux pluies réelles

La CAVEM a fourni à ISL les limnigrammes des crues survenues sur les barrages de Cous et Saint Esprit pour les événements de 2006 et 2011. Ces deux barrages sont situés à proximité des bassins de l'Aspé et de Vaulongue.

Le barrage de Saint Esprit, implanté sur le ruisseau du Valescure, est situé sur la commune de Fréjus. Il est situé à 4 km de l'exutoire avec la mer et contrôle un bassin versant de 3,6 km². Il a pour unique fonction l'écrêtement des crues.

Le barrage des Cous est situé sur le cours d'eau de la Garonne, sur la commune de Saint-Raphaël. Il est situé à 4,6 km de l'exutoire avec la mer, en amont de la confluence avec le vallon des Crottes et contrôle un bassin versant de 8,6 km². Sa fonction principale est l'écrêtement des crues.

En 2006, seules les données enregistrées au barrage de Saint Esprit sont exploitables (dysfonctionnement du capteur du barrage des Cousins).

Pour chaque évènement, le débit entrant a été reconstitué au pas de temps horaire à partir :

- de la variation horaire du volume stocké dans la retenue,
- du volume sortant horaire.

La variation du volume stocké dans la retenue a été calculée à partir de la variation de niveau (limnigramme) et de la loi hauteur/volume de la retenue.

Le volume sortant horaire a été déduit de loi d'évacuation du barrage.

Les graphes suivants présentent les hydrogrammes reconstitués et calculés par le modèle GESRES aux barrages des Cousins et de Saint Esprit pour les épisodes de décembre 2006 et de novembre 2011.

Barrage de St-Esprit

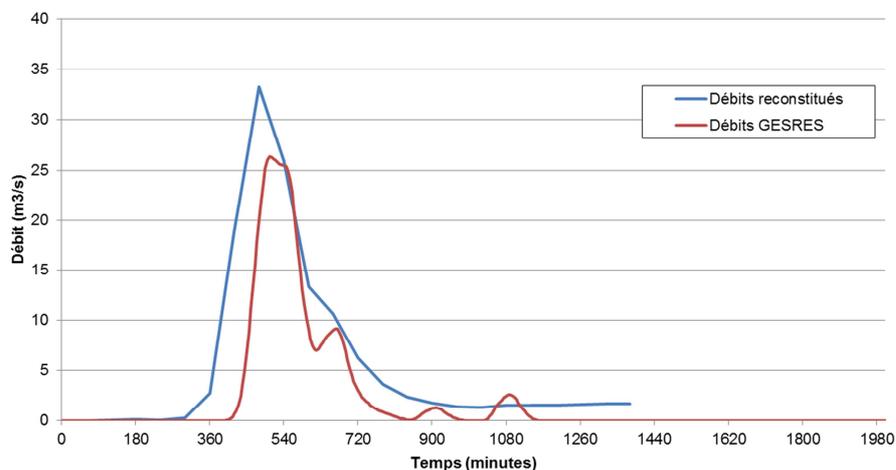


Figure 11 : Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage de Saint Esprit – Episode de déc. 2006

Pour l'événement de 2006, le débit et le volume estimé par le modèle pour le barrage de Saint-Esprit sont un peu plus faibles que ceux reconstitués à partir des mesures de niveau au pas de temps d'une heure.

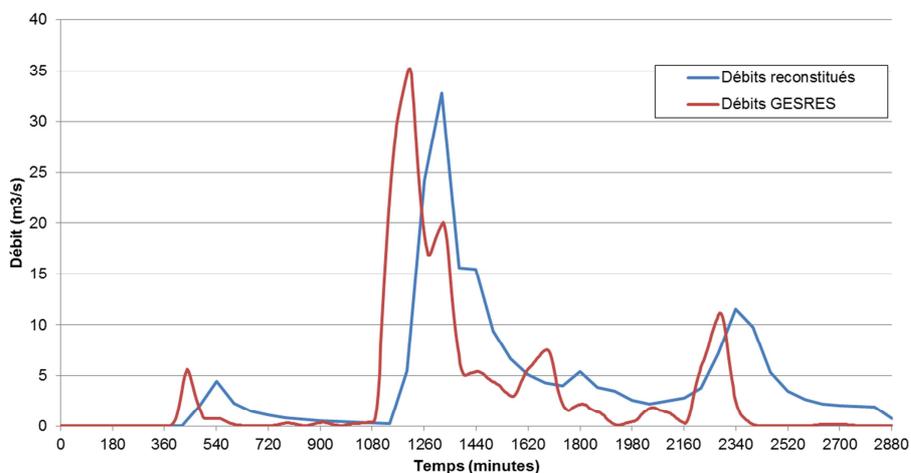


Figure 12 : Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage de Saint Esprit – Episode de 2011

Pour l'événement de 2011, les débits et volumes calculés au barrage de Saint Esprit sont proches de ceux reconstitués à partir des cotes de la retenue.

Barrage de Cous

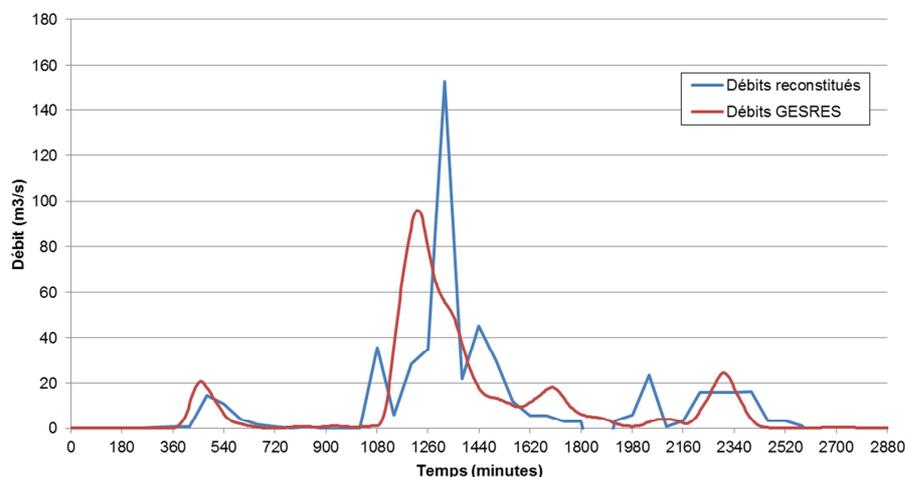


Figure 13 : Comparaison entre le modèle GESRES et l'hydrogramme reconstitué – Barrage des Cous – Episode de nov. 2011

Pour l'épisode de 2011, les volumes sont proches mais le débit de pointe du modèle est en retrait par rapport au débit estimé à partir du limnigramme. Néanmoins, pour reproduire les débits de pointe à partir des pluies enregistrées au droit du barrage, des tests ont conduit à estimer qu'il faudrait introduire des paramètres CN très largement supérieurs à ceux que l'on peut déduire de l'occupation des sols.

~~La fiabilité du limnigramme n'est pas assurée. Il est possible que le limnigramme ne soit pas complètement fiable.~~ Nous avons ainsi noté qu'en début d'enregistrement, le capteur indique une cote constante de 30 m NGF alors que la retenue normale est à 32 m NGF (alors qu'aucun organe de manœuvre ne permet de maintenir la retenue à 30 m NGF). Il est également possible que la pluie enregistrée au barrage ne soit pas représentative de la pluie à l'échelle du bassin versant.

Ces résultats conduisent à estimer que les résultats du modèle pluie-débit sont satisfaisants et qu'il peut être exploité pour transposer des hyétogrammes de référence en hydrogrammes de référence.

2.2.4.3 Construction des hyétogrammes de référence

Les hyétogrammes de référence ont été construits sur une durée de 24h, avec un pas de temps de 15 min, en respectant les cumuls pluviométriques de référence décrits précédemment et rappelés ci-dessous.

Période de retour	P 30 min	P 1h	P 3h	P 24h
10 ans	33 mm	55 mm	74 mm	170 mm
100 ans	50 mm	90 mm	120 mm	275 mm

Tableau 2625 : Cumuls pluviométriques des hyétogrammes de référence

Les cumuls de pluie ont été distribués au pas de temps 15 min à partir des coefficients de Montana suivants, calculés à partir des cumuls précédents.

	30 min < d < 1 h	1 h < d < 3 h	3 h < d < 24 h
10 ans	b = 0,26	b = 0,73	b = 0,64
100 ans	b = 0,15	b = 0,78	b = 0,65

Tableau 2726 : Coefficients de Montana des hyétogrammes de référence

Les pluies de période de retour 1000 ans, 3000 ans et 10 000 ans sont calculées par la méthode du Gradex entre 10 et 100 ans.

Les hyétogrammes de période de retour 1000 ans, 3000 ans et 10 000 ans sont présentés ci-dessous.

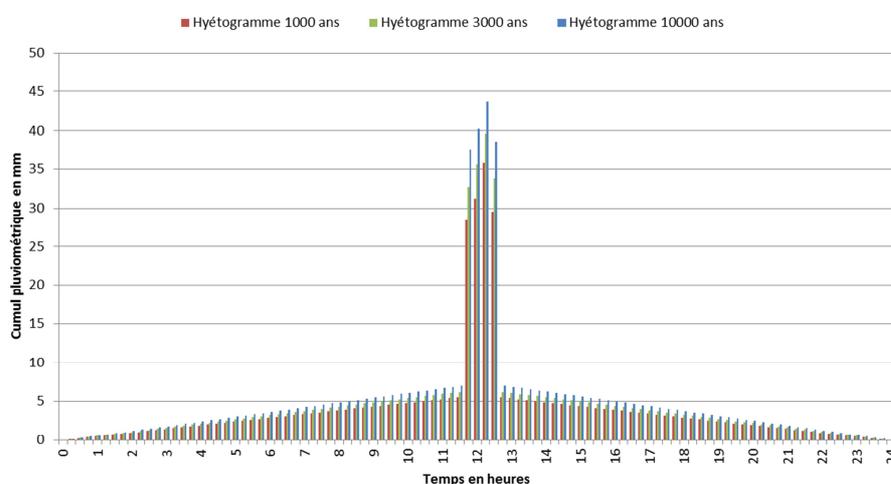


Figure 14 : Hyétogrammes de projet

L'abattement spatial n'est pas pris en compte du fait de la petite taille des bassins versants (0,8 et 2,7 km²).

2.2.4.4 Résultats

Les hyétogrammes de projet ont été injectés dans le modèle de transformation pluie/débit.

Les débits de pointe et les volumes des crues de référence obtenus sont présentés dans les tableaux suivants.

	T = 100 ans	T = 1 000 ans	T = 10 000 ans
Barrage de l'Aspé	37 m ³ /s	62 m ³ /s	87 m ³ /s
Barrage de Vaulongue	16 m ³ /s	24 m ³ /s	31 m ³ /s

Tableau 2827 : Débits de pointe des crues

	T = 100 ans	T = 1 000 ans	T = 10 000 ans
Barrage de l'Aspé	350 000 m ³	585 000 m ³	835 000 m ³
Barrage de Vaulongue	133 000 m ³	205 000 m ³	280 000 m ³

Tableau 2928 : Volume des crues

Les hydrogrammes correspondant sont présentés ci-dessous.

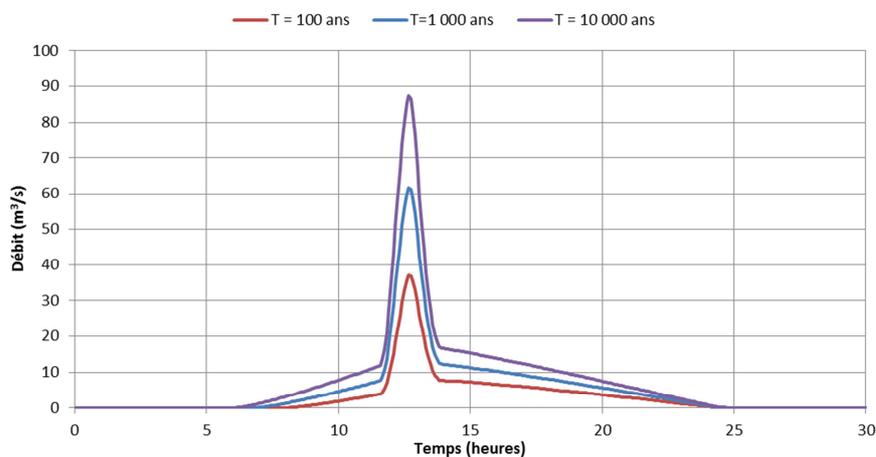


Figure 15 : Hydrogrammes en entrée du barrage de l'Aspé

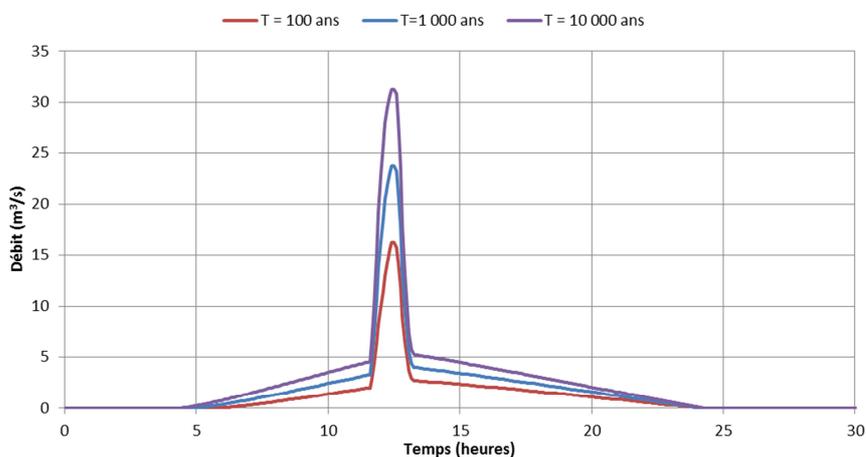


Figure 16 : Hydrogrammes en entrée du bassin de Vaulongue

2.2.5 COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES APPROCHES

Les résultats des débits de pointe et volumes obtenus à partir de la transformation pluie/débit calée sur les événements réels sont comparés dans les tableaux suivants à ceux estimés avec les méthodes présentées précédemment.

Barrage de l'Aspé

Source	Année	T = 100 ans	T = 1 000 ans	T = 10 000 ans
ISL – Pluie/débit	2016	37 m ³ /s	62 m ³ /s	87 m ³ /s
ISL – Rationnelle	2016	36 à 42 m ³ /s	-	-
Shyreg	2016	12 à 18 m ³ /s	-	-

Tableau 3029 : Comparaison des débits de pointe de crue du barrage de l'Aspé

Bassin de Vaulongue

Source	Année	T = 100 ans	T = 1 000 ans	T = 10 000 ans
ISL – Pluie/débit	2016	16 m ³ /s	24 m ³ /s	31 m ³ /s
ISL – Rationnelle	2016	11 à 13 m ³ /s	-	-
Shyreg	2016	4 à 6 m ³ /s	-	-

Tableau 3130 : Comparaison des débits de pointe de crue du bassin de Vaulongue

Pour les deux bassins, pour une période de retour de 100 ans, les débits de pointe du modèle pluie/débit sont cohérents avec l'approche rationnelle; ils sont nettement supérieurs à ceux estimés par Shyreg.

2.2.6 SYNTHÈSE SUR LES CRUES DE RÉFÉRENCE

Au regard de l'exhaustivité des données prises en compte dans le cadre de la présente étude, les résultats du modèle pluie/débit sont retenus comme valeur de référence. Les débits de pointe sont synthétisés dans le tableau suivant.

	T = 100 ans	T = 1 000 ans	T = 10 000 ans
Barrage de l'Aspé	37 m ³ /s	62 m ³ /s	87 m ³ /s
Bassin de Vaulongue	16 m ³ /s	24 m ³ /s	31 m ³ /s

Tableau 3234 : Synthèse pour les crues de référence

2.3 HYDROLOGIE DES CRUES FREQUENTES A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT

2.3.1 CONTEXTE ET BIBLIOGRAPHIE

Cette partie s'intéresse aux crues fréquentes (période de retour comprise entre 10 et 100 ans) à l'échelle du bassin versant.

Elle reprend les résultats des études précédentes suivantes :

- le Schéma directeur de lutte contre les inondations de la Garonne, du Pédégal et du Valescure ~~débuté~~ ~~esquissé~~ par Gaudriot Somival puis repris par BCEOM en 2007. ↗
- la révision simplifiée du schéma directeur de lutte contre les inondations de 2007, réalisée par le bureau d'étude HGM environnement en 2014 pour prendre en compte les évènements pluvieux majeurs de 2006 et 2011. ↗
- le rapport de l'étude concernant la modélisation 2D et l'AMC sur le bassin de la Garonne, du Valescure et du Pédégal réalisé par ISL en 2015, validé par la CMI dans le cadre du PAPI sur le territoire du bassin de l'Argens.

