



Entente interdépartementale
Oise-Aisne

Mission de maîtrise d'œuvre

Projet d'aménagement d'une aire
d'écrêtement des crues sur le site de
Saint-Michel (02830)

Rapport d'avant-projet

01633722 | Janvier 2015 | v4





hydratec
groupe setec

Immeuble Central Seine
42-52 quai de la Rapée
75582 Paris Cedex 12

Email : hydra@hydra.setec.fr

T : 01 82 51 64 02

F : 01 82 51 41 39

Directeur d'affaire : VVL

Responsable d'affaire : VVL

N° affaire : 01633722

StMichel_AVP_Rapport_V4_2015_01_08.docx

Version	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb pages	Observations / Visa
1	29/07/2014	SPO/MBR	VVL	60	rapport minute en cours
2	15/09/2014	VVL	VVL		révision gabarit hydro-morphologique corrections remarques PV EOA
3	01/12/2014	VVL	VVL/SPO	54+annexes	ajout étude géotechnique et chiffrage
4	08/01/2015	VVL	VVL/SPO	54+annexes	prise en compte remarques PV EOA du 05/01/2015

TABLE DES MATIERES

1	SYNTHESES DES PRINCIPALES AMELIORATIONS APPORTEES A L'AVANT-PROJET INITIAL	5
2	PRINCIPE GENERAL DE L'AIRE D'ECRETEMENT	6
2.1	RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'AIRE D'ECRETEMENT	6
2.2	NATURE DES AMENAGEMENTS	6
3	CONTEXTE REGLEMENTAIRE	8
3.1	P.P.R.I	8
3.2	P.L.U.....	10
3.3	Code de l'environnement.....	10
3.4	Sécurité des ouvrages	11
3.4.1	Sismicité.....	11
3.4.2	Classement du barrage d'écrêtement des crues du Petit Gland en amont du bourg de Saint-Michel.....	12
3.4.3	Classement du mur-digue de protection locale rue de la Roche.....	12
4	RAPPEL DES RESULTATS DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE	13
5	RAPPEL DES RESULTATS DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE	16
6	DETERMINATION DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE	20
6.1	Loi de remplissage de la cuvette	20
6.2	Ecrêtement en crue cinquantennale	21
6.3	NIVEAUX D'EAU EN CRUE CINQUANTENNALE	22
6.3.1	NIVEAUX D'EAU EN CRUE CINQUANTENNALE AVEC RESSAUT LIBRE.....	22
6.3.2	NIVEAUX D'EAU EN CRUE CINQUANTENNALE AVEC DISPOSITIF DE CONTRÔLE DU RESSAUT	24
6.4	Caractéristiques du ressaut hydraulique provoqué par la chute d'eau au passage des vannes	25
6.4.1	Force et type de ressaut	25
6.4.2	Éléments caractéristiques du ressaut libre.....	25
6.4.3	Effet de l'élargissement.....	25
6.4.4	Effet des blocs dissipateurs	25
6.4.5	Coefficient de débit de l'écoulement dénoyé.....	26
6.4.6	Coefficient de contraction de l'écoulement.....	26
6.4.7	Longueur du ressaut	28
6.5	Remous provoqué par l'ouvrage.....	29
6.6	Dissipation de l'énergie en aval de l'évacuateur.....	30
7	TRANSPORT SOLIDE	31
7.1	Indicateurs hydromorphologiques.....	31
7.2	Incidence de l'ouvrage au débit morphogène	32

7.2.1	Incidence sur le remous	32
7.2.2	Incidence sur le cisaillement en fond de lit.....	32
7.2.3	Nature du transport solide.....	35
7.3	Incidence du fonctionnement de l'ouvrage en termes de dépôts dans la retenue et de risque induit d'érosion en aval.....	37
8	ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT-PROJET DE LA DIGUE DE L'AIRE D'ECRETEMENT DES CRUES DE ST MICHEL.....	38
8.1	Objet de l'étude	38
8.2	Conclusions de l'étude géotechnique d'avant-projet de la digue	38
9	ADAPTATION DES AMÉNAGEMENTS ET PLANS DES OUVRAGES.....	40
10	MONTANT DES TRAVAUX DU BARRAGE.....	43
11	MONTANT DES TRAVAUX CONNEXES	48
11.1	Rehaussement de la route de Montorieux et ouvrage de décharge	48
11.2	Réfection de l'accès rive droite et du franchissement du Petit Gland	49
11.3	Terrassements dans la cuvette.....	50
11.4	Aménagement de protection rue de la Roche à St Michel.....	51
11.5	Suppression du seuil du Moulin de la Bovette	52
11.6	Création/modification de franchissements hydrauliques.....	52
11.7	Dispositifs d'abreuvement.....	52
11.8	Aménagement des passages busés.....	53
11.9	Rehaussement de la passerelle sur le Gland au lieu-dit Les Rochettes.....	53
11.10	Synthèse des travaux connexes	54

ANNEXES

Annexe 1 : Rapport géotechnique d'avant-projet

Annexe 2 : Plans de l'ouvrage de St Michel (indice C)

1 SYNTHESES DES PRINCIPALES AMELIORATIONS APPORTEES A L'AVANT-PROJET INITIAL

Hydratec a été mandaté par l'Entente Oise-Aisne pour reprendre l'étude de conception de l'ouvrage de Saint-Michel à partir de l'avant-projet élaboré par Stucky et ayant fait l'objet de nombreuses remarques de la part des services de l'Etat.

La reprise de l'avant-projet permet :

- d'apporter des réponses aux remarques des services de l'Etat et de l'Entente Oise-Aisne,
- d'aboutir à un AVP en apportant un approfondissement sur de nombreux aspects constructifs,
- de mettre à jour l'estimation financière du projet,
- de mettre à jour le planning prévisionnel de travaux,
- de permettre l'établissement des dossiers complets de demandes DIG et DUP, des dossiers loi sur l'eau, d'enquêtes parcellaires et de servitudes et de financement.

L'étude hydrologique, déjà très complète, n'est pas modifiée. Ses résultats importants pour la conception du projet sont rappelés dans le présent rapport. Les calculs hydrauliques sur l'ouvrage lui-même et ses différents organes sont en revanche largement complétés et modifiés en fonction de la conception modifiée du pertuis vanné et du seuil déversant, dont les principaux ajustements sont les suivants :

- la partie dalot du pertuis vanné a été supprimée pour favoriser la transparence piscicole,
- les butons ont été supprimés pour éviter l'accumulation d'embâcles dans le pertuis,
- le pertuis est muni d'un resserrement en aval pour contrôler le ressaut hydraulique lié à la chute d'eau,
- le seuil déversant a été déplacé et allongé pour être compatible avec l'utilisation d'enrochements bétonnés (limitation de la charge et de la vitesse en conformité avec les recommandations de G. Degoutte)

La digue a fait l'objet d'une étude d'avant-projet géotechnique complète réalisée par Terrasol sur la base des reconnaissances précédentes et de la campagne supplémentaire réalisée par Fondasol en 2014. Les remblais de la digue seront constitués de matériaux d'apport type A1/A2 issus des matériaux des digues de l'ancienne sucrerie de Marle (02), la digue étant homogène. L'utilisation de ces matériaux est également prévue pour constituer la digue en projet de l'aire d'écrêtement de Montigny-sous-Marle. En effet les matériaux de terre de découverte issus de carrières de la région s'avèrent trop plastiques et non réutilisables en remblais (matériaux A3 ou mélange hétérogène de graves et de matériaux A3). Suivant les recommandations de Terrasol les adaptations géotechniques suivantes sont apportées suite à l'étude géotechnique d'avant-projet :

- réalisation d'un voile d'injection central sous la clef d'étanchéité à travers les schistes très fracturés de la fondation, jusqu'aux schistes moins fracturés,
- allongement du tapis drainant aval (en remontant vers l'amont),
- réalisation de puits aval de décompression au sable.

2 PRINCIPE GENERAL DE L'AIRE D'ECRETEMENT

2.1 RAPPEL DES OBJECTIFS DE L'AIRE D'ECRETEMENT

L'aire d'écrêtement de crues sur le Petit Gland à Saint Michel et la construction associée d'un mur-digue rue de la Roche le long du Gland permettront d'assurer une protection de la commune de Saint Michel jusqu'à des crues de période de retour 50 ans.

Le projet parallèle d'une aire d'écrêtement de crue à Watigny sur le Gland a été abandonné. Le débit restitué au Petit Gland en aval de l'ouvrage d'écrêtement de Saint Michel sera régulé en fonction du débit du Gland à Saint Michel pour une optimisation de la protection contre les crues du Petit Gland et du Gland.

L'aire d'écrêtement de Saint Michel participera également à la réduction du débit du Gland propagé vers l'aval (Hirson et communes riveraines de l'Oise).

2.2 NATURE DES AMENAGEMENTS

Le Petit Gland en amont de Saint-Michel draine un bassin versant de 72 km². Dans le bourg de Saint-Michel, le Petit Gland conflue avec le Gland en amont de l'abbaye. En aval de Saint-Michel, le Gland conflue avec l'Oise à Hirson.

Le bassin versant du Petit Gland est situé dans le haut bassin de l'Oise.

Le Petit Gland est classé en première catégorie piscicole et doit remplir les conditions d'un bon état écologique d'ici 2015 dans le cadre de la DCE, son équilibre est fragile. Dans le voisinage du projet, les intérêts environnementaux sont considérables. On note la présence des zones Natura 2000 suivantes : ZPS et ZICO « Forêt de Thiérache » et ZNIEFF de type 1 « Forêt d'Hirson et Saint-Michel » et « Vallée du Petit Gland ».

L'aménagement de Saint-Michel doit d'une part réduire les inondations à l'aval de l'ouvrage pour les fortes crues (Q10 à Q50) et assurer d'autre part une transparence maximale pour les basses eaux, débits courants et faibles crues et une limitation des impacts de la sur-inondation dans la zone de rétention. L'objectif de régulation est de 75 m³/s maximum sur le Gland au pont de l'abbaye à Saint Michel.

Les travaux consistent en la réalisation d'un barrage d'écrêtement des crues dont :

- la construction d'une digue transversale à la vallée d'environ 250 m et 10 m de haut dans l'axe du cours du Petit Gland, intégrant un pertuis vanné en génie civil et un déversoir de sécurité de surface implanté sur le corps de digue incluant coursier et dispositif de dissipation d'énergie en aval.
- la construction d'un local technique pour l'exploitation de l'ouvrage et la gestion de crise,
- la régulation est assurée en temps réel par un automatisme adaptant l'ouverture des vannes au débit mesuré sur le Gland au pont de l'abbaye dans le bourg de Saint-Michel,
- la retenue possède un volume utile d'environ 2 millions de m³.

Les mesures annexes consistent en :

- la construction d'un mur-digue de protection du quartier de la rue de la Roche à Saint-Michel
- le rehaussement de la route de Montorieux incluant la création d'un ouvrage hydraulique supplémentaire en rive gauche,
- la mise au gabarit de l'ouvrage hydraulique sous un chemin pour la protection d'une maison à Montorieux,
- le rétablissement des petits écoulements,
- l'aménagement ou la réhabilitation de 4 franchissements du Petit Gland dans la cuvette pour le bétail et les engins agricoles,
- le rétablissement et la création d'accès aux parcelles de la cuvette,
- la création de zones refuges pour le bétail en cas de crue,
- la mise en place de dispositifs d'abreuvement anti-contaminants dans la cuvette,
- la suppression du seuil du moulin de la Bovette,
- le rehaussement d'une passerelle sur le Gland au niveau de la ruelle du Petit Quartier à Saint-Michel (lieu-dit Les Rochettes).