Cette hydrologie est exploitée dans le cadre de l'analyse de l'efficacité des ouvrages à réaliser (Aspé et Vaulongue) et existant (Cous, St Esprit, Peyron et Castellas) à l'échelle de l'ensemble du territoire de la CAVEM sur le bassin versant.

2.3.2 DESCRIPTION DU TERRITOIRE

Les bassins versants pris en compte dans l'analyse globale des crues drainent une surface cumulée de 31 km². Trois cours d'eau principaux composent le complexe hydraulique : la Garonne, le Valescure et le Pédégal. Les deux principaux bassins versants sont :

- ~~Le~~ ~~le~~ bassin versant de la Garonne (18,4 km²) incluant le bassin du Peyron (1,8 km²), du Suveret (2,3 km²) et des Crottes (2,8 km²). ↗
- ~~Le~~ bassin versant du Pédégal (12,6 km²) comprenant le bassin du Valescure (7,4 km²).

La carte ~~ci-dessous~~ ^{n°2} en ANNEXE 1 présente les différents bassins versants.

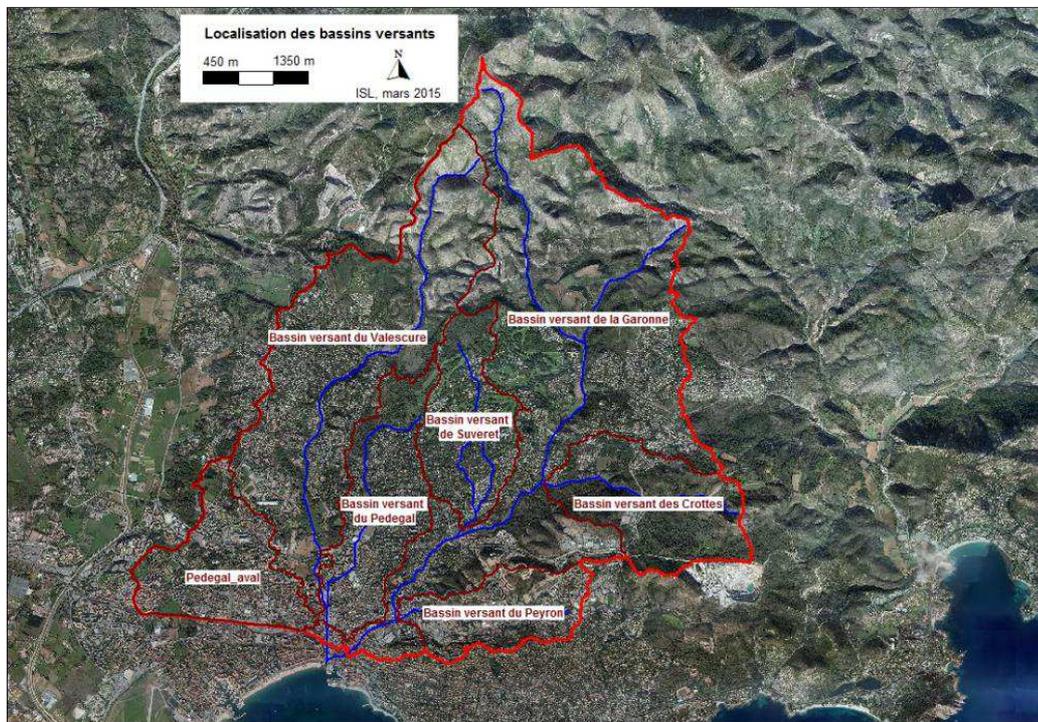


Figure 17 : Localisation des bassins versants

2.3.3 DONNEES PLUVIOMETRIQUES

2.3.3.1 Données statistiques

Les données de pluie retenues par BCEOM sont celles du poste pluviométrique Météo France de Fréjus. Les ajustements ont été réalisés par Météo France en utilisant la méthode du renouvellement.

Les pluies retenues sont présentées dans le tableau suivant.

Durée de la pluie	Hauteur de pluie par période de retour (mm)				
	10 ans	30 ans	50 ans	100 ans aval	100 ans amont
1h	50,651	63,864	69,970	80,3	91,592
12h	409,4109	446,6147	163,3	1443,7	163,84

Tableau 3332 : Intensités de pluie sur 1h et 12h retenues

Les graphes suivants présentent les intensités de pluie pour différentes périodes de retour.

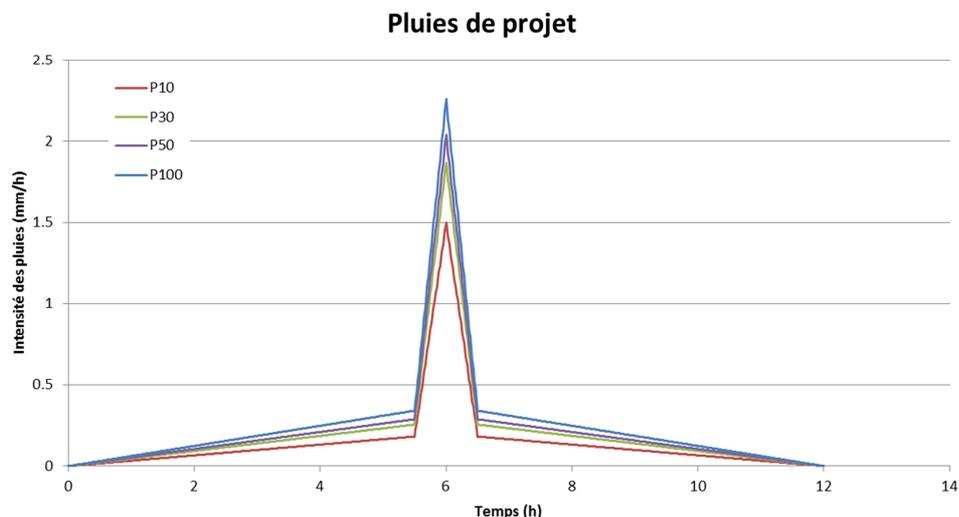


Figure 1748 : Hyétogramme de période de retour 10, 30, 50 et 100 ans – HGM 2013

2.3.3.2 Evènements réels

Les deux évènements réels étudiés sont ceux de décembre 2006 et de novembre 2011. Leurs caractéristiques sont présentées au paragraphe 2.2.1.2.2-1-2.3

Les intensités de pluie sur 1h, 2h, 3h et 12h pour les évènements de 2006 et de 2011 sont présentées dans le tableau suivant.

Durée de la pluie		1 h	2 h	3 h	12 h
Episode de décembre 2006	Barrage de Saint-Esprit	66	110	141	194
	Barrage des Cous	13	24	31	48
	Station de la Garonne	19	34	38	65
Episode de novembre 2011	Barrage des Cous	57	113	136	204
	Station du Pédégal	41	77	93	151
	Station de l'Esterel	65	116	125	211

Tableau 3433 : Cumuls des pluies (en mm) des évènements de 2006 et 2011

L'épisode de 2006 a été relativement bref et localisé sur les bassins du Valescure et du Pédégal. Le cumul de pluie enregistré sur 1h au barrage de Saint-Esprit est de l'ordre de grandeur de la pluie P_{30 ans} du schéma directeur. En revanche, les cumuls sur 2h, 3h et 12h dépassent largement (+35%) ceux de la P_{100 ans} du schéma directeur. Sur le bassin de la Garonne (Barrage des Cous et station de la Garonne), les cumuls sur 2h, 3h et 12h sont proches de la pluie biennale.

En 2011, les pluies ont été homogènes sur l'ensemble du bassin versant de la Garonne et du Valescure. L'intensité sur 1h est du même ordre de grandeur que celle de la crue de 2006 mais le volume de la crue est plus important. Les cumuls de pluie sur 1h ont une période de retour comprise entre 20 et 30 ans (pluies de projet du schéma directeur). Les cumuls sur 2h, 3h et 12h sont significativement supérieurs à la $P_{100 \text{ ans}}$ du schéma directeur (cumul centennal sur 12h = 143,7 mm).

Il est à noter que la crue de novembre 2011 est considérée dans le cadre de l'élaboration des PPRI comme l'événement centennal de référence.

Cet état de fait a donc imposé de revoir les périodes de retour de tous les événements de projet du schéma directeur, qui ont été conservés dans un souci de cohérence et de continuité.

Pour ce faire, ISL a recueilli les statistiques de pluie de Météo France de 2015. Après l'analyse de ces cumuls, deux constats se sont imposés (cf. tableau ci-après) :

- La pluie de novembre 2011 enregistrée au barrage des Cous est bien caractérisée par des cumuls pluviométriques dont la période de retour est approximativement centennale,
- Les cumuls de pluie décennaux de 2015 proposés par Météo France restent proches de ceux calculés dans le cadre du Schéma Directeur de 2007. Ce constat est classique, les analyses statistiques étant plus robustes sur les faibles périodes de retour.

	<u>Cumul sur 1h (mm)</u>	<u>Cumul sur 3h (mm)</u>	<u>Cumul sur 12h (mm)</u>
<u>Pluie de 2011 (Cous)</u>	<u>57</u>	<u>136</u>	<u>204</u>
<u>Pluie MF 100 ans (2015)</u>	<u>67</u>	<u>111</u>	<u>211</u>
<u>Pluie SDI 10 ans (2007)</u>	<u>50</u>	<u>70</u>	<u>109</u>
<u>Pluie MF 10 ans (2015)</u>	<u>42</u>	<u>66</u>	<u>117</u>

Tableau 3534 : Comparaison des cumuls de pluies

Ainsi, les périodes de retour associées aux évènements de projet du schéma directeur ont été revues au moyen d'un ajustement de Gumbel en respectant les deux principes suivants :

- Conservation de la période de retour associée à l'événement de projet décennal.
- Affectation d'une période de retour 100 ans à l'événement de novembre 2011.

Le tableau ci-dessous résume les conclusions de cette analyse.

Pour la suite de l'étude, il est nécessaire de mettre à jour les périodes de retour des différentes crues présentées dans le chapitre précédent, en considérant la crue de 2011 comme centennale.

En maintenant la crue de 10 ans comme une crue décennale (d'après une comparaison avec les analyses statistiques de météo France) et en prenant la crue de 2011 comme centennale, de nouvelles périodes de retour des crues du schéma directeur ont été redéfinies en se basant sur un ajustement de Gumbel.

**Période de retour retenue
dans la suite des études**

Crue de 2011	100 ans
Crue de 2006	60 ans
Crue Evénement de projet de période de retour « 100 ans » SDI	55 ans
Evénement de projet « 50 ans » SDI Crue de période de retour 50 ans SDI	30 ans
Evénement de projet « 30 ans » SDI Crue de période de retour 30 ans SDI	20 ans
Evénement de projet « 10 ans » SDI Crue de période de retour 10 ans SDI	10 ans

Tableau 3635 : Périodes de retour réaffectées

Il est à noter que ce sont les périodes de retour prises en considération dans la suite du rapport et dans le cadre de l'Analyse Coûts-Bénéfices.

2.3.4 MODELE HYDROLOGIQUE – TRANSFORMATION PLUIE-DEBIT

Dans le cadre de l'AMC des bassins écrêteurs, ISL a réalisé un modèle hydrologique qui couvre l'ensemble du bassin versant de la Garonne et du Valescure.

Il comprend :

- 111 bassins versants₁₋₃
- 111 nœuds₁₋₃
- 108 biefs₁₋₃
- 4 barrages écrêteur de crue : Saint-Esprit, Cous, Peyron et Castellans₁₋₃
- ~~En~~ état projeté les bassins écrêteurs du projet.

Le modèle avec l'ensemble des bassins versants, nœuds et biefs est présenté ~~en page~~ suivantes sur la carte n°3 en ANNEXE 1.

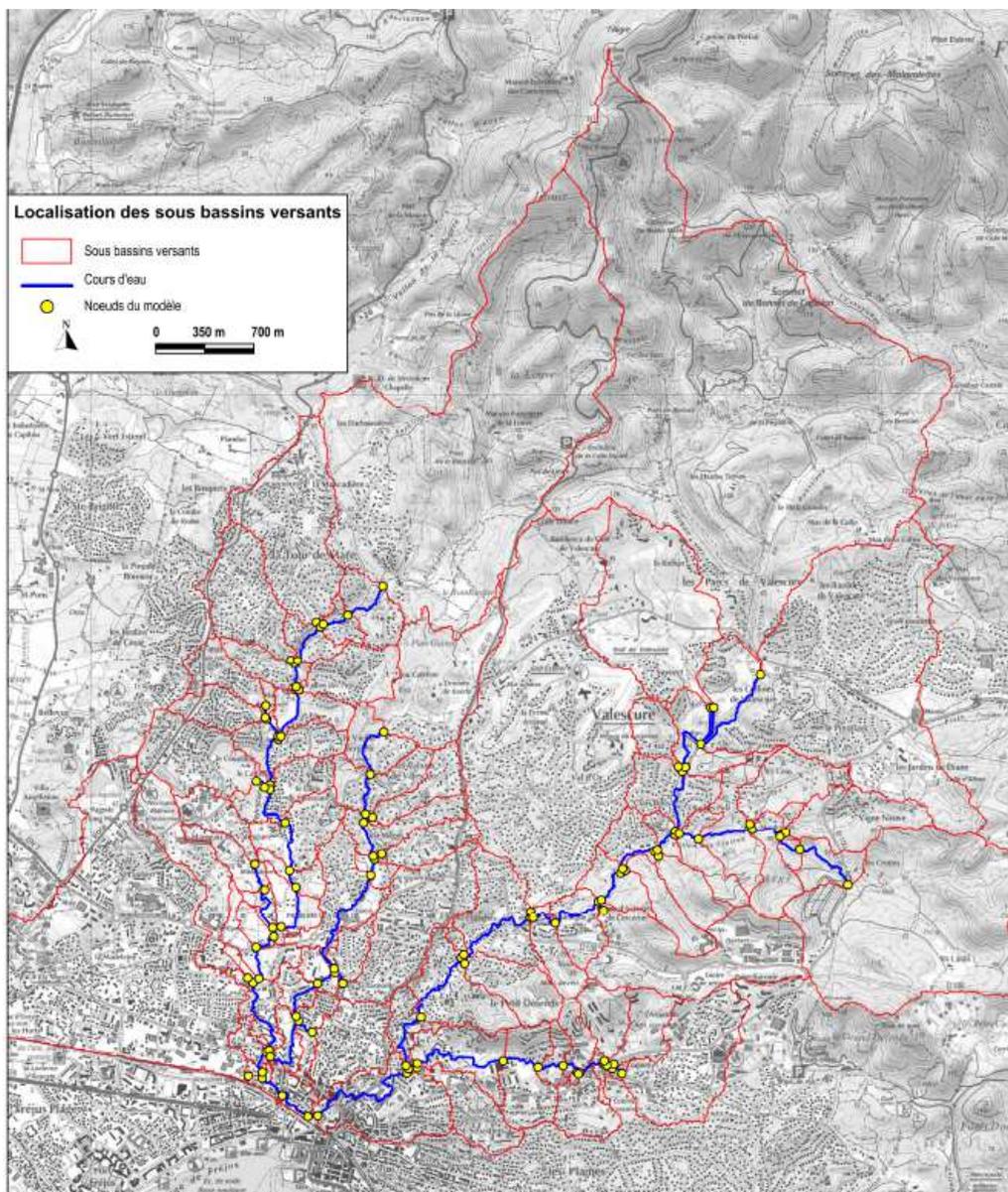


Figure 19 : Modèle hydrologique

2.3.5 SYNTHÈSE SUR LES CRUES DE RÉFÉRENCE

Les hydrogrammes en état actuel ont été extraits du modèle hydrologiques pour les crues de période de retour 10 ans, 20 ans, 30 ans, 55 ans et les crues de 2006 et 2011 :

- Sur le vallon des Crottes, au niveau du barrage de l'Aspé,
- Sur la Garonne, au niveau du bassin de Vaulongue,
- Sur l'affluent intercepté par le bassin de Vaulongue.

Ils sont présentés sur les graphes suivants.

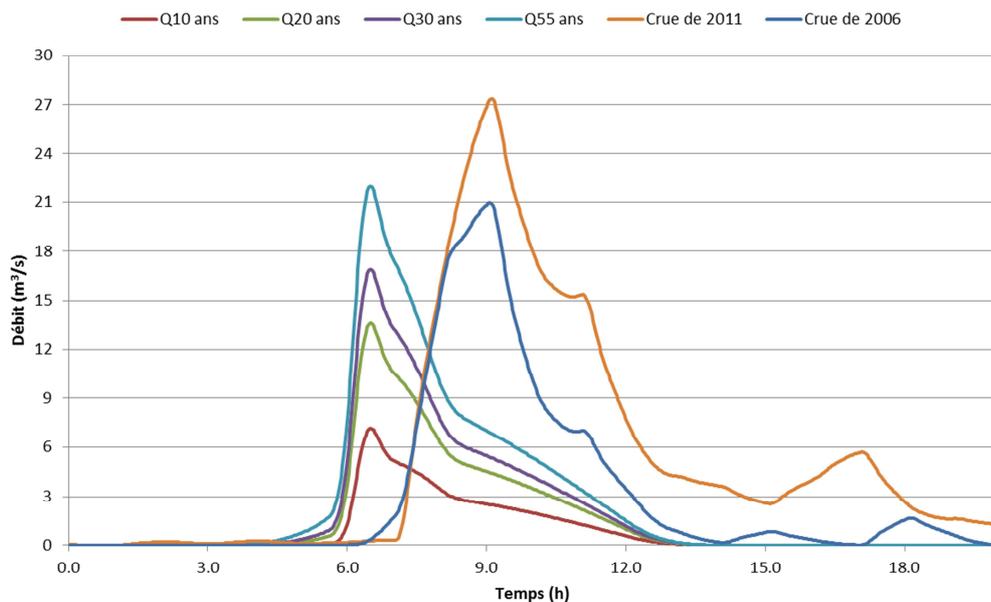


Figure 1820 : Hydrogrammes à l'aval du vallon des Crottes

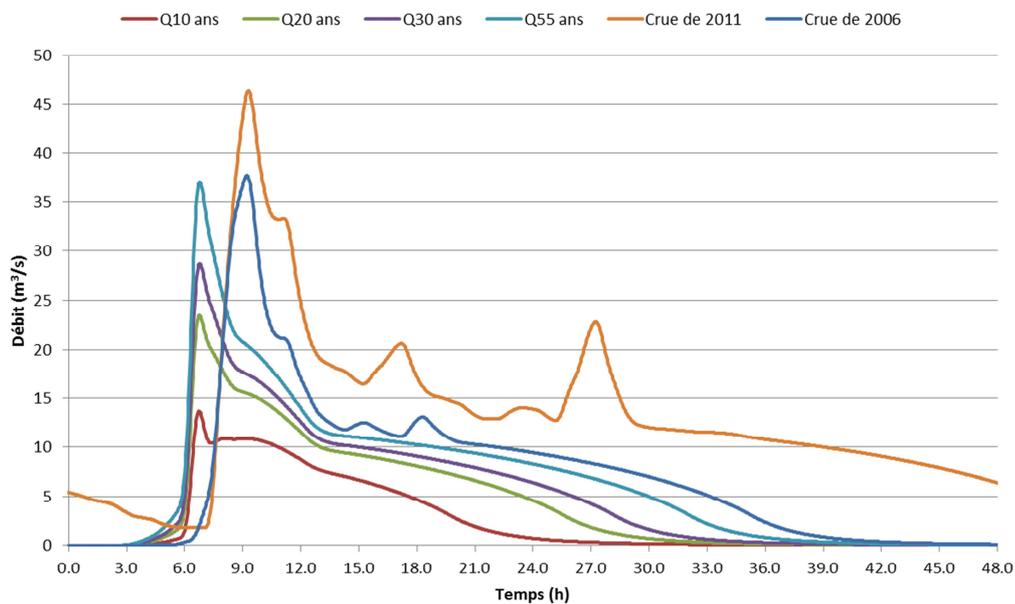


Figure 1924 : Hydrogrammes de la Garonne au droit de Vaulongue

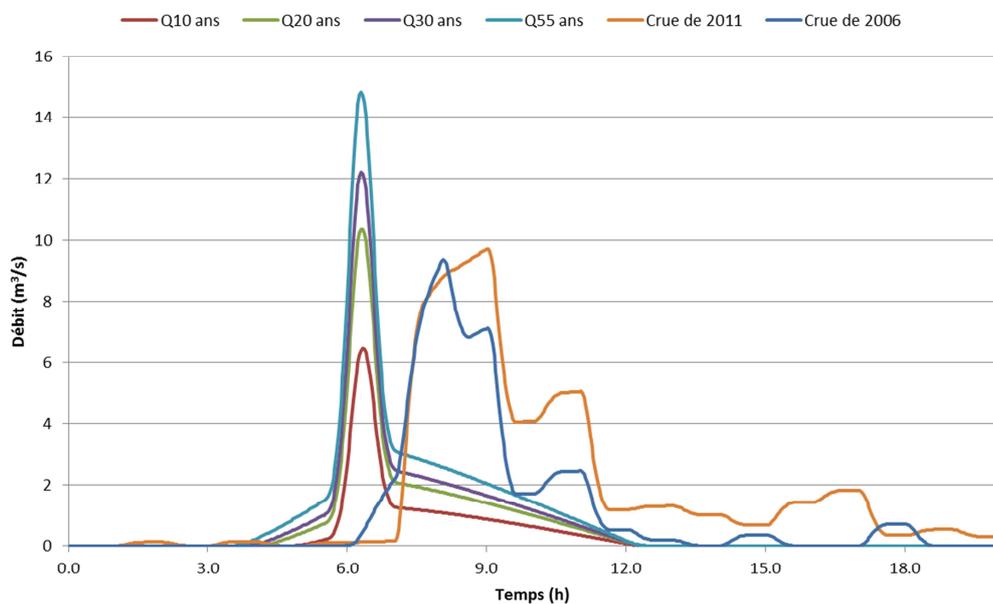


Figure 2022 : Hydrogrammes de l'affluent de Vaulongue

3 DIMENSIONNEMENT ET FONCTIONNEMENT DES OUVRAGES

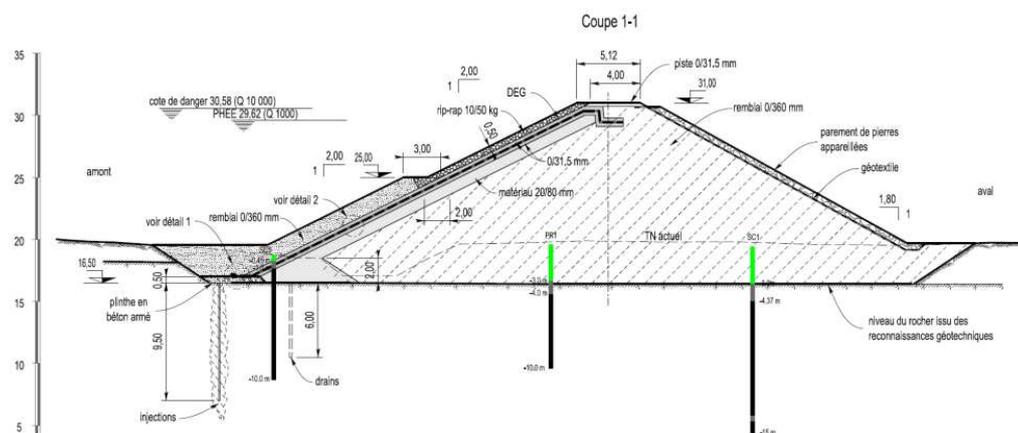
3.1 DESCRIPTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES

3.1.1 LE BARRAGE DE L'ASPE

3.1.1.1 Présentation générale du barrage

Le barrage de l'Aspe est situé sur le Vallon des Crottes, affluent de la Garonne dans le département du Var. Il est situé 200 m en amont de la confluence avec la Garonne et contrôle un bassin versant de 2,6 km². Il a pour rôle d'écrêter les crues et de protéger contre les crues les communes de Fréjus et Saint Raphaël.

Il s'agit d'un barrage en enrochement **à masque** de 15,5 m de hauteur et de 200 m de longueur en crête. L'évacuation des crues est assurée par un puits de fond et un déversoir à seuil libre.



Les photos suivantes présentent la retenue du barrage.



Figure 23 : Vue de la retenue de l'Aspe



Figure 24 : Vue de la retenue en pied de barrage

3.1.1.2 Fiche synoptique du barrage de l'Aspé

Les caractéristiques du barrage, de sa retenue et du bassin versant sont présentées dans les tableaux suivants.

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BARRAGE	
Type	Barrage en-enrochement
Fonction	Ecrêtement des crues
Classement de l'ouvrage	C
Terrain de fondation	Grès / Microconglomérat / Pérites
Hauteur au-dessus du TN amont	15,5 mètres
Longueur en crête	200 mètres
Largeur en crête	4,0 mètres
Volume du corps du barrage	50 000 m ³
Largeur maximale au niveau du TN	70 mètres
Fruit du parement amont	2 H / 1 V

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU BARRAGE	
Fruit du parement aval	1,8 H / 1 V
Altitude de la crête	31,0 m NGF

CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT ET HYDROLOGIQUES	
Rivière	Le Vallon des Crottes
Surface du bassin versant au barrage	2,7 km ²
Altitude moyenne du bassin versant	78,0 m NGF

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE	
Altitude, emprise et volume de la retenue maximale en exploitation normale	28,75 m NGF — 4,4 ha — 186 000 m ³
Altitude, emprise et volume de la retenue aux PHEE	29,62 m NGF — 5,2 ha — 227 000 m ³

OUVRAGES DE RESTITUTION	
Evacuateur de crue	Déversoir à seuil libre : — cote du seuil : 28,75 m NGF — largeur : 10 m
Pertuis de fond	— cote : 16,50 m NGF — section : 0,56 m ²

3.1.1.33.1.1.2 Loi Hauteur-Surface-Volume

Les figures ci-dessous présentent les lois hauteur-surface et hauteur-volume de la retenue du barrage de l'Aspe.

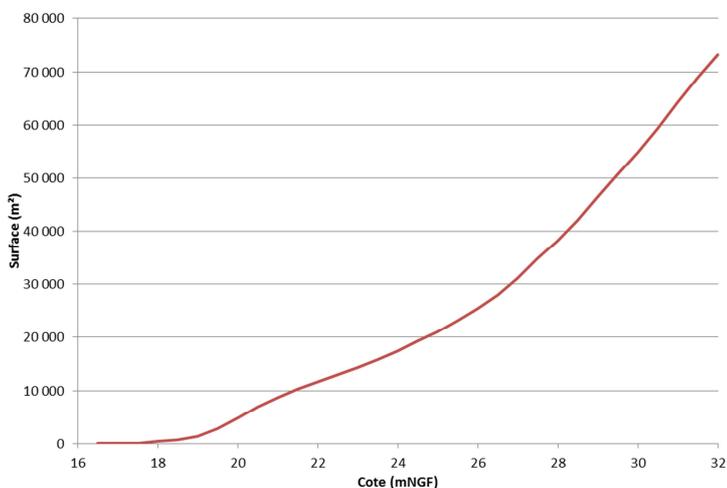


Figure 2125 : loi Hauteur-Surface de la retenue du barrage de l'Aspé

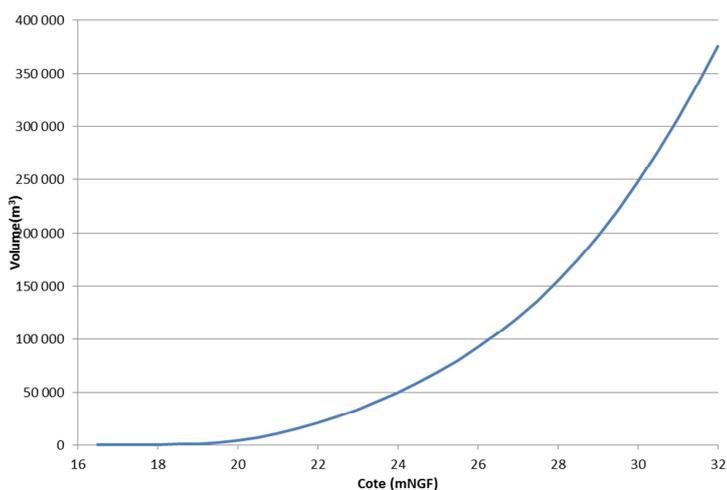


Figure 2226 : Loi Hauteur - Volume de la retenue du barrage de l'Aspé

La retenue normale est fixée par la cote du déversoir (28,75 m NGF). Sous cette cote, le volume d'eau de la retenue ~~(hors engrèvement)~~ est estimé à environ 186 000 m³ et la surface du plan d'eau est de l'ordre de 4,4 ha.

Les volumes et surfaces caractéristiques de la retenue sont figurés dans le tableau suivant.

	<u>Sous la cote du seuil de l'évacuateur de crues</u> <u>28,75 m NGF (T=100 ans)</u>	<u>Sous les PHEE</u> <u>29,62 m NGF (T=1000 ans)</u>
<u>Hauteur d'eau²</u>	<u>12 m</u>	<u>13 m</u>
<u>Surface</u>	<u>4,4 ha</u>	<u>5,0 ha</u>
<u>Volume</u>	<u>186 000 m³</u>	<u>227 000 m³</u>

Tableau 37 : Valeurs caractéristiques de la retenue de l'Aspé

La figure suivante présente l'emprise de la retenue sous les PHEE.

Les PHEE sont fixées à la cote 29,62 mNGF. Sous cette cote, le volume de la retenue est estimé à 227 000 m³ et la surface du plan d'eau est de l'ordre de 5,2 ha. La figure suivante présente l'emprise de cette retenue.

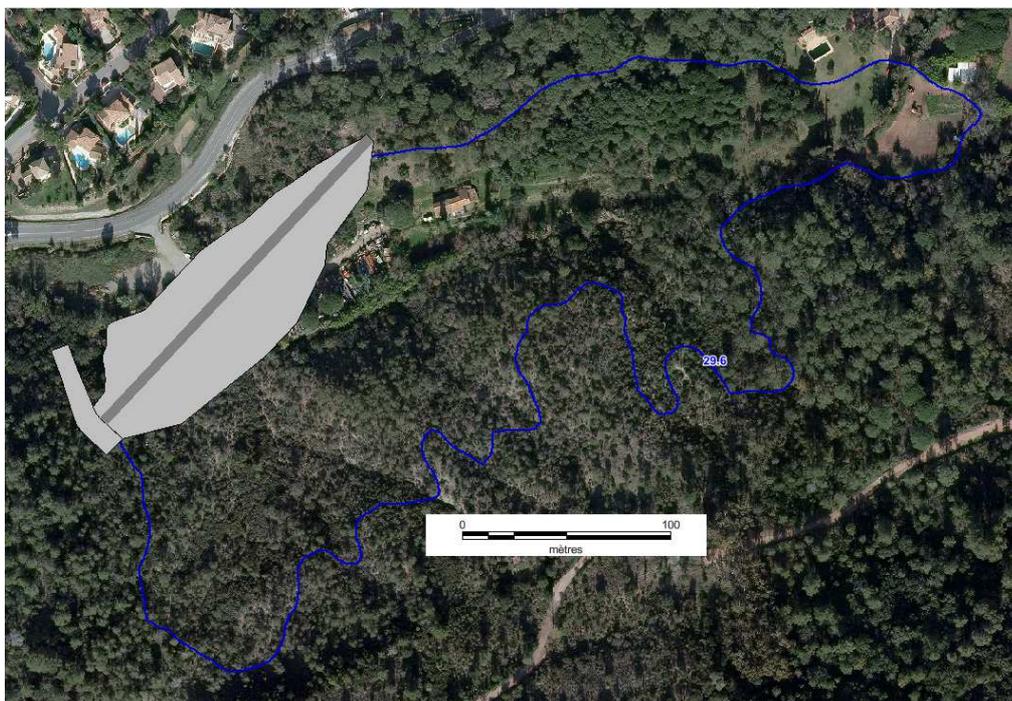


Figure 2327 : Emprise des PHEE du barrage de l'Aspé

² Par rapport à la cote de fond de la rivière à l'entrée de la galerie (~ 16,5 m NGF)

3.1.1.43.1.1.3 Description et fonctionnement de l'évacuateur de crue de l'Aspé

Pour le passage des crues, le barrage est équipé d'un évacuateur de crue. Il s'agit d'un déversoir à seuil libre calé à la cote 28,75 mNGF (largeur 10 m).