Les travaux suivants seront réalisés en dehors de la mission de maîtrise d'œuvre assurée par Hydratec :

- déviation et rehausse de lignes EDF,
- reprise d'une cuve à lisier à Montorieux,
- mise en place de clôtures le long du Petit Gland,
- modification de certains baillages pour permettre la mise en sécurité du bétail sur certaines parcelles.

3 CONTEXTE REGLEMENTAIRE

3.1 P.P.R.I

La commune de Saint Michel dispose d'un Plan de Prévention du Risque inondation approuvé le 9 juillet 2010 (P.P.R.I. de la vallée de l'Oise entre Bernot et Logny-lès-Aubenton).

Sur la base d'une crue centennale théorique, ce P.P.R.I. délimite trois zones directement exposées au risque inondation : bleu (zones urbanisées inondables), orange (zones inondables avec activités économiques à ne pas reconverter en habitat) et rouge (zones les plus exposées ou d'expansion des crues).

Les terrains concernés par l'aire d'écrêtement de crues de Saint Michel sont majoritairement classés en zone rouge (zone d'expansion des crues) et partiellement hors zone inondable, les cotes d'eau atteignant pour une crue centennale les cotes 193,40 m NGF au pont de Montorieux, 190,90 m NGF en face de la culée des Chauffours et 188,50 m NGF à la Planche aux Moines.

La rue de la Roche pour laquelle le projet prévoit la réalisation d'un mur-digue de protection est classée majoritairement en zone rouge « où les inondations exceptionnelles sont redoutables en raison de l'intensité de certains paramètres physiques (hauteur d'eau, durée de submersion) » et partiellement en zone bleue. Les cotes de référence atteignent 183,70 m NGF en aval de la confluence Gland-Petit Gland et 183,40 m NGF au pont de l'abbaye.

L'article 2.2.7. autorise les travaux et installations destinés à réduire les conséquences du risque d'inondation pour les bâtiments existants, ou destinés à réduire les conséquences du risque d'inondation à l'échelle de la vallée sous réserve :

- d'une justification technique et économique du projet,
- de la mise en œuvre de mesures compensatoires si nécessaire,
- que le projet soit porté par une collectivité compétente qui en assurera la mise en place et la gestion,
- que le projet fasse l'objet d'une validation par les services de l'Etat compétents et que l'Entente interdépartementale Oise-Aisne soit consultée pour avis.

Le règlement prévoit des prescriptions pour le stockage des produits polluants ou dangereux hors d'eau ou dans des cuves lestées avec événements au moins 50 cm au-dessus de la cote centennale, ce qui sera à appliquer particulièrement en phase travaux.

Le règlement prévoit par ailleurs de maîtriser l'imperméabilisation des sols ainsi que les phénomènes de ruissellement par une bonne gestion des eaux pluviales en milieu urbain et en milieu rural et de maintenir les zones humides.

Le règlement insiste également sur la nécessité de préserver les forêts limitant le ruissellement, l'érosion, les impacts des débordements des cours d'eau et favorisant la qualité de l'eau par prélèvement racinaire des polluants, que ce soit en zone inondable ou non inondable.

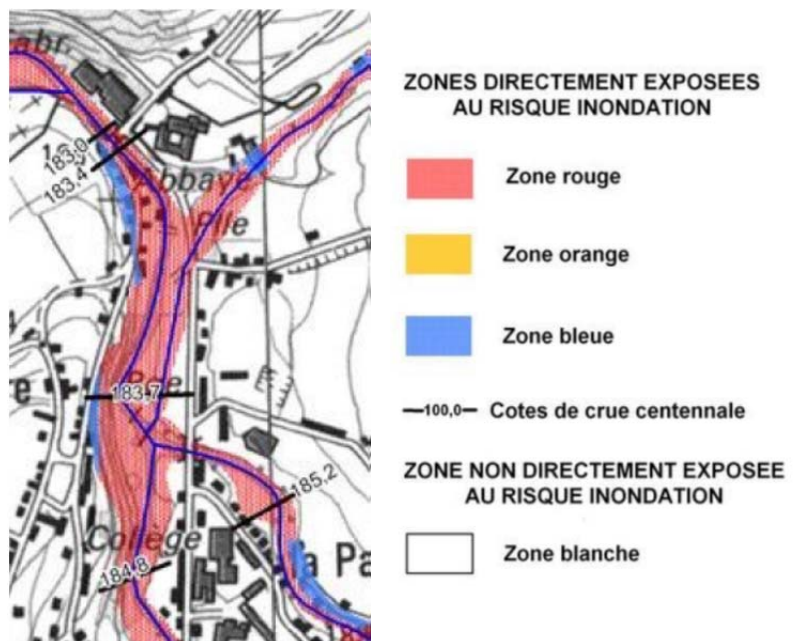
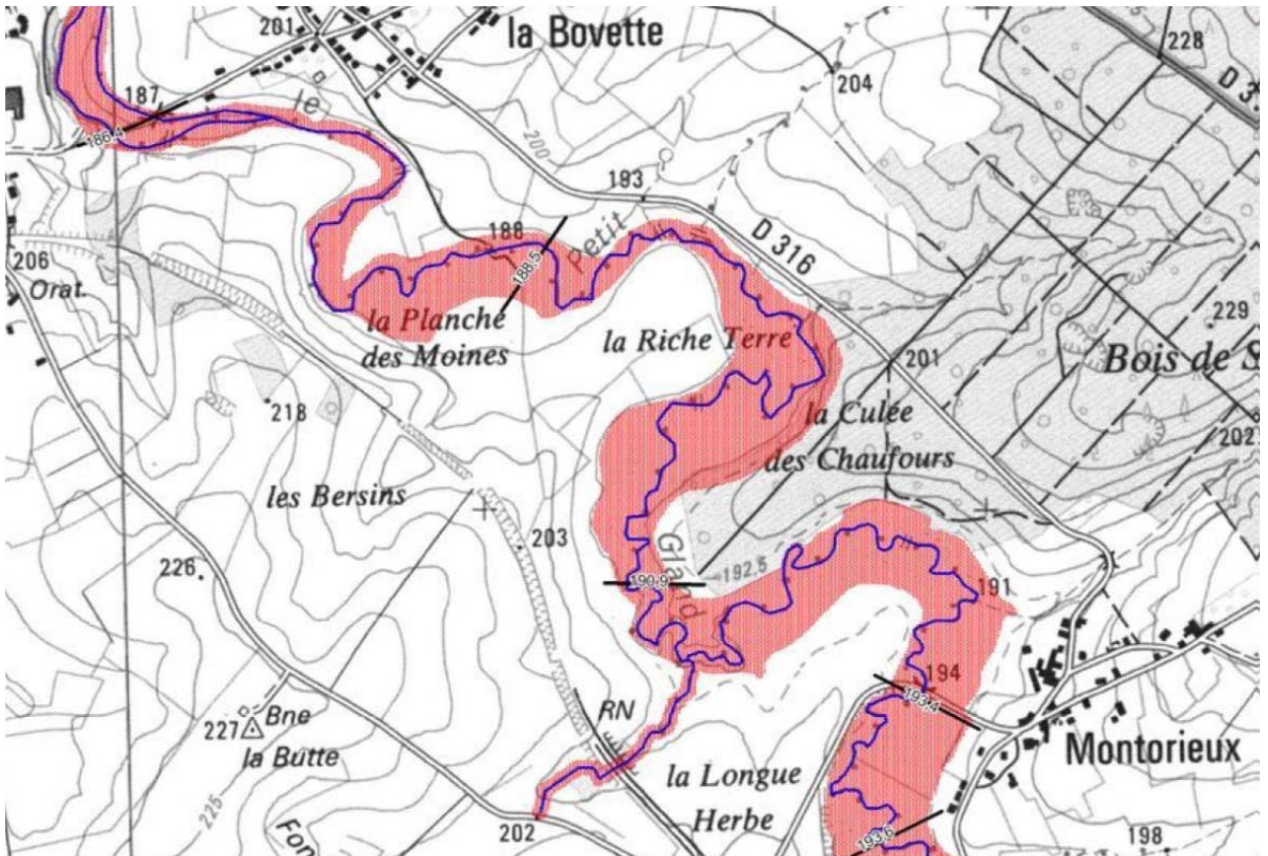


Figure 3-1 : Extraits du P.P.R.I. de Saint-Michel

3.2 P.L.U.

Le PLU a été prescrit le 17 décembre 2010. Les parcelles concernées par le projet sont situées :

- En zone NC, destinée aux activités agricoles, pour l'aire d'écrêtement (digue, cuvette, local technique), les franchissements agricoles et l'augmentation de la débitance de l'ouvrage route de Montorieux) dont zone inondable et espace boisé classé (Culée des Chauffours),
- En zone UCh (zone périphérique composée essentiellement d'habitat individuel et NDa (zone réservée aux équipements de loisirs) rue de la Roche.

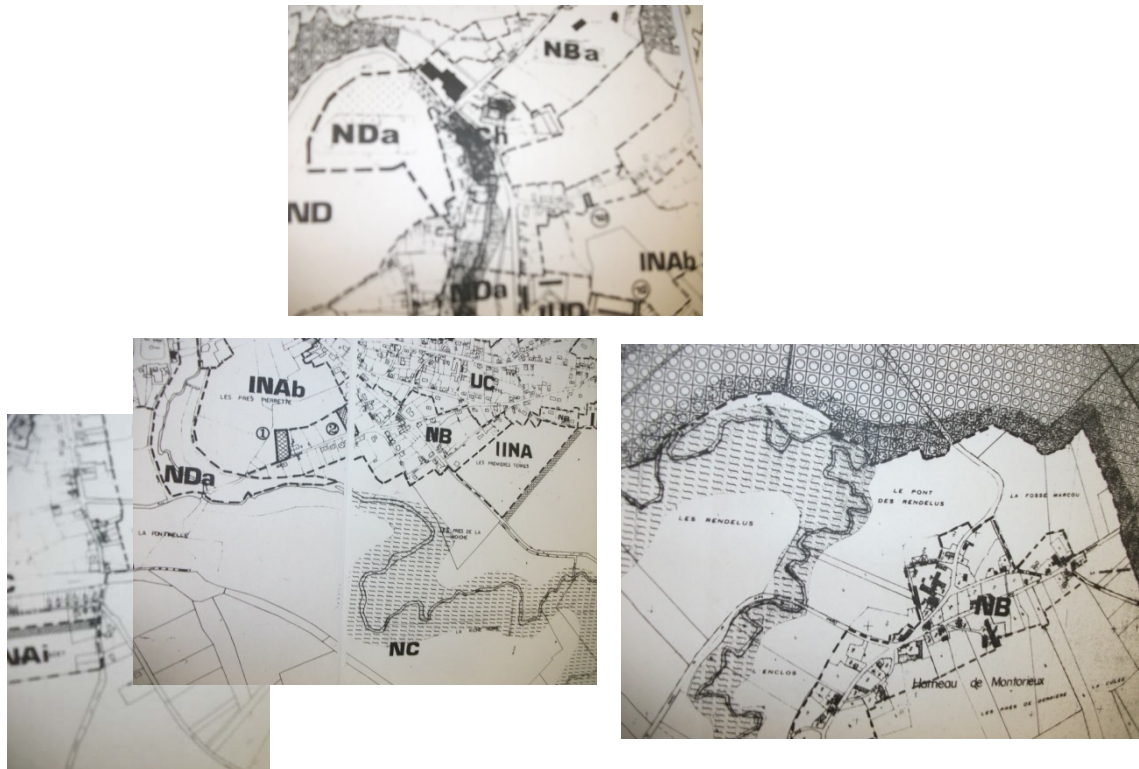


Figure 3-2 : Extraits du plan de zonage du Plan d'Occupation des Sols de Saint-Michel