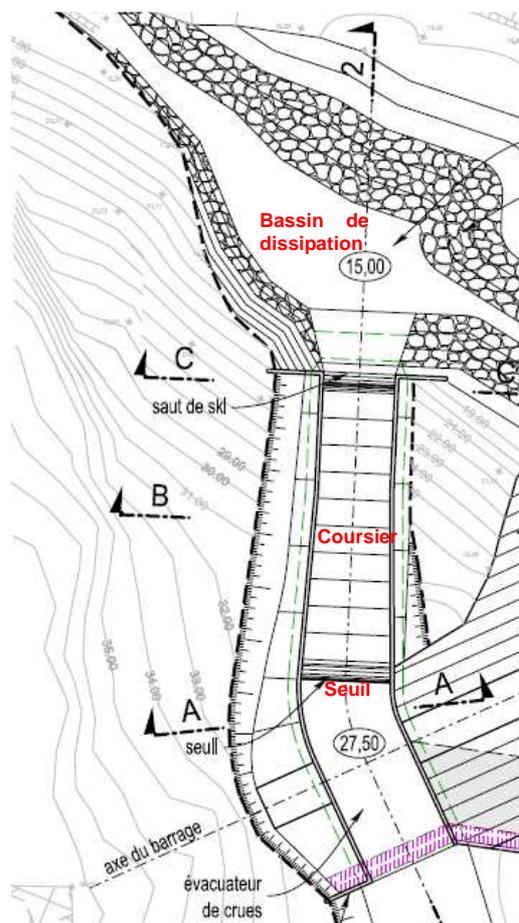


Figure 28 : Vue en plan de l'évacuateur de crue de l'Aspé

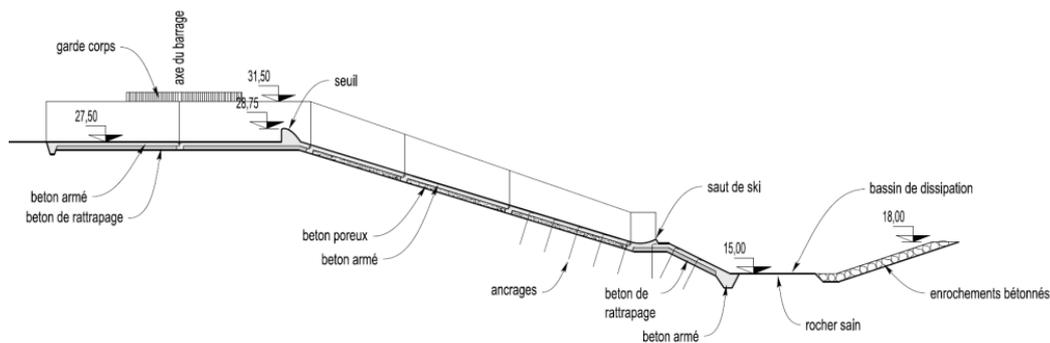
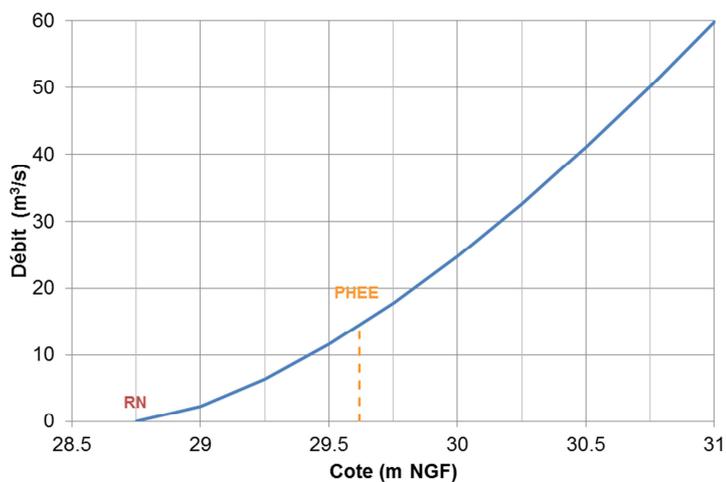


Figure 29 : Coupe amont-aval le long du coursier de l'Aspe

Le coefficient de débit proposé en se basant sur l'analyse de la forme de l'évacuateur est 0,40 pour le seuil.

La loi d'évacuation du barrage de l'Aspe est présentée ci-dessous.



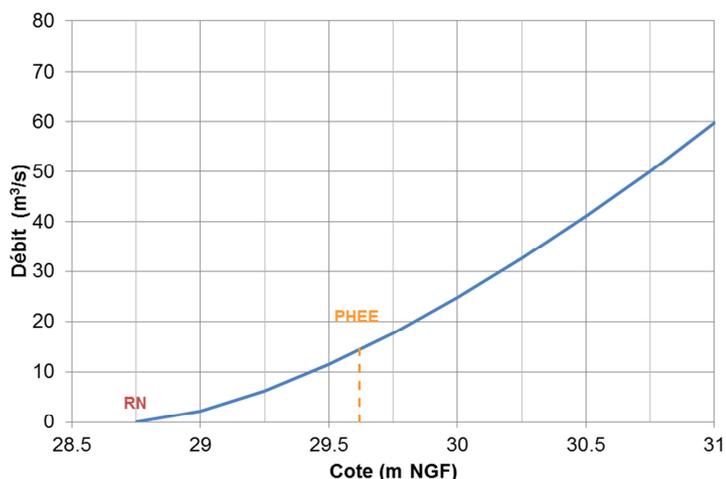


Figure 2430 : Loi d'évacuation de l'évacuateur du barrage de l'Aspé

La vidange de fond ne participe pas à l'évacuation des crues.

3.1.1.53.1.1.4 Description et fonctionnement du puits de fond du barrage de l'Aspé

Pour la vidange, le barrage est équipé d'un puits de fond. Il s'agit d'une conduite calée à la cote 16,50 mNGF dont la section de contrôle est de 0,56 m².

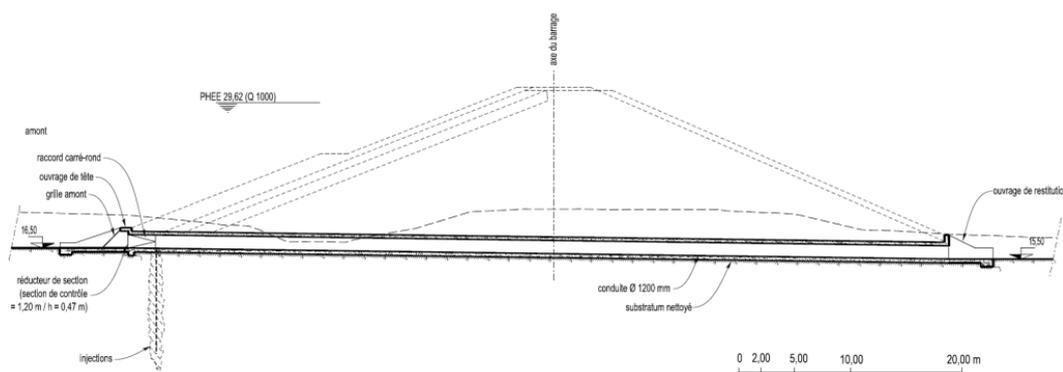


Figure 31 : Coupe amont-aval de la vidange du barrage de l'Aspé

Les coefficients de débit retenus sont : pour le puits est de 0,6.

- 0,40 pour le puits en fonctionnement à surface libre,
- 0,60 pour le puits en fonctionnement en charge (appliqué à la section de contrôle).

La loi de vidange d'évacuation du puits de fond du barrage de l'Aspé est présentée ci-dessous.

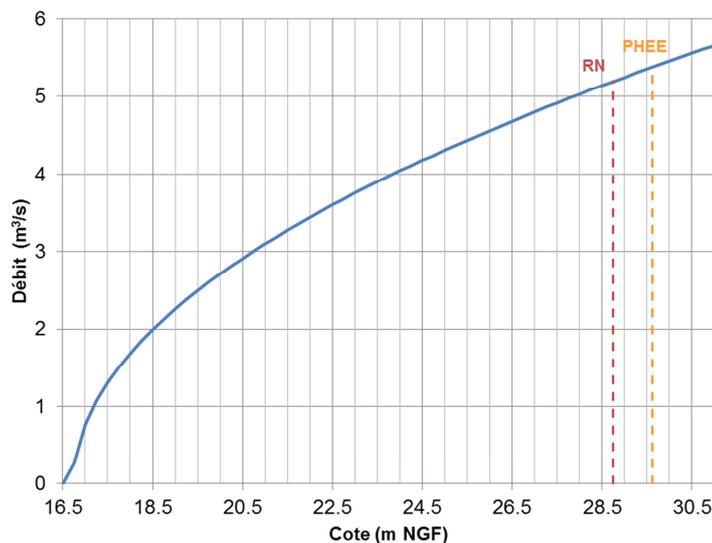


Figure 2532 : Loi d'évacuation du pertuis de fond du barrage de l'Aspé

3.1.2 LE BASSIN DE VAULONGUE

3.1.2.1 Présentation générale du bassin de l'ouvrage

Le bassin de Vaulongue est situé en aval de la zone d'activités Cerceron, en rive gauche de la Garonne, dans le département du Var. Il contrôle un bassin versant de 0,75 km². Il a pour rôle d'écrêter les crues.

Il s'agit d'une digue de ceinture en remblais de 4,5 m de hauteur et de 380 m de longueur en crête. L'évacuation des crues est assurée par un déversoir à seuil libre et la vidange par un pertuis de fond.

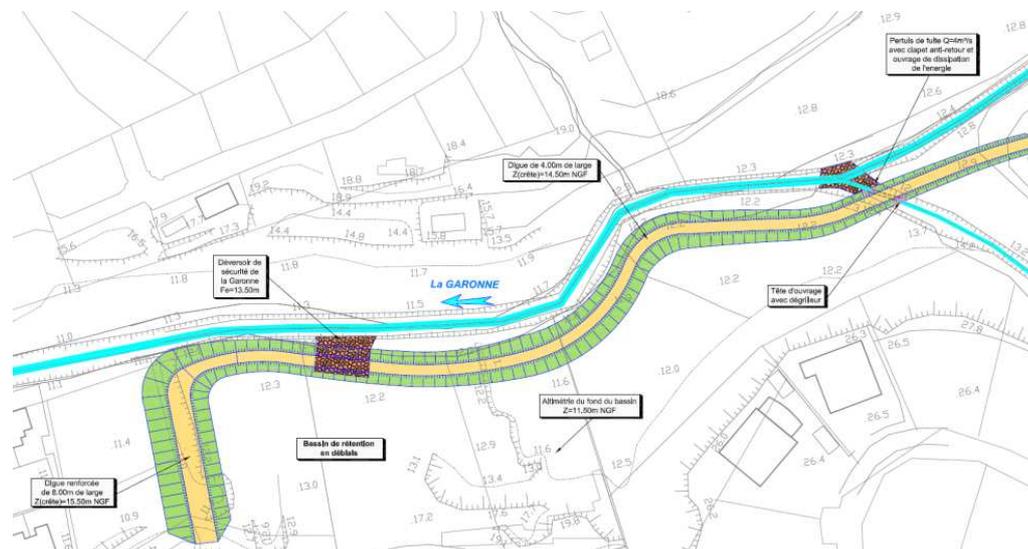


Figure 33 : Vue en plan issues du schéma directeur

La photo suivante présente la retenue du barrage.



Figure 34 : Vue de la retenue du bassin de Vaulongue

3.1.2.2 Fiche synoptique du bassin de Vaulongue

Les caractéristiques de l'ouvrage, de sa retenue et du bassin versant sont présentées dans les tableaux suivants.

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE	
Type	Digue en remblais
Fonction	Ecrêtement des crues
Classement de l'ouvrage	Soumis aux recommandations du CFBR pour la conception, la réalisation et le suivi des petits barrages
Terrain de fondation	Alluvions limoneuses sur Grès / Microconglomérat / Pélites
Hauteur au dessus du TN amont	4,5 mètres
Longueur en crête	380 mètres
Largeur en crête	3,5 mètres
Volume du corps de la digue	48 000 m ³
Largeur maximale au niveau du TN	18 mètres
Fruit du parement amont	2 H / 1 V
Fruit du parement aval	2 H / 1 V
Altitude de la crête	14,5 m NGF

CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT ET HYDROLOGIQUES	
Rivière	Thalweg en provenance d'Epsilon 2
Surface du bassin versant au barrage	0,75 km ²
Altitude moyenne du bassin versant	69,0 m NGF

CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DE LA RETENUE	
Altitude, emprise et volume de la retenue maximale en exploitation normale	13,50 m NGF – 9 700 m ² – 24 400 m ³
Altitude, emprise et volume de la retenue aux PHEE	14,0 m NGF – 10 500 m ² – 29 500 m ³

OUVRAGES DE RESTITUTION	
Evacuateur de crue	Déversoir à seuil libre : — cote du seuil : 13,50 m NGF — largeur : 30 m
Pertuis de fond	— cote : 10,0 m NGF — section : 1,0 m ²

3.1.2.33.1.2.2 Loi Hauteur-Surface-Volume

Les figures ci-dessous présentent les lois hauteur-surface et hauteur-volume de la retenue du bassin de Vaulongue.

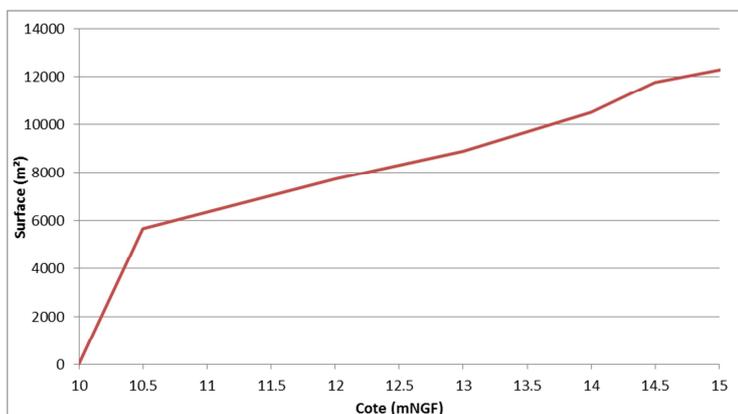
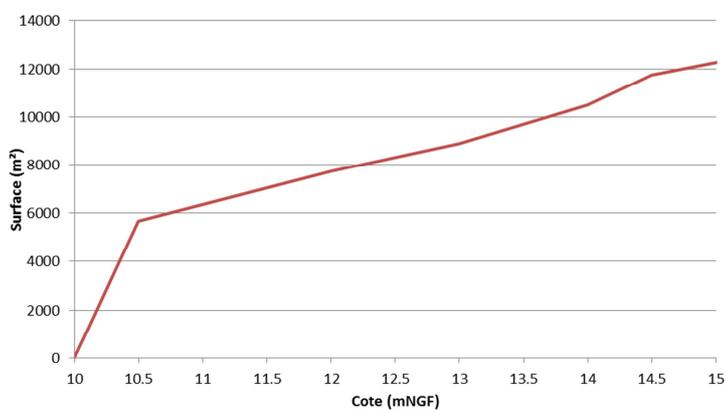


Figure 2635 : loi Hauteur-Surface de la retenue du bassin de Vaulongue

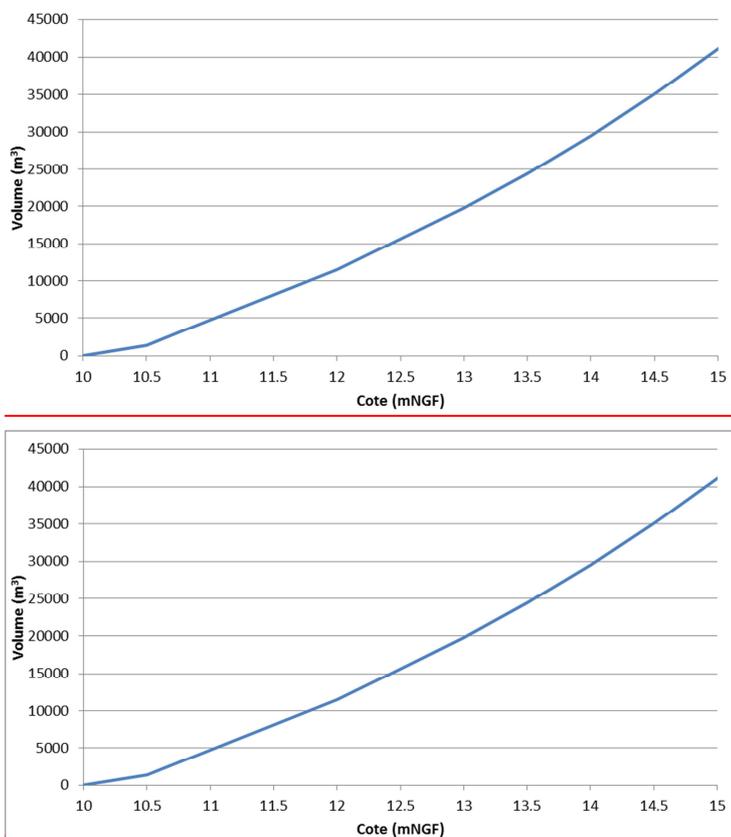


Figure 2736 : Loi Hauteur - Volume de la retenue du bassin de Vaulongue

La retenue normale est fixée par la cote du déversoir (13,50 m NGF). Sous cette cote, le volume d'eau de la retenue (~~hors engravement~~) est estimé à environ 24 400 m³ et la surface du plan d'eau est de l'ordre de 9 700 m².

[Les volumes et surfaces caractéristiques de la retenue sont figurés dans le tableau suivant.](#)

	<u>Sous la cote du seuil de l'évacuateur de crues</u> 13,5 m NGF	<u>Sous les PHEE</u> 14,0 m NGF (T=1000 ans)
<u>Hauteur d'eau³</u>	3,5 m	4,5 m
<u>Surface</u>	9 700 m ²	10 500 m ²
<u>Volume</u>	24 400 m ³	29 500 m ³

Tableau 38 : Valeurs caractéristiques de la retenue de Vaulongue

Les PHEE sont fixées à la cote 14,0 mNGF. Sous cette cote, le volume de la retenue est estimé à 29 500 m³ et la surface du plan d'eau est de l'ordre de 10 500 m². La figure suivante présente l'emprise de ~~la~~ retenue sous les PHEE.