3.3 CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Le SDAGE Seine-Normandie 2010-2015 constitue le plan de gestion demandé par la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) qui introduit une obligation de résultats.

Il rappelle que le code de l'environnement article L.211-1 indique que « La gestion équilibrée et durable de la ressource en eau (...) prend en compte les adaptations nécessaires au changement climatique et vise (entre autres) à assurer la prévention des inondations et la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides ». Il introduit également la notion de « gestion équilibrée » qui « doit permettre en priorité de satisfaire les exigences de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité civile et de l'alimentation en eau potable de la population », mais « également (...) de satisfaire ou concilier, lors des différents usages, activités ou travaux, les exigences :

1. de la vie biologique du milieu récepteur, et spécialement de la faune piscicole et conchylicole,

2. de la conservation et du libre écoulement des eaux et de la protection contre les inondations,

3. de l'agriculture, des pêches et des cultures marines, de la pêche en eau douce, de l'industrie, de la production d'énergie, en particulier pour assurer la sécurité du système électrique, des transports, du tourisme, de la protection des sites, des loisirs et des sports nautiques ainsi que de toutes autres activités humaines légalement exercées. »

« La Charte de l'environnement, comme le code de l'environnement, ne classe pas les objectifs et les usages par ordre d'importance, mais demande que soient conciliés des objectifs qui peuvent être divergents. La large consultation des parties prenantes prévue dans l'élaboration du SDAGE dépasse ainsi le cadre de la gestion sectorielle et technique des ressources et de l'environnement et doit permettre de formaliser, pour chacune des masses d'eaux concernées, l'équilibre demandé. »

« Le SDAGE est le document de planification de la ressource en eau au sein du bassin. » Il a une valeur juridique particulière « en lien avec les décisions administratives du domaine de l'eau et les documents d'aménagement du territoire. Les programmes et décisions administratives dans le domaine de l'eau doivent être compatibles, ou rendus compatibles avec les dispositions des SDAGE ».

Le projet d'aire d'écrêtement de crue entre dans le cadre de la protection contre les inondations. Il a été conçu de sorte à respecter les autres exigences mentionnées ci-dessus et être compatible avec :

- les objectifs de qualité et de quantité des eaux de surface continentales et côtières : maintenir les masses d'eau en bon état, voire en très bon état, ou atteindre le bon état,
- les objectifs de qualité et de quantité des eaux souterraines,
- les objectifs liés aux zones protégées (registre santé comprenant les zones désignées pour le captage d'eau destinée à la consommation humaine, registre de protection des habitats et des espèces comprenant les zones Natura 2000 et les cours d'eau désignés au titre de la directive vie piscicole, registre sur les nutriments : zones sensibles et zones vulnérables,
- les objectifs liés aux substances prioritaires et dangereuses,
- les objectifs spécifiques aux zones de protection des prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine.

3.4 SÉCURITÉ DES OUVRAGES

3.4.1 Sismicité

La commune de Saint Michel fait partie de la zone de sismicité faible (zone 2) au regard du décret du 22 octobre 2010.

3.4.2 Classement du barrage d'écrêtement des crues du Petit Gland en amont du bourg de Saint-Michel

Le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement classe l'ouvrage en catégorie C :

- H = écart d'altitude entre la crête et le terrain naturel au pied aval de l'ouvrage et au centre de la vallée¹ : 194,50 – 184,50 = 10,00 m,
- Volume correspondant à la retenue normale : 2.15 millions de m³,
- Grandeur $H^2 \times V^{0,5} = 147$: ce paramètre étant inférieur à 200, l'ouvrage est classé en catégorie C.

D'après le guide *Petits Barrages, Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi* publié par le Comité Français des Grands Barrages en 2002 sous la coordination de G. Degoutte, la crue de projet à prendre en compte d'un point de vue de la sûreté de l'ouvrage dépend également de la grandeur $H^2 \times V^{0,5}$, cf. tableau repris ci-dessous.

$H^2 \sqrt{V}$	< 5	5 à 30	30 à 100	100 à 700	> 700
Période de retour en années (crue)	100 (centennale)	500 (cinquennale)	1 000 (millennale)	5 000 (cinquillennale)	10 000 (décamillennale)

Figure 3-3 : Période de retour minimale pour la crue de projet d'un barrage en terre, compte non tenu de la vulnérabilité à l'aval (H: hauteur du barrage en m ; V : volume de la retenue en hm³), extrait du guide ci-dessus mentionné

Le paramètre $H^2 \times V^{0,5} = 147 > 100$. La prise en compte d'une crue cinquillennale est recommandée. Cette recommandation est appliquée dans le cadre de l'avant-projet.