Figure 2837 : Emprise des PHEE du bassin de Vaulongue

La photo suivante présente la retenue du barrage.

³ Par rapport à la cote de fond du bassin à l'entrée du pertuis (10,0 m NGF)



Figure 2934 : Vue de la retenue du bassin de Vaulongue

3.1.2.43.1.2.3 Description et fonctionnement de l'évacuateur de crue du bassin de Vaulongue

Pour le passage des crues, le bassin est équipé d'un évacuateur de crue. Il s'agit d'un déversoir à seuil libre calé à la cote 13,50 mNGF (largeur 30 m).

Vue en plan et coupe à ajouter ?

Le coefficient de débit proposé en se basant sur l'analyse de la forme de l'évacuateur est 0,40 pour le seuil.

La loi d'évacuation du bassin de Vaulongue est présentée ci-dessous.

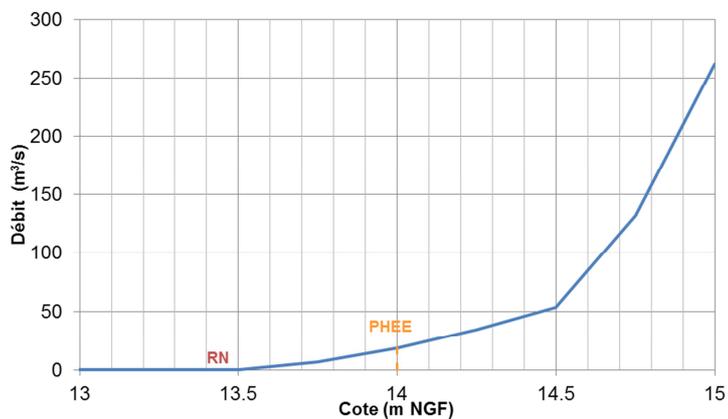


Figure 3038 : Loi d'évacuation de l'évacuateur du bassin de Vaulongue

La vidange de fond ne participe pas à l'évacuation des crues.

3.1.2.53.1.2.4 Description et fonctionnement du puits de fond du bassin de Vaulongue

~~Pour la vidange, le bassin est équipé d'un puits de fond. Il s'agit d'une conduite calée à la cote 10,0 mNGF (section 1,0 m²).~~

Coupe à ajouter ?

Les coefficients de débit retenus sont :-

- 0,40 pour le puits en fonctionnement à surface libre,
- 0,60 pour le puits en fonctionnement en charge (appliqué à la section de contrôle).

~~Pour la vidange, le barrage est équipé d'un puits de fond calé à la cote 10,0 mNGF dont la section de contrôle est de 1,0 m².~~

~~Le coefficient de débit retenu pour le puits est de 0,6.~~

La loi de vidange du bassin de Vaulongue est présentée ci-dessous.

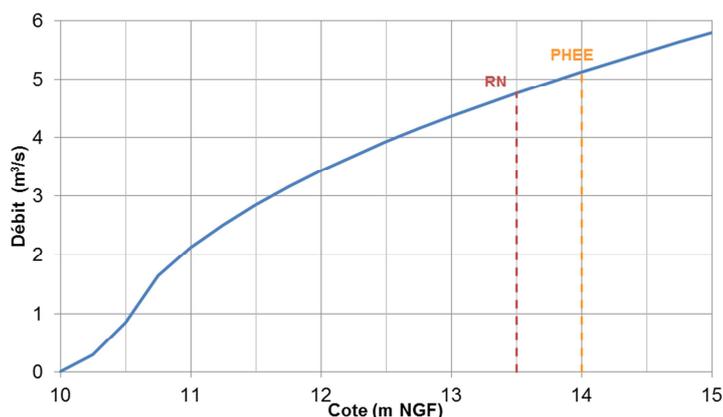


Figure 3139 : Loi d'évacuation du puits de fond du bassin de Vaulongue

La condition aval de la Garonne n'a pas été prise en compte dans le calcul de la débitance du puits de fond. ~~Une analyse de sensibilité a néanmoins été menée en construisant un modèle hydraulique de la Garonne au droit du bassin de Vaulongue.~~

~~L'incertitude sur la cote en aval du puits pendant le fonctionnement du bassin conduit à une incertitude. Une incertitude de l'ordre de 1m³/s sur le débit est donc associée à la loi d'évacuation relâché.~~

3.2 CALCUL DU LAMINAGE DES CRUES

3.2.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DE DIMENSIONNEMENT

Les objectifs de dimensionnement des bassins écrêteurs ont été définis dans le schéma directeur d'aménagement réalisé par BCEOM en 2007 :

- Un débit de 5 m³/s relâché en aval du barrage de l'Aspé pour la crue de période de retour 55 ans (P100ans du schéma directeur),
- Un débit de l'ordre de 45 m³/s restitué en aval du bassin de Vaulongue pour la crue de période de retour 55 ans (P100ans du schéma directeur).

L'objectif du projet est donc la mise en service des déversoirs pour une crue de période de retour supérieure à 55 ans.

3.2.2 MODELES UTILISES

Le modèle GESRES^{ISL} a été exploité pour étudier le laminage des hydrogrammes de projet.

Les lois hauteur/volume de chaque retenue ainsi que les lois d'évacuation ou géométrie des déversoirs, des pertuis (et de la crête qui a également été modélisée comme un seuil sur toute sa longueur) ont été intégrées au modèle.

Les évènements suivants ont été modélisés en fonction des barrages.

	Aspé	Vaulongue
Crue d'optimisation du fonctionnement <u>à l'échelle du bassin versant (schéma directeur)</u>	55 ans	55 ans
Crue de période de retour 100 ans révisée	100 ans	100 ans
Crue réelle de 2011 à l'échelle du bassin versant	~100 ans	~100 ans
Crue <u>exceptionnelle à l'échelle du bassin versant du barrage de projet</u>	1 000 ans	1 000 ans
Crue extrême <u>à l'échelle du bassin versant du barrage</u>	10 000 ans	10 000 ans
Crue réelle de 2011	~100 ans	~100 ans

Tableau ~~3936~~ : Période de retour des évènements modélisés

Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- ~~L~~e laminage dans les retenues est pris en compte,
- ~~L~~es évacuateurs fonctionnent normalement.

3.2.3 BARRAGE DE L'ASPE

Compte tenu des incertitudes, les cotes ont été arrondies à 0,1 m.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

	Crue de dim-d'optimisation	Crue de 2011	Crue exceptionnelle	Crue extrême
Période de retour associée	55 ans	-100 ans	1 000 ans	10 000 ans
Q entrant	24 m ³ /s	26 m³/s	62 m ³ /s	87 m ³ /s
Q sortant	5 m ³ /s	6 m³/s	20 m ³ /s	51 m ³ /s
% laminage	81 %	78 %	68 %	42 %
Volume de la crue	172 000 m ³	463 000 m³	585 000 m ³	835 000 m ³
Cote atteinte	25,8 m NGF	28,8 m NGF	29,6 m NGF	30,6 m NGF
Revanche / cote de crête	5,2 m	2,2 m	1,4 m	0,4 m
Lame d'eau sur le déversoir	0,0 m	0,1 m	0,9 m	1,9 m
Cote de crête	31,0 m NGF			
Cote déversoir	28,75 m NGF			

Tableau **4037** : Laminage des crues par le barrage de l'Aspé

Les graphiques suivant présentent les hydrogrammes en entrée et en sortie du barrage pour les différentes situations.

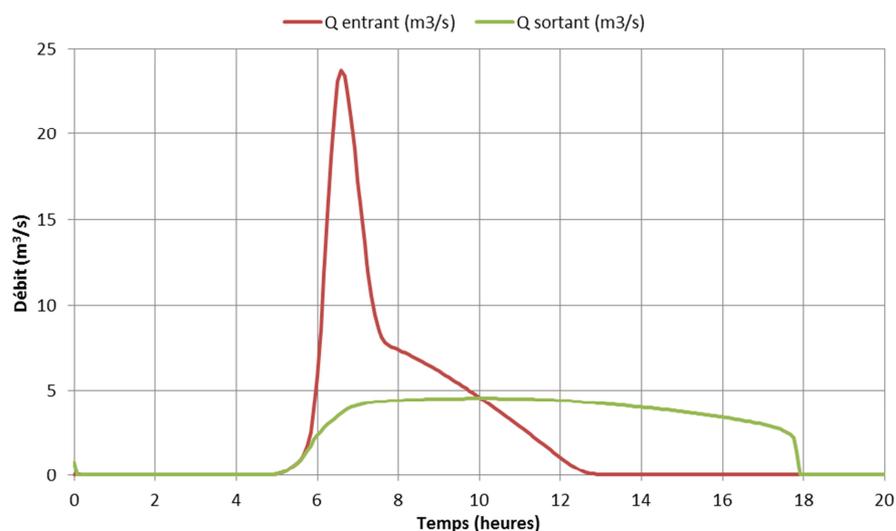


Figure **3240** : Laminage de la crue ~~de dimensionnement d'optimisation du fonctionnement~~ (T = 55 ans) – Barrage de l'Aspé

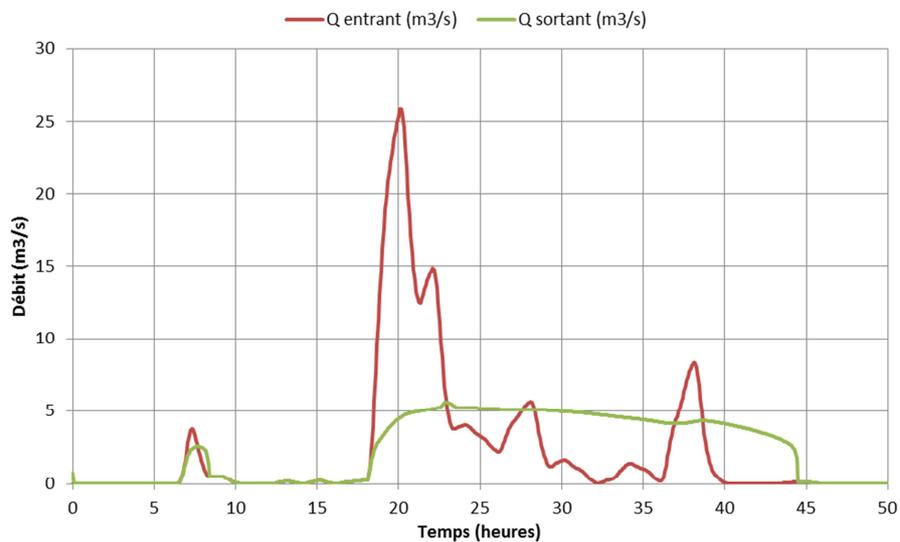


Figure 33 : Laminage de la crue de 2011 – Barrage de l'Aspé

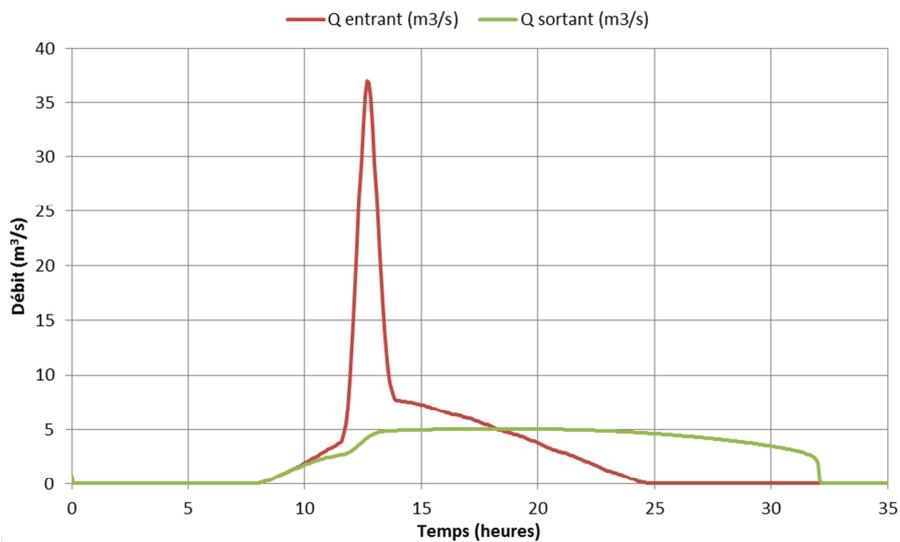


Figure 41 : Laminage de la crue centennale (T = 100 ans révisée) – Barrage de l'Aspé

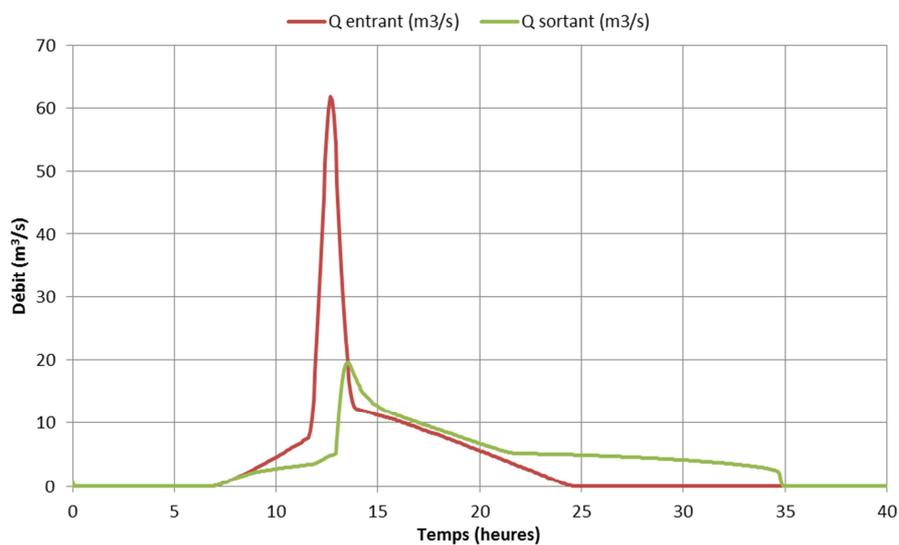


Figure 3442 : Laminage de la crue millénaire-exceptionnelle – Barrage de l'Aspé

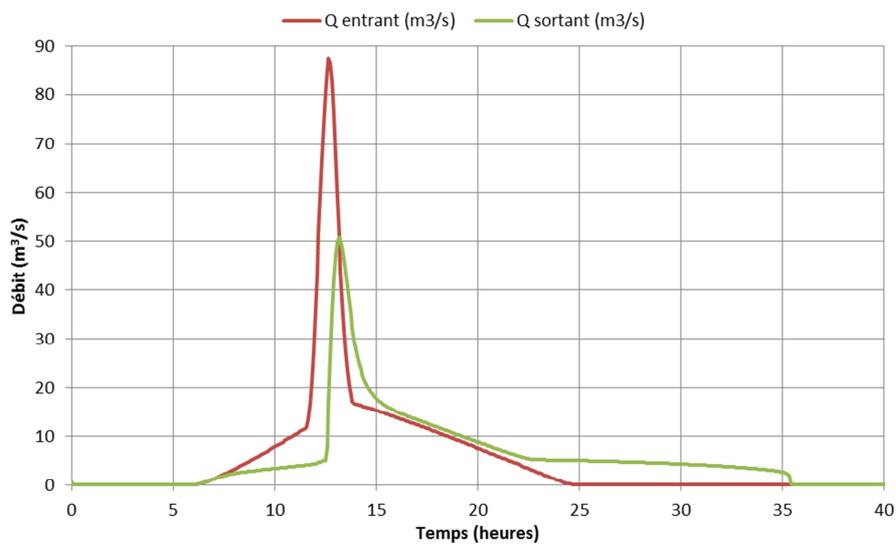


Figure 3543 : Laminage de la crue extrême-décennale – Barrage de l'Aspé

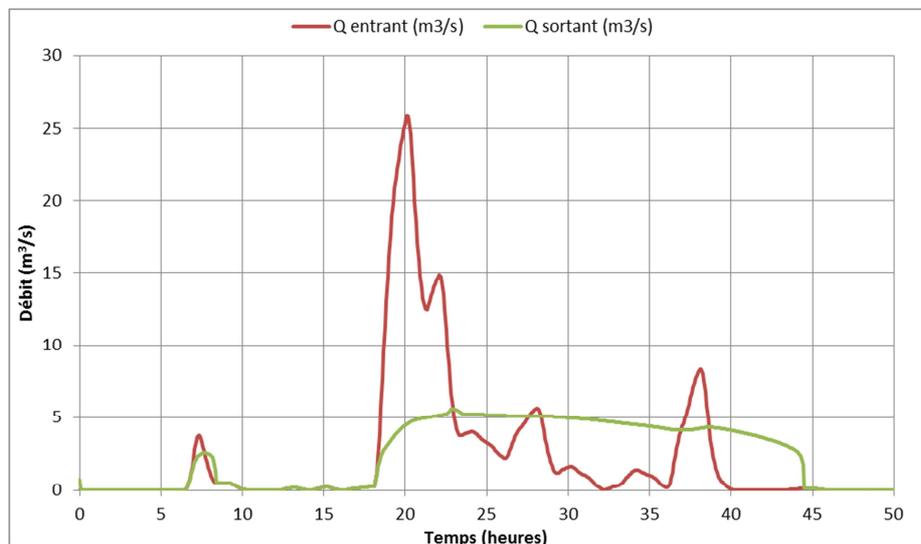


Figure 44 : Laminage de la crue de 2011 — Barrage de l'Aspé

3.2.4 BASSIN DE VAULONGUE

Compte tenu des incertitudes, les cotes ont été arrondies à 0,1 m.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

	<u>Crue d'optimisation</u>	<u>Crue de dim.</u>	<u>Crue de 2011</u>	Crue exceptionnelle	Crue extrême
Période de retour associée	55 ans		<u>~100 ans</u>	1 000 ans	10 000 ans
Q entrant	14 m ³ /s		<u>10 m³/s</u>	24 m ³ /s	31 m ³ /s
Q sortant	5 m ³ /s		<u>9 m³/s</u>	24 m ³ /s	31 m ³ /s
% laminage	62 %		<u>1 %</u>	0 %	0 %
Volume de la crue	75 500 m ³		<u>170 000 m³</u>	205 000 m ³	280 000 m ³
Cote atteinte	13,5 m NGF		<u>13,7 m NGF</u>	14,0 m NGF	14,1 m NGF
Revanche / cote de crête	1,0 m		0,8 m	0,5 m	0,4 m
Lame d'eau sur le déversoir	0,0 m		<u>0,2 m</u>	0,5 m	0,6 m
Cote de crête	14,5 m NGF				
Cote déversoir	13,5 m NGF				

Tableau 4138 : Laminage des crues par le bassin de Vaulongue

Les graphiques suivant présentent les hydrogrammes en entrée et en sortie du barrage pour les différentes situations.