3.4.3 Classement du mur-digue de protection locale rue de la Roche

Le décret n°2007-1735 du 11 décembre 2007 relatif à la sécurité des ouvrages hydrauliques et au comité technique permanent des barrages et des ouvrages hydrauliques et modifiant le code de l'environnement classe l'ouvrage en catégorie C :

- H = plus grande hauteur de l'ouvrage²: 182,60 – 179,98 = 2,62 m > 1 m
- Population maximale vivant dans la zone protégée : 10-12 maisons soit maximum une cinquantaine de personnes. Ce nombre est compris entre 10 et 1000 ce qui correspond à la catégorie C.

D'après ce même décret, une étude de dangers sera donc à réaliser.

¹ Les paramètres H et V sont calculés conformément à la note établie par le Cemagref (PATOUH) le 15 juillet 2008 : « Barrages - Classement et estimation des paramètres H et V en application du décret du 11 décembre 2007 »

² Les paramètres H et P sont calculés conformément à la note établie par le Cemagref (PATOUH) le 10 avril 2009 : « Détermination de la hauteur et de la zone protégée d'une digue en vue de son classement pour l'application du décret du 11 décembre 2007 »

4 RAPPEL DES RESULTATS DE L'ETUDE HYDROLOGIQUE

Les éléments hydrologiques pris en compte pour les études de conception de l'ouvrage de Saint-Michel et des aménagements annexes sont issus de l'étude hydrologique réalisée par le bureau d'études Stucky en juin 2008³ et sont rappelés ci-après.

Caractéristiques du bassin versant du Petit Gland au droit du projet de barrage écrêteur de crue

Superficie	72,8 km ²
Longueur hydraulique	21,58 km
Plage d'altitude	340 m -195 m
Pente	7 %
Temps de concentration (Kirpich)	5 h
Durée caractéristique	27 h

Débits d'étiage et moyens

Débit d'étiage QMNA5	0,08 m ³ /s
Débit minimal sur 10 jours consécutifs, période de retour 5 ans (égal à celui sur 30 jours consécutifs)	0,06 m ³ /s
Débit minimal sur 10 jours consécutifs, période de retour 10 ans (égal à celui sur 30 jours consécutifs)	0,04 m ³ /s
Débit moyen annuel ou module (année médiane)	1,2 m ³ /s
Débit moyen janvier	2,4 m ³ /s
Débit moyen février	2,1 m ³ /s
Débit moyen mars	1,8 m ³ /s
Débit moyen avril	1,3 m ³ /s
Débit moyen mai	0,8 m ³ /s
Débit moyen juin	0,6 m ³ /s
Débit moyen juillet	0,5 m ³ /s
Débit moyen août	0,3 m ³ /s
Débit moyen septembre	0,3 m ³ /s
Débit moyen octobre	0,8 m ³ /s
Débit moyen novembre	1,3 m ³ /s
Débit moyen décembre	2,3 m ³ /s
Débit moyen annuel ou module (année décennale sèche)	0,73 m ³ /s
Débit moyen annuel ou module (année décennale humide)	1,73 m ³ /s

Pluies extrêmes d'hiver

Période de retour (hiver)	Pluie 24 h (mm) – gradex 8,98 mm	Pluie 48 h (mm) – gradex 11,17 mm	Pluie 72 h (mm) – gradex 15,33 mm
5 ans	49	62	77
10 ans	55	71	89
20 ans	62	78	100
50 ans	70	89	114
100 ans	77	96	124

³ Projet d'aménagement d'aires d'écrêtement des crues sur les sites de Saint-Michel et de Watigny (02), Etude hydrologique, Stucky, juin 2008

Pluies extrêmes d'été

Période de retour (été)	Pluie 24 h (mm) – gradex 10,52 mm	Pluie 48 h (mm) – gradex 11,40 mm	Pluie 48 h (mm) – gradex 12,14 mm
5 ans	49	58	62
10 ans	57	66	72
20 ans	65	74	80
50 ans	74	85	91
100 ans	81	93	100

A la confluence du Gland et du Petit Gland dans le bourg de Saint Michel, les crues sont généralement concomitantes du fait de longueurs hydrauliques comparables malgré des tailles de bassins versants différentes : 114 km² pour le Gland et 74 km² pour le Petit Gland. Le bassin versant du Gland est composé de deux sous-bassins parallèles se rejoignant en amont immédiat de Saint-Michel : le Gland amont et l'Artoise. En cas de forte disparité spatiale ou temporelle des intensités de pluie, il est cependant possible que les pointes de crue soient décalées.

Les coefficients de pointe des crues d'hiver sont considérés égaux à ceux de l'Oise à Hirson (1,3 à 1,6 selon la durée considérée). Le coefficient de pointe d'une crue d'été est majoré sur le haut du bassin par rapport à l'Oise à Hirson (1,5).

Compte tenu de l'absence de mesures de débit sur le Petit Gland, les crues caractéristiques au droit du projet de barrage écrêteur ont été estimées par des méthodes empiriques. Après mise en œuvre des méthodes Crupedix, Meyer et SCS pour la crue de faible période de retour et des méthodes du gradex et QDF pour les crues plus rares, Stucky a finalement retenu la méthode SCS pour l'estimation des débits de période de retour inférieure ou égale à 10 ans et la méthode du gradex pour les crues plus rares.

Débits de pointe de crues d'hiver

Débit de pointe de période de retour 2 ans	16 ⁴ m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 5 ans	26 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 10 ans	30 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 20 ans	35 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 30 ans	39 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 40 ans	42 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 50 ans	45 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 100 ans	51 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 5 000 ans	90 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 10 000 ans	96 m ³ /s

Débits de pointe de crues d'été

Débit de pointe de période de retour 2 ans	3 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 5 ans	7 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 10 ans	17 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 20 ans	22 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 30 ans	28 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 40 ans	32 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 50 ans	35 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 100 ans	44 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 5 000 ans	96 m ³ /s
Débit de pointe de période de retour 10 000 ans	105 m ³ /s

⁴ cf. page 56 de l'étude hydrologique, valeur mal reportée ensuite page 64 puis dans l'étude hydraulique et l'AVP Stucky d'avril 2012.