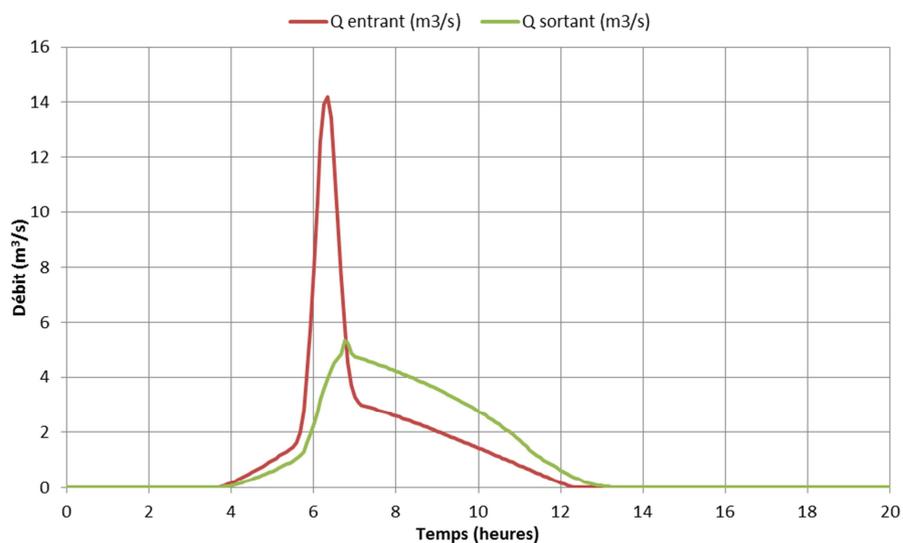


Figure 3645 : Laminage de la crue d'optimisation du fonctionnement de dimensionnement (T = 55 ans) – Bassin de Vaulongue

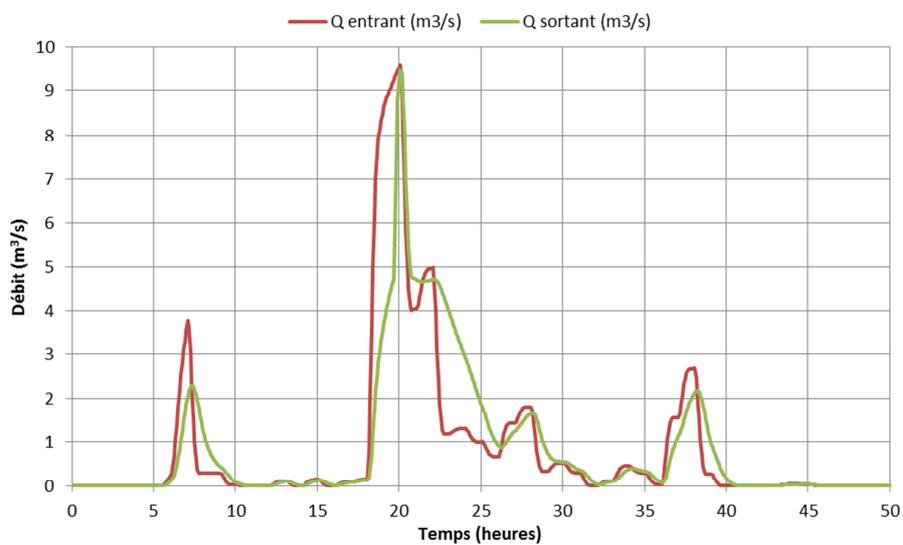


Figure 37 : Laminage de la crue de 2011 – Bassin de Vaulongue

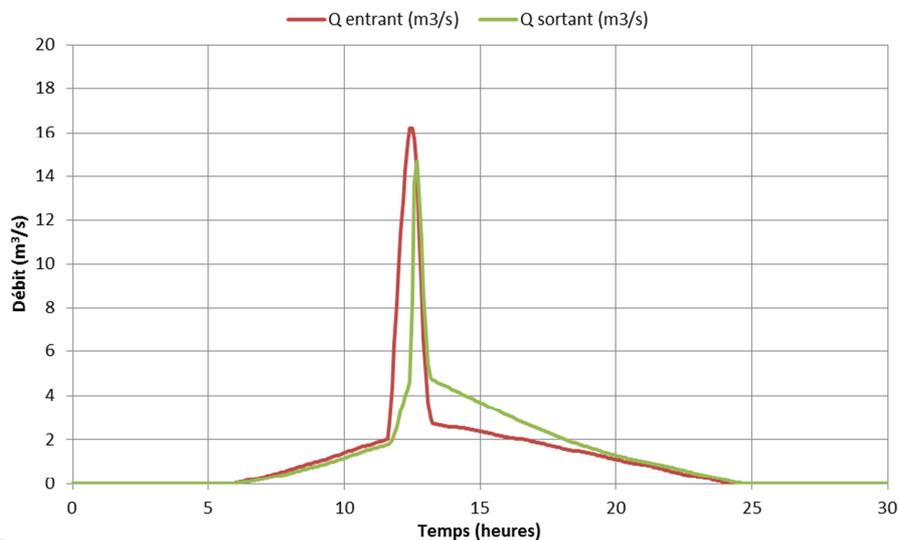


Figure 46 : Laminage de la crue centennale (T = 100 ans révisée) – Bassin de Vaulongue

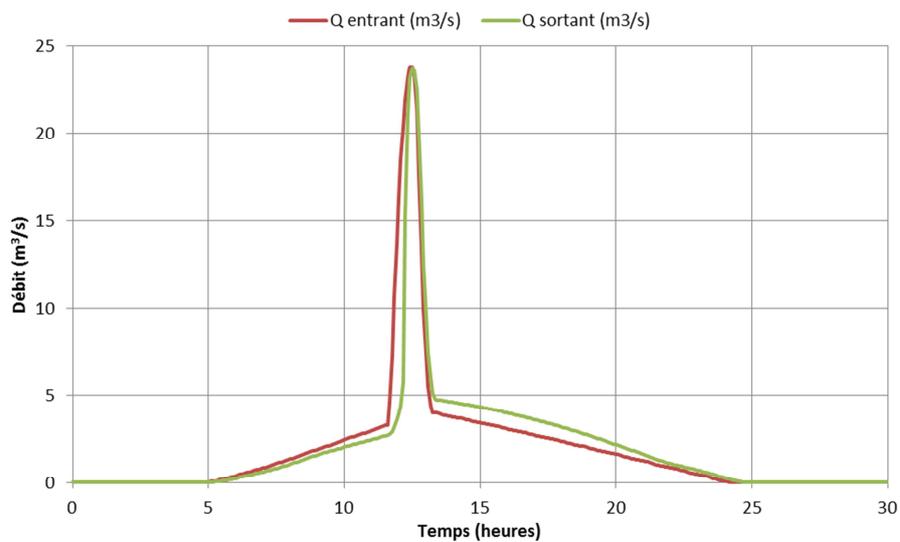


Figure 3847 : Laminage de la crue millénaire exceptionnelle – Barrage de Vaulongue

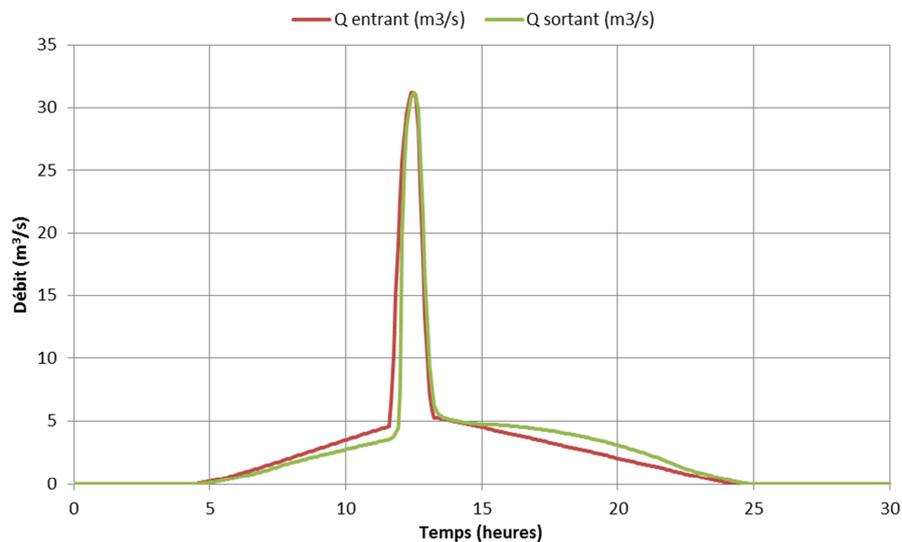


Figure 3948 : Laminage de la crue décennale extrême – Bassin de Vaulongue

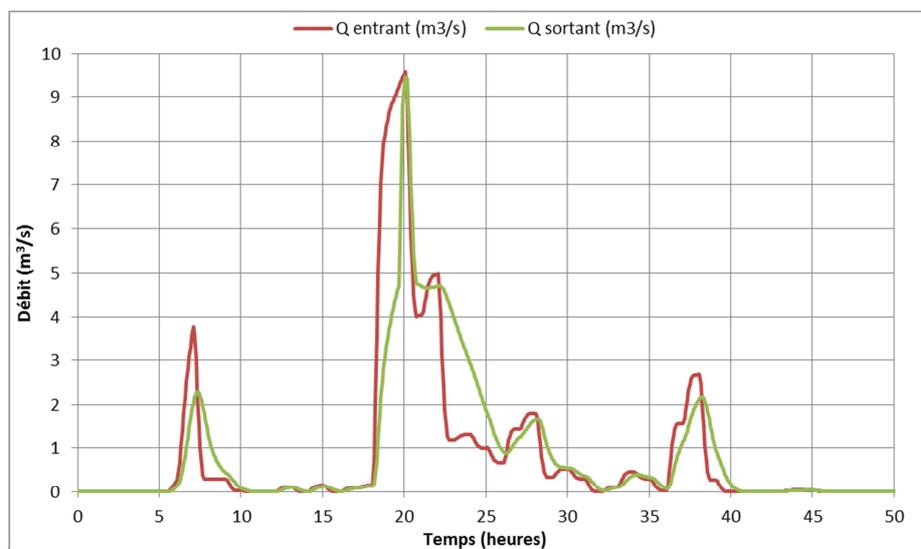


Figure 49 : Laminage de la crue de 2011 – Bassin de Vaulongue

3.3 — VERIFICATION COMPLEMENTAIRE

Une vérification hydraulique a été réalisée au droit du bassin de Vaulongue pour calculer les lignes d'eau pour les crues exceptionnelle (T = 1 000 ans) et extrême (T = 10 000 ans) de la Garonne dans le secteur et s'assurer que ce cours d'eau ne surverse pas par dessus la crête de la digue.

3.3.1 PRESENTATION DU MODELE

L'écoulement dans la rivière est apprécié à l'aide d'un modèle hydraulique 1D en régime permanent, en utilisant le logiciel HEC-RAS⁴.

3.3.1.1 Etendue du modèle

Le modèle hydraulique réalisé s'étend sur 590 m, de l'amont du bassin de Vaulongue à la confluence avec le ruisseau du Suveret.

La figure suivante présente la zone modélisée et les profils pris en compte dans le modèle.



Figure 50 : Localisation de la zone modélisée

3.3.1.2 Données topographiques

Les données topographiques utilisées pour la réalisation du modèle hydraulique sont :-

- Le plan topographique au 1/250^{ème} du bassin de Vaulongue et du cours d'eau réalisé par le cabinet de géomètres GE2I en 2016,
- Le MNT datant de 2013 fourni par la CAVEM sur l'ensemble du territoire.

Des profils en travers ont été établis à partir de ces données tous les 20 à 30 m.

3.3.2 HYPOTHESES DE CALCUL

3.3.2.1 Condition à la limite amont

La condition amont est un hydrogramme injecté en amont du modèle.

⁴ Logiciel HEC-RAS version 4.1, développé par le corps des ingénieurs de l'armée américaine, www.hec.usace.army.mil

~~Le débit du talweg intercepté par le bassin de Vaulongue est également injecté dans le modèle.~~

~~Les hydrogrammes sont issus des modèles hydrologiques présentés dans le paragraphe 2.~~

~~3.3.2.2 Condition à la limite aval~~

~~La condition aval est une courbe de tarage extraite d'un modèle hydraulique 2D global réalisé dans le cadre de l'AMC des ouvrages écrêteurs sur le bassin de la Garonne, du Valèsure et du Pédégal, réalisé par ISL en 2015 pour la CAVEM.~~

~~Cette courbe de tarage est présentée sur le graphe suivant.~~

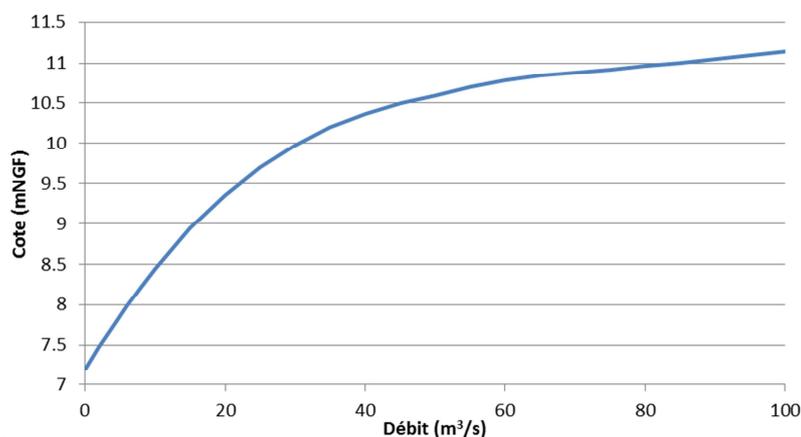


Figure 51 : Condition limite aval du modèle 1D - Courbe de tarage

~~3.3.2.3 Coefficients de rugosité~~

~~Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :~~

- ~~• K = 25 en lit mineur,~~
- ~~• K = 10 en lit majeur.~~

~~3.3.3 GALAGE DU MODELE~~

~~En 2011, une crue importante est survenue dans le Var et a touché le bassin versant de la Garonne. Les pluies ont été homogènes sur l'ensemble du bassin versant ; cette crue est considérée comme centennale à l'échelle du bassin versant.~~

~~Trois repères de crue ont été levés suite à la crue. Ils sont localisés sur la figure suivante.~~

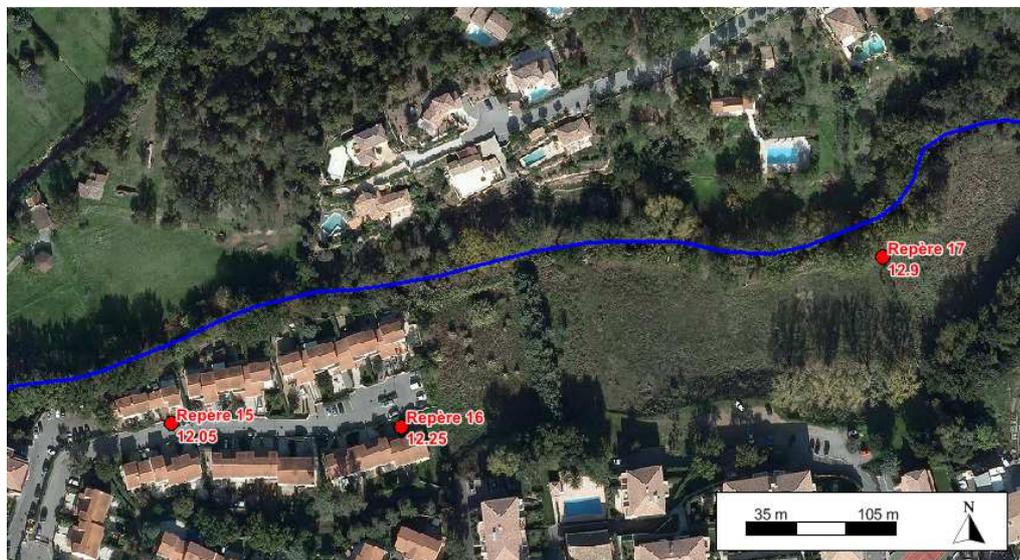


Figure 52 : Localisation des repères de crue

Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant. Les coordonnées sont exprimées en Lambert 3-Sud.

	X (m)	Y (m)	Z (mNGF)	Photo
Repère-15	960 050,55	136 160,83	12,05	
Repère-16	960 142,04	136 159,43	12,25	
Repère-17	960 333,28	136 227,36	12,90	

Tableau 39 : Caractéristiques des laisses de crue

Le graphique suivant présente la ligne d'eau pour la crue de 2011. Les repères de crue sont également reportés sur le graphe.

Dans cette situation, la condition limite aval est une cote imposée à 11,5 mNGF, prenant en compte les éventuelles mises en charge des ponts situés à l'aval.

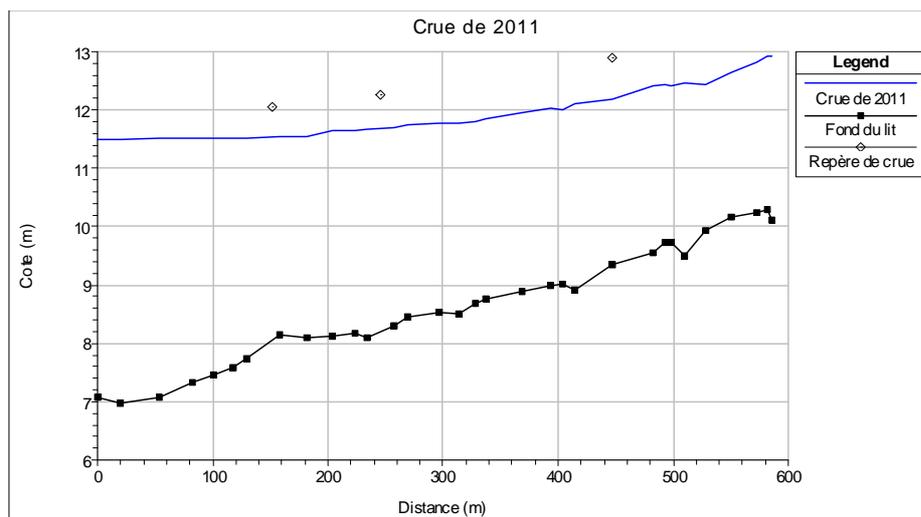


Figure 53 : Calage sur la crue de 2011

Le tableau suivant récapitule le calage du modèle.

Repère	Z mesuré (m-NGF)	Z modèle (m-NGF)	Ecart (modèle — mesure)
15	12,05	11,53	-52 cm
16	12,25	11,71	-54 cm
17	12,90	12,18	-72 cm

Figure 54 : Résultats du calage pour la crue de 2011

La ligne d'eau obtenue par modélisation est inférieure aux laisses de crue levées. Des tests ont été réalisés en modifiant les coefficients de Strickler mais ils ne permettent pas d'atteindre les repères de crue.

Il a été demandé au maître d'ouvrage d'effectuer de nouveau le levé de ces repères de crue pour vérifier leurs cotes. Les marques de bombe étant effacées, cette demande n'a pas pu être réalisée. La cohérence des laisses de crue a alors été vérifiée à partir des photos et du MNT de la zone.

Repère	Z _{TV} issu du MNT (m-NGF)	h estimé avec les photos (m)	Z repère estimé (m-NGF)	Ecart (modèle — mesure)
15	11,03	0,55	11,58	-5 cm
16	11,25	0,45	11,7	-1 cm
17	11,45	-	-	-

Tableau 40 : Résultats du calage après révision des laisses de crue

3.3.4 MODELISATION DE L'ETAT PROJETE

La construction du bassin de Vaulongue a été intégrée au modèle et notamment la digue de ceinture du bassin qui réduit l'expansion des crues en lit majeur.

La figure suivante présente un profil en travers. Le profil en état actuel est représenté en noir et celui en état projeté en rouge.

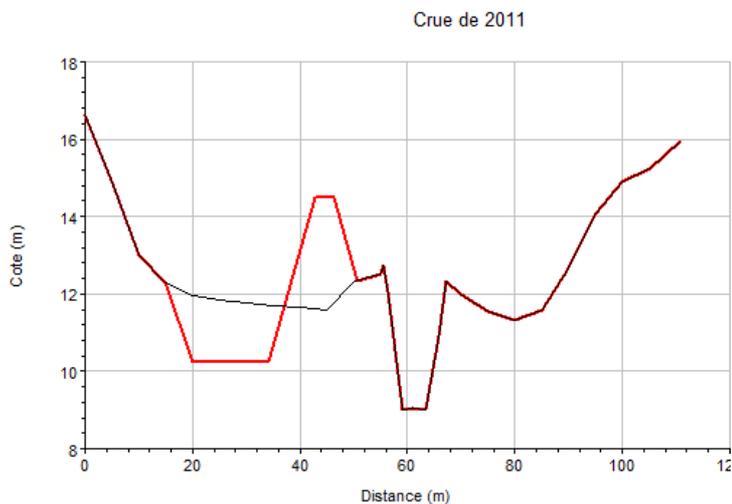


Figure 55 : Profil en travers en état projeté

3.3.5 — RESULTATS DE LA MODELISATION

Les lignes d'eau en état actuel et en état projeté ont été calculées pour les crues millénaire et décennales.

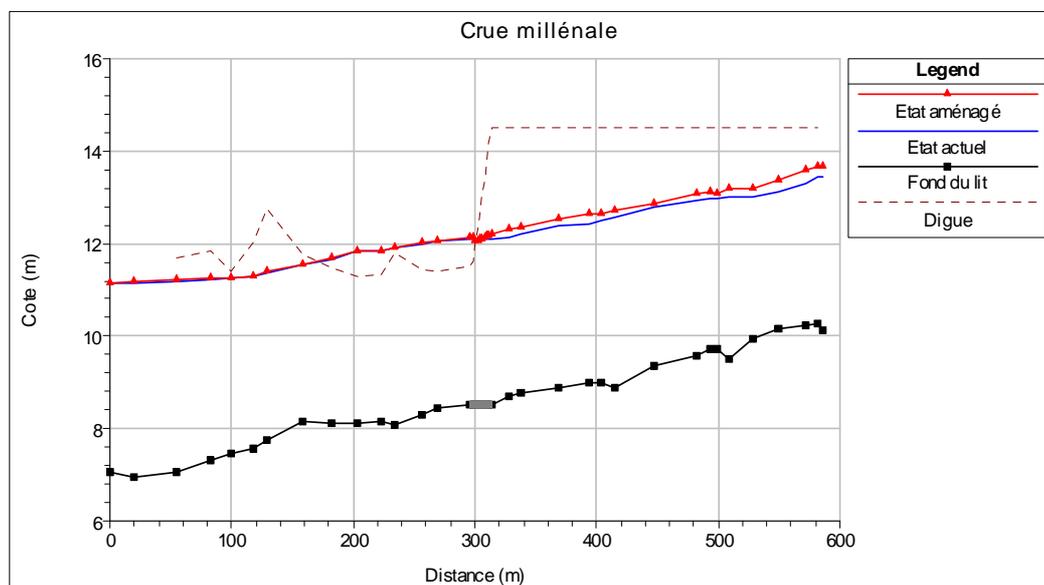


Figure 56 : Modélisation 1D de la crue millénaire au droit de Vaulongue

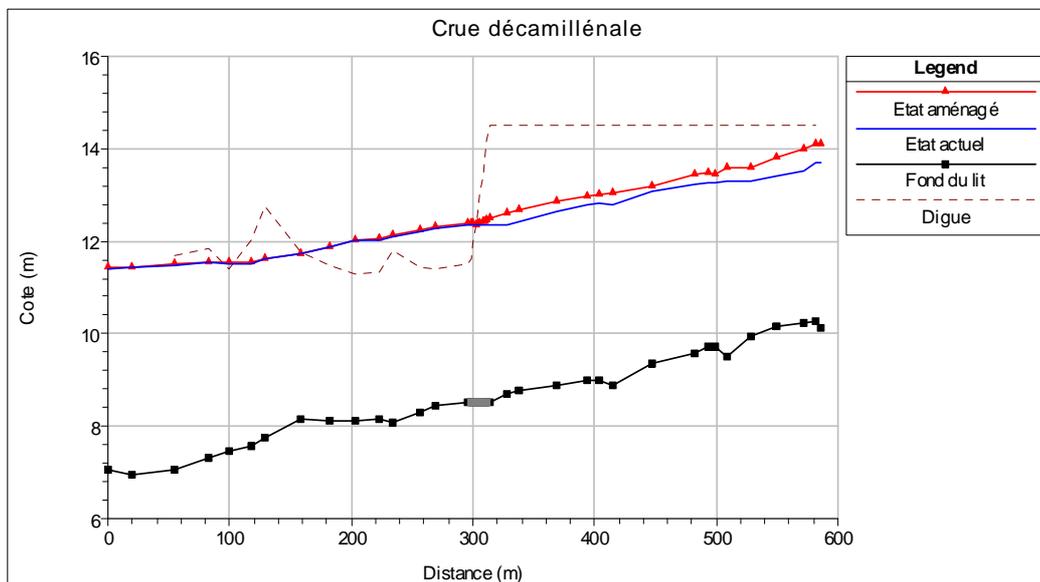


Figure 57 : Modélisation 1D de la crue millénaire au droit de Vaulongue

Pour les deux crues, la création du bassin de Vaulongue entraîne une rehausse de la ligne d'eau dans la Garonne : les niveaux d'eau sont augmentés de 5 à 30 cm pour la crue millénaire et de 10 à 50 cm pour la crue décenniale.

Les cotes atteintes dans le lit de la Garonne n'atteignent jamais la crête de la digue (Zcrête = 14,50 mNGF). Il n'y aura donc pas de surverse de la Garonne vers le bassin de Vaulongue.

4 RENTABILITE ECONOMIQUE DES PROJETS

4.1 CONTEXTE DE L'ACB REALISE

La CAVEM a mandaté le bureau d'études ISL Ingénierie en 2015 pour réaliser une Analyse Multi-Critères (AMC) sur les 3 ouvrages proposés dans le schéma directeur sur le cours d'eau de la Garonne. L'objectif de cette AMC ~~est d'évaluer dans quelle mesure ces projets structurels sont efficaces et rentables.~~ a été d'estimer la pertinence socio-économique du projet.

~~Le scénario soumis à ACB et AMC concernait la création~~ Le scénario soumis à ACB et AMC concerne la création des bassins écreteurs listés ci-dessous :

- ~~Bassin des Crottes amont ;~~
- ~~Bassin de l'Aspé ;~~
- Bassin de Vaulongue, des bassins de l'Aspé et de Vaulongue mais aussi celui des Crottes amont.

~~La définition de ces ouvrages est issue de la révision du Schéma Directeur de lutte contre les Inondations finalisé en 2014, à savoir :-~~

- ~~Barrage des Crottes amont : digue en travers de la vallée calée à la cote 49 m NGF, pertuis de fond de diamètre 800 mm et déversoir de sécurité calé à la cote 47 m NGF ;~~
- ~~Barrage de l'Aspé : digue en travers de la vallée calée à la cote 28,8 m NGF, pertuis de fond de 900 mm et déversoir de sécurité calé à la cote 26,8 m NGF ;~~
- ~~Bassin de Vaulongue : digue calé à la cote 14,50 m NGF et 15,50 m NGF sur la partie aval, pertuis de fond de 1200 mm et déversoir de sécurité calée à la cote 13,5 m NGF.~~

~~Dans l'AMC réalisé en 2015 le barrage des Crottes amont est pris en compte. La présente étude a conclu que le barrage de l'Aspé seul, après rehausse par rapport à l'étude de 2015, était suffisant pour permettre d'atteindre les objectifs de protection.~~ L'objectif de réduction des débits. ~~Les dommages restent donc identiques, seuls les coûts pourront être revus à la baisse, ce qui est favorable à l'ACB.~~

4.2 RESULTATS DE L'AMC REALISEE EN 2015

Les montants de travaux pris en compte dans l'AMC de 2015 sont les suivants

Désignation	Coût des travaux (€HT)	Coût de conception (10%) (€HT)	Frais annuels (1%) (€HT)
Bassin des Crottes amont	2 300 000 €	230 000 €	23 000 €
Bassin de l'Aspé	2 300 000 €	230 000 €	23 000 €
Bassin de Vaulongue	1 524 000 €	152 400 €	15 240 €

Tableau 42 : Coûts des aménagements (en € HT)

Le coût du projet (génie civil et conception) est estimé à environ 6,7 M€ HT.

L'efficacité hydraulique des 3 ouvrages définis dans le schéma directeur associée à ces coûts a conduit à une AMC positive :

- VAN = 0 à 24 ans < 50 ans.
- VAN à 50 ans = 4 800 000 €.

L'AMC a donc conclu que le projet était économiquement rentable.

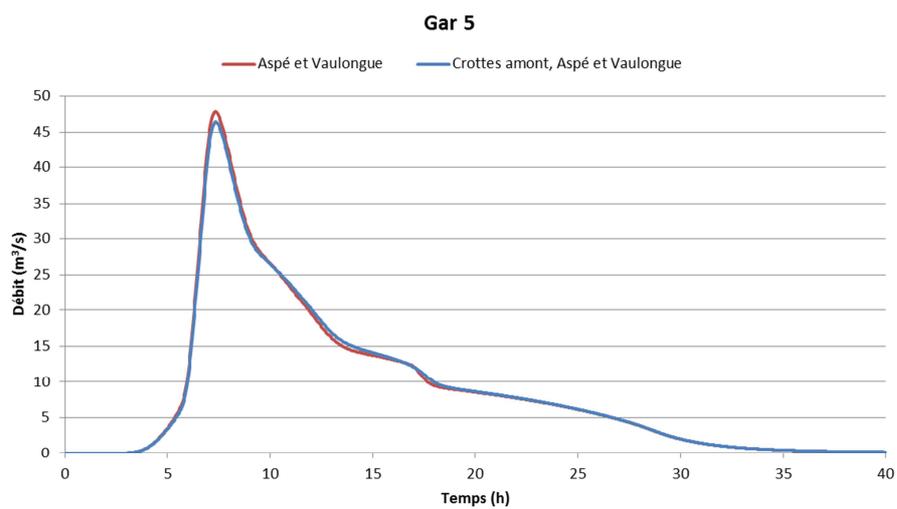
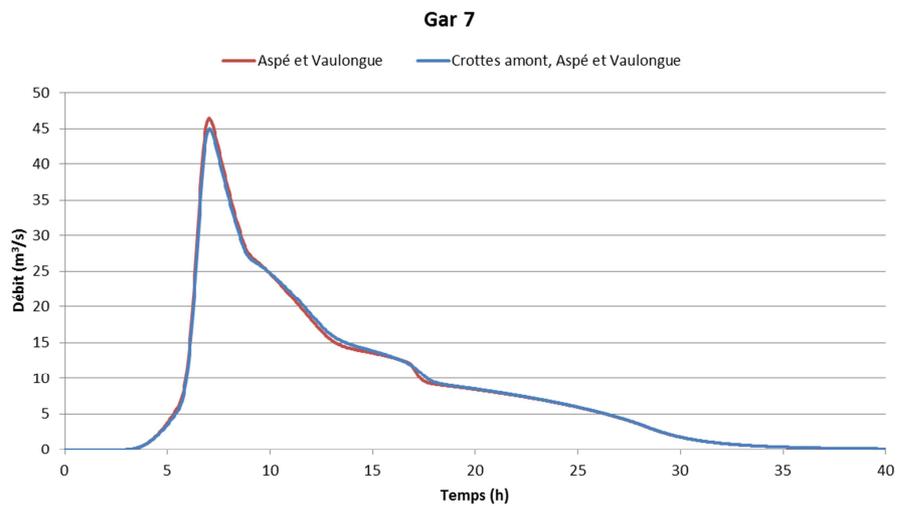
4.24.3 LES BÉNÉFICES COMPARAISON DES EFFICACITÉS HYDRAULIQUES ENTRE 2015 ET 2017

Dans le cadre de la présente étude, seuls les barrages de l'Aspé et de Vaulongue ont été conservés.