Les hydrogrammes ont ensuite été reconstitués par Stucky selon la méthode du Comité Français des Grands Barrages en respectant les débits de pointe et volumes écoulés en 24h à l'aide de la formule :

$$q(t) = Qp \cdot \frac{2 \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^\alpha}{1 + \left(\frac{t}{D}\right)^{2\alpha}}$$

Q(t) étant le débit à l'instant t,

Qp le débit de pointe.

Les paramètres D et α ont été calés pour respecter les coefficients de pointe de durée 24 h pour les crues d'été et de durées 24h, 48 h et 72h pour les crues d'hiver : $D_{\text{été}} = 15$, $D_{\text{hiver}}=33$, $\alpha_{\text{été}}=2,5$, $\alpha_{\text{hiver}}=2,8$.

Les hydrogrammes obtenus figurent ci-dessous.

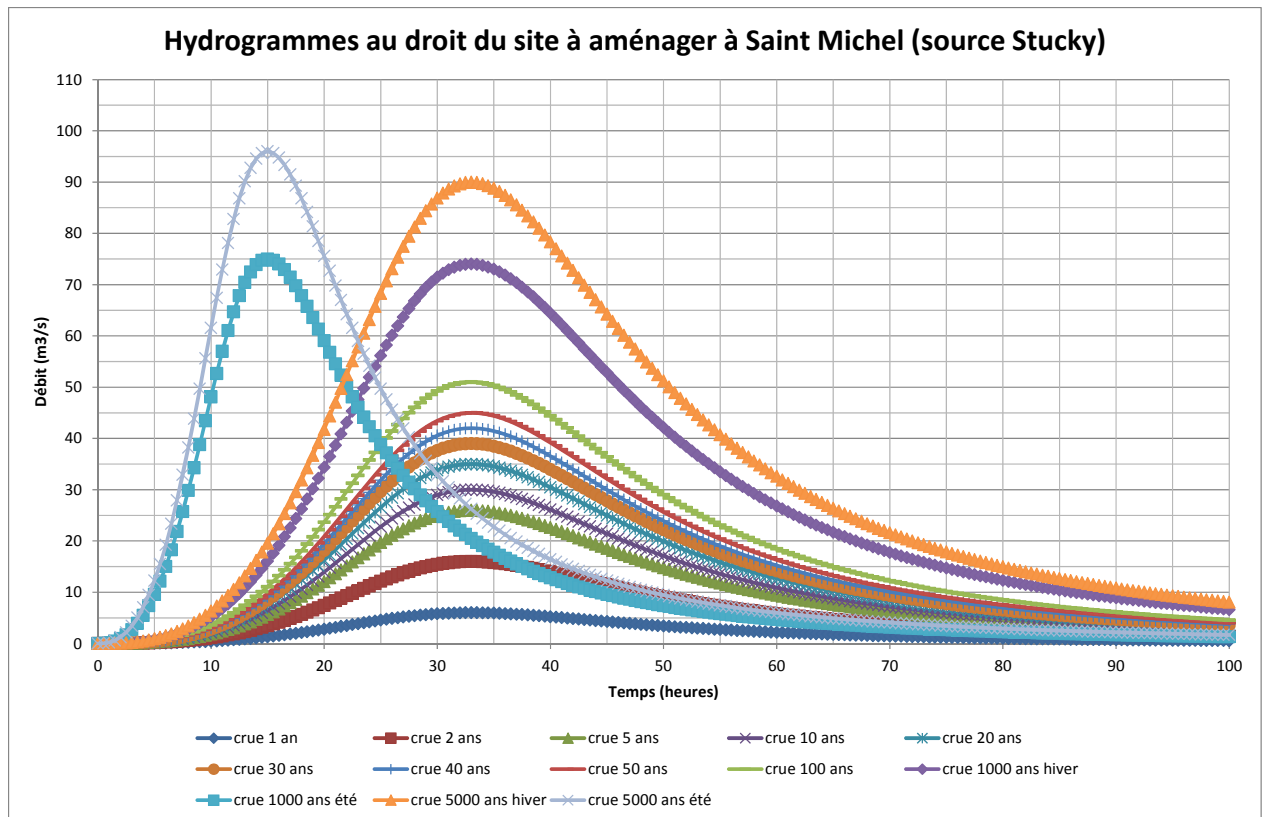


Figure 4-1 : Hydrogrammes de crue au droit du site à aménager à Saint-Michel

Les crues historiques de 1993, 1995 et 2003 ont été reconstituées à l'aide d'un modèle hydrologique par le bureau d'études Stucky. A partir du calage des hydrogrammes de crues à Hirson, les hydrogrammes au droit du site à aménager à Saint Michel (futur barrage) ont été déterminés. Ainsi il apparaît les débits de pointe suivants :

- 34 m³/s soit une période de retour 17 ans en 1993,
- 28 m³/s soit une période de retour 6 ans en 1995,
- 27 m³/s soit une période de retour 5 ans en 2003.

D'après le débit de pointe estimé à Hirson par la DREAL Picardie pour la crue de 2011 (188 m³/s), nous évaluons par ratio de superficies des bassins versants respectifs le débit de pointe au niveau du site de Saint-Michel à 40 m³/s.

5 RAPPEL DES RESULTATS DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE

Un modèle hydraulique a été mis en œuvre par Stucky pour le calcul des lignes d'eau dans la vallée du Petit Gland et dans la vallée du Gland dans l'état initial, puis a été utilisé pour le dimensionnement des aménagements (cf. Etude hydraulique, FR4020, avril 2012)

Les profils en long de la ligne d'eau obtenus dans les secteurs concernés par les aménagements sont présentés page suivante.