Localement, au droit des ouvrages, les objectifs de réduction de débit ont été conservés. Il convient de vérifier que les modifications apportées au projet n'ont pas modifié l'efficacité globale du projet dans la partie aval du bassin versant.

La crue de période de retour 30 ans est celle ayant la plus grande influence dans l'analyse économique. Ainsi, pour cette crue, les hydrogrammes en différents points du bassin versants ont été comparés. La localisation des points de comparaison ainsi que les hydrogrammes sont présentés ci-après.

Carte localisation points de comparaison



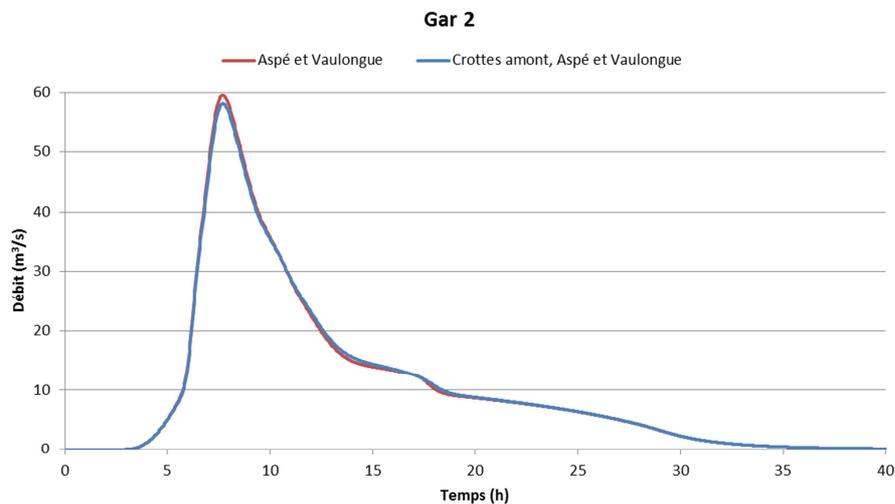


Figure 40 : Comparaison des hydrogrammes de la crue de période de retour 30 ans

Les débits de pointe sont augmentés de 2 à 3 %, ce qui est marginal au vu de l'efficacité hydraulique.

Ainsi, la construction des ouvrages de l'Aspé rehaussé et de Vaulongue permet d'obtenir une efficacité hydraulique comparable à celle prise en compte dans l'AMC de 2015.

4.4 CONCLUSION SUR LA RENTABILITE ECONOMIQUE DU PROJET

Le paragraphe précédent a permis de confirmer les gains hydrauliques du projet.

Ainsi, sans avoir à reprendre l'AMC, on peut conclure que **le projet sera économiquement rentable tant que le coût du projet ne dépasse pas 6,7 M€ HT.**

~~Les dommages restent donc identiques, seuls les coûts pourront être revus à la baisse, ce qui est favorable à l'ACB. Les dommages moyens annuels sont les suivants :-~~

Scénario	DMA (€HT/an)
Etat actuel	27 356 017
Etat aménagé	26 860 153

Tableau 41 : Dommages moyens annuels (DMA) des 2 scénarios

Les dommages évités moyens annuels, obtenus par l'intégration de la courbe des dommages évités en fonction de la période de retour, sont de 496 k€ HT.

4.3 LES COUTS

Les montants de travaux sont issus des Schémas Directeurs de lutte contre les inondations de 2007 et 2014.

Les coûts de conception sont évalués à 10% du total des travaux.

Les frais annuels sont estimés égaux à 1% du montant des travaux.

Désignation	Coût des travaux (€HT)	Coût de conception (€HT)	Frais annuels (1%) (€HT)
Bassin des Crottes amont	2 300 000 €	230 000 €	23 000 €
Bassin de l'Aspé	2 300 000 €	230 000 €	23 000 €
Bassin de Vaulongue	1 524 000 €	152 400 €	15 240 €

Tableau 42 : Coûts des aménagements (en € HT)

Le coût du projet (génie civil et conception) est estimé à environ **6,7 M€ HT**.

4.4 — LES INDICATEURS SYNTHETIQUES VAN ET B/C

Les indicateurs synthétiques, calculés en fonction des dommages évités moyens annuels (DEMA) et des coûts sont les suivants.

Période de retour	VAN	B/C
10 ans	-3 816 150	0,44
20 ans	-813 211	0,89
30 ans	1 532 680	1,20
40 ans	3 365 286	1,42
50 ans	4 796 915	1,59
75 ans	8 683 043	1,99
100 ans	11 633 201	2,26

Tableau 43 : Indicateurs synthétiques

Le projet bénéficie d'une analyse socio-économique favorable puisque la VAN à 50 ans est positive.

5 — CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

5.1 — CONTEXTE

~~Le volet naturel de l'étude d'impact du projet d'aménagement des bassins écrêteurs de la Garonne ainsi que l'étude d'incidence de chaque ouvrage ont été réalisés par le bureau d'études Biotope en 2015.~~

~~Les résultats de ces études sont repris dans ce rapport.~~

5.2 — BASSIN DE L'ASPE

~~Les enjeux suivants ont été identifiés :-~~

	Habitats naturels	Flore	Invertébrés	Reptile	Poisson
Enjeux forts	Galerie à Laurier rose	Laurier rose	Diane (papillon protégé)	Cistude d'Europe (tortue)	Anguille européenne
	Prairies à Sérapias (habitat d'intérêt communautaire)	Paronyque-en-cyme			
		Canne de Pline			

	Habitats naturels	Flore	Oiseaux	Chiroptères	
Enjeux modérés	Cours d'eau intermittent	Matorral acidiphile à Quercus ilex	Tourterelle des bois	Murin de Capaccini	
		Laîche d'Hyères			
		Lotier de Coïmbra		Murin à oreilles échancrées	
		Canche de provence			
		Sérapias d'Hyères			
	Bois de frênes riverains	Sérapias méconnu		Grand rhinolophe	
		Isoetes de Durieu			Petit rhinolophe
		Ophioglosse du Portugal			Petit murin
	Anacamptis coriophora subsp fragrans		Murin de Bechstein		

~~Les chiroptères utilisent le site comme zone de chasse et comme zone de gîte potentiel~~

~~La construction du barrage va impacter trois enjeux forts (1 zone d'habitat naturel et 2 espèces florales). Les autres enjeux forts seront préservés.~~

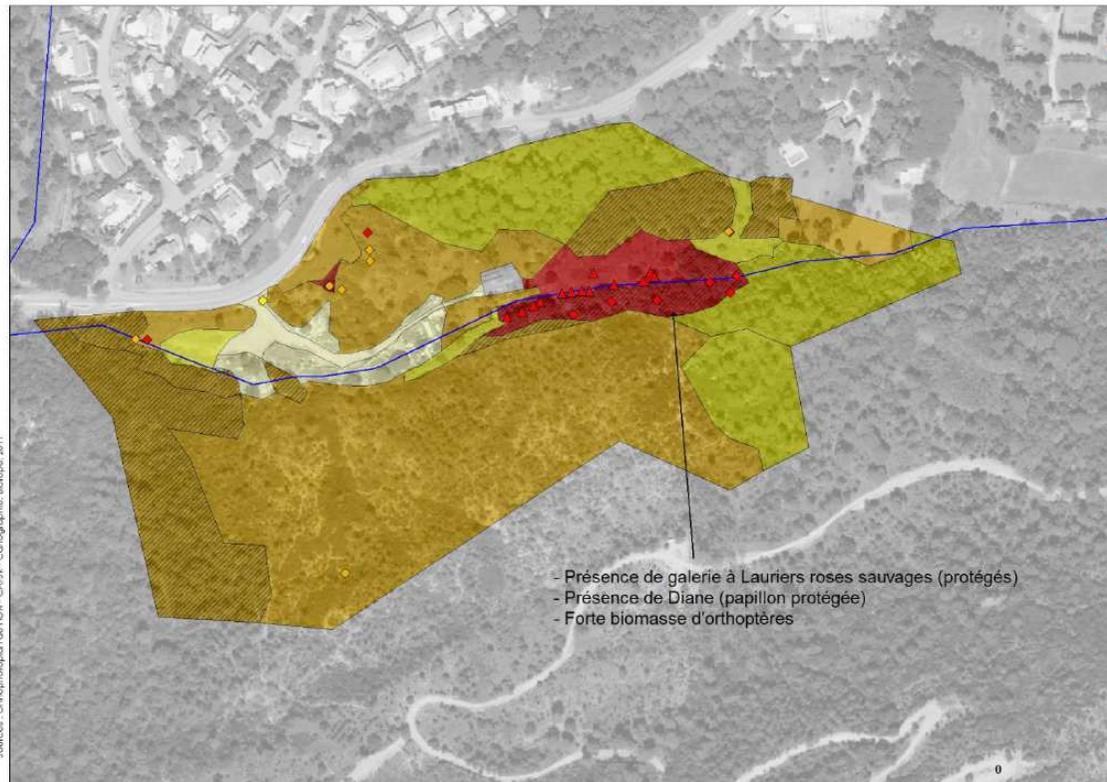
~~La carte suivante localise ces enjeux.~~



Synthèse des enjeux écologiques



Volet naturel de l'étude d'impact en vue du projet d'aménagement sur les sous-bassins versants Garonne et Peyron



Sources : Cartographie de l'ADH - CAVE - Cartographie Medtopo, 2011

- Présence de galerie à Lauriers roses sauvages (protégés)
- Présence de Diane (papillon protégée)
- Forte biomasse d'orthoptères

- Cours d'eau
- Habitats naturels
- Enjeu fort
 - Enjeu modéré
 - Enjeu faible
 - Enjeu très faible
 - Enjeu nul
 - ▨ Habitat d'intérêt communautaire

- Flore protégée
- ◆ Enjeu fort
 - ◇ Enjeu modéré
 - ◇ Enjeu faible

- Invertébrés protégés
- ▲ Enjeu fort

Ripisylve :

- Zone refuge pour la faune aquatique (Cistude d'Europe) et les oiseaux
- Corridor essentiel en contexte périurbain (chiroptères, oiseaux)

Cours d'eau :

- corridor écologique essentiel au maintien des populations de reptiles (Cistude d'Europe), d'amphibiens, de poissons (Anguille d'Europe)

40 0 40 80 120
Mètres

Échelle: 1:2 000

04/01/2017

Page 11 sur 80

5.3 BASSIN DE VAULONGUE

Les enjeux suivants ont été identifiés :-

	Habitats naturels	Flore	Reptile	Poisson
Enjeux forts	Cours d'eau permanent	Laurier-rose	Cistude d'Europe (tortue)	Anguille européenne
	Galerie à charme-houblon, correspondant à la ripisylve du cours d'eau (habitat d'intérêt communautaire)			

	Habitats naturels	Flore	Invertébrés	Oiseaux	Chiroptères
Enjeux modérés	Cours d'eau intermittent	Astragale-double-scie	Diane (papillon protégé)	Tourterelle-des-bois	Murin de Capaccini
	Matorral acidiphile à Quercus ilex (habitat d'intérêt communautaire par mutation)	Sérapias méconnu			Petit-duc-scops
		Laiche d'Hyères		Grand-rhinolophe	
				Murin de Bechstein	

Les chiroptères utilisent le site comme zone de chasse et comme zone de gîte potentiel

Le bassin sera construit à 5 m de la berge pour préserver la ripisylve.

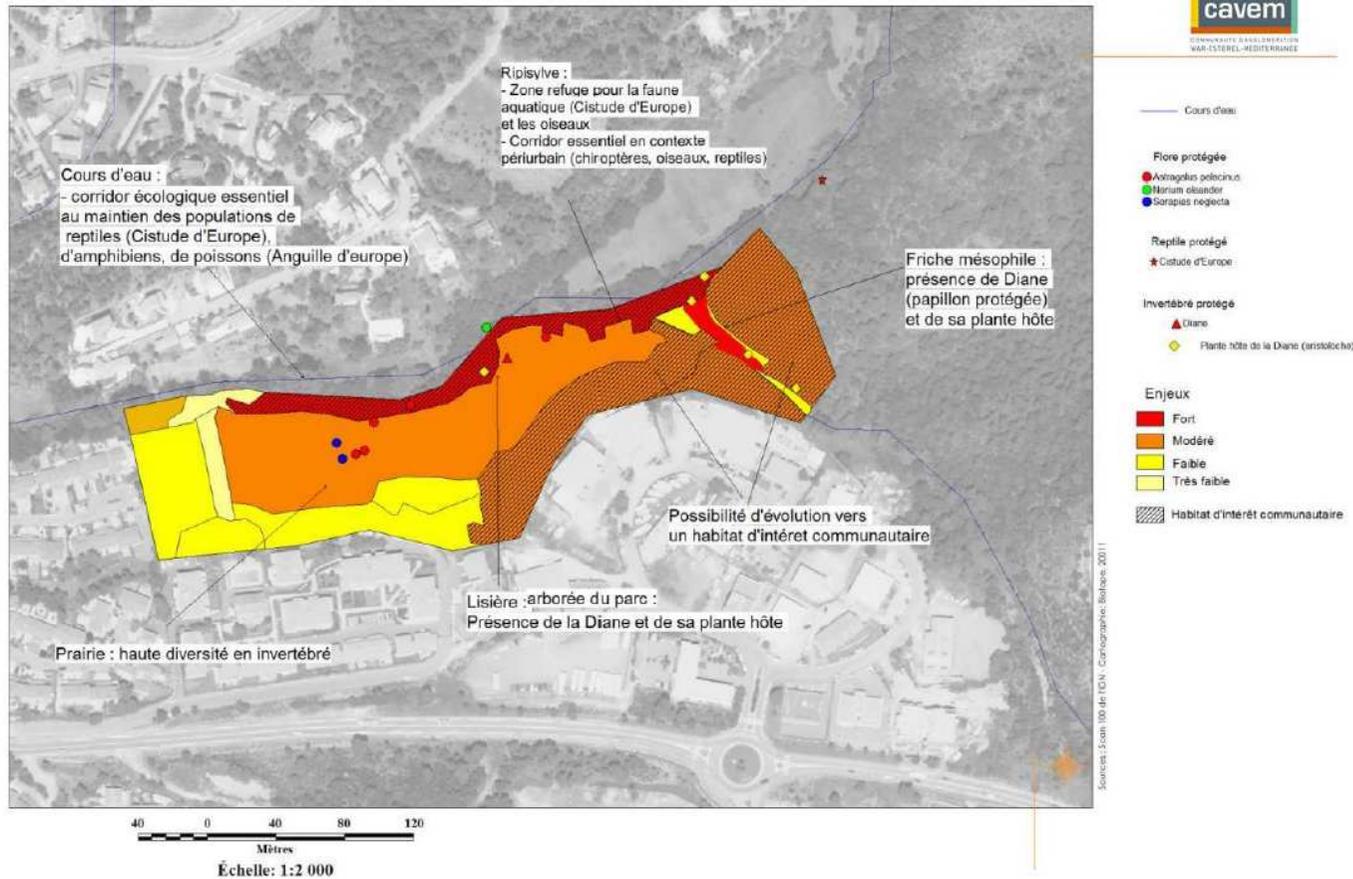
La construction du bassin (digue + déblais du bassin) va impacter des enjeux modérés ; les enjeux forts seront préservés.

La carte suivante localise ces enjeux.



Synthèse des enjeux écologiques (Site 2C)

Valet naturel de l'étude d'impact du projet de bassin de rétention à Vaulongue



65 CONCLUSION

La CAVEM a confié à ISL Ingénierie la maîtrise d'œuvre complète des barrages de l'Aspé, des Crottes amont et de Vaulongue.

Ce document a permis de définir l'hydrologie de référence, de préciser le dimensionnement des barrages ainsi que leurs ouvrages d'évacuation, d'apprécier l'impact hydraulique de ces ouvrages et de ~~rappeler les contraintes environnementales et vérifier~~ la rentabilité économique du projet.

Les objectifs de dimensionnement défini dans le schéma d'aménagement ont été atteints avec seulement 2 barrages (Aspé et Vaulongue) au lieu des 3 initialement prévus, soit :

- Un débit de 5 m³/s est relâché en aval du barrage de l'Aspé ;
- Un débit de l'ordre de 45 m³/s est restitué en aval du bassin de Vaulongue.

La pertinence économique du projet sera donc assurée tant que les travaux ne dépassent pas le montant des 3 barrages pris en compte dans l'AMC, soit 6,7 M€ HT.

ANNEXE 1 ~~CARTE DES BASSINS-~~
~~VERSANTS~~ CARTOGRAPHIES

Carte 1



Carte 2