En complément de l'aménagement de l'aire d'écrêtement, l'aménagement de la route de Montorieux permet une augmentation de 30% de la débitance du pont et par conséquent :

- l'absence de surverse sur la route en cas de crue de période de retour jusqu'à 80 ans,
- une réduction des hauteurs d'inondation de l'ordre de 5 cm pour la crue centennale et 40 cm pour une crue trentennale sur un linéaire d'environ 300 m en amont du pont.

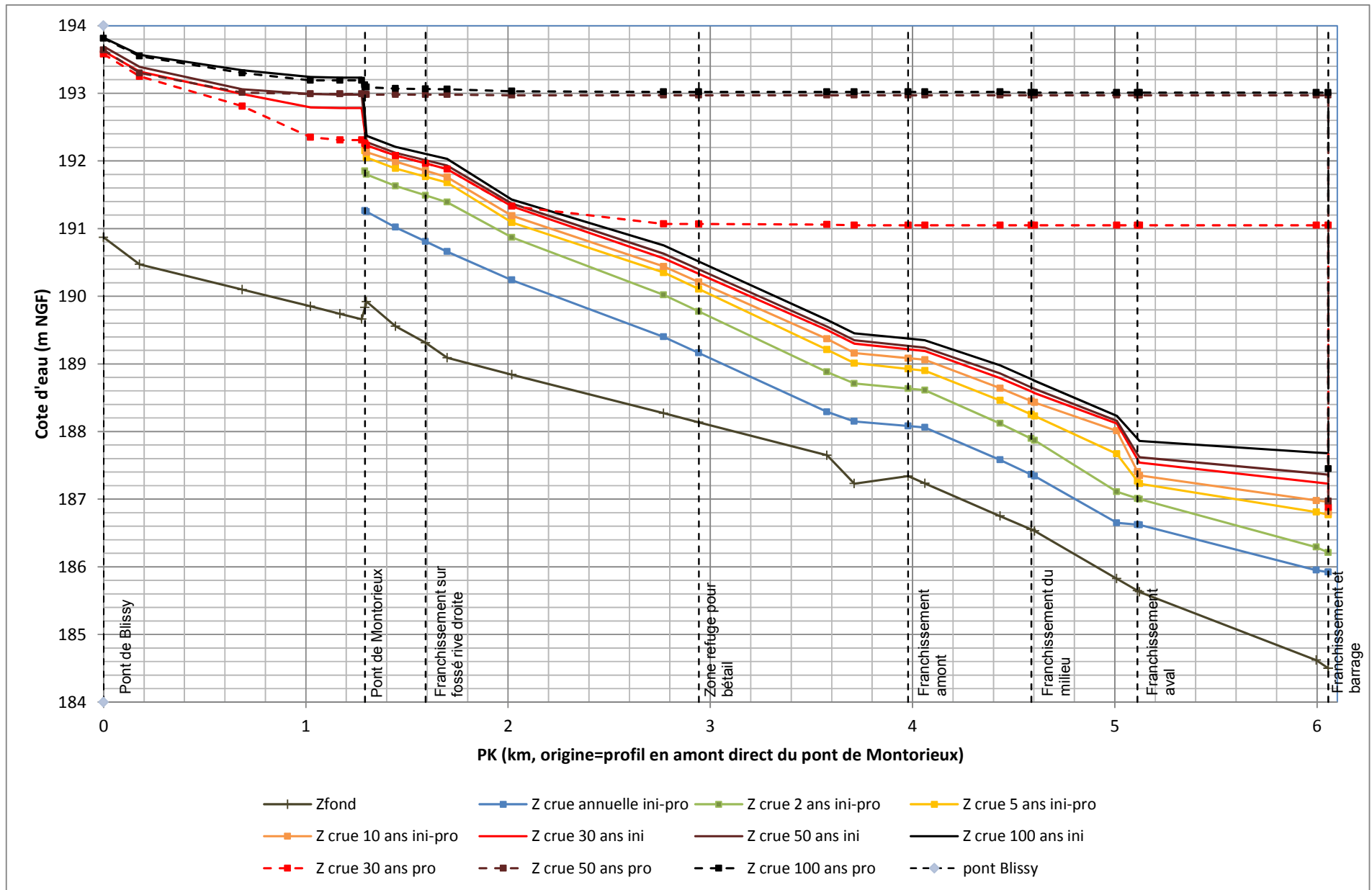


Figure 5-1 : Profils en long de lignes d'eau pour différentes occurrences de crues dans la cuvette

Projet	pk	Zfond	Z crue annuelle ini-pro	Z crue 2 ans ini-pro	Z crue 5 ans ini-pro	Z crue 10 ans ini-pro	Z crue 30 ans ini	Z crue 30 ans pro	Z crue 50 ans ini	Z crue 50 ans pro	Z crue 100 ans ini	Z crue 100 ans pro
Pont de Montorieux	0.0159	189.83	191.27	191.85	192.15	192.26	192.41	192.26	192.51	192.98	192.66	193.12
Franchissement sur fosé rive droite	0.3162	189.31	190.81	191.49	191.77	191.86	191.96	191.96	192.01	192.98	192.11	193.06
Zone de refuge pour bétail	1.6671	188.14	189.16	189.77	190.10	190.21	190.33	191.07	190.40	192.97	190.51	193.02
Franchissement amont	2.7023	187.34	188.08	188.63	188.93	189.08	189.22	191.05	189.27	192.97	189.37	193.02
Franchissement du milieu	3.311	186.55	187.36	187.89	188.25	188.45	188.59	191.05	188.65	192.97	188.77	193.01
Franchissement aval	3.8364	185.65	186.62	187.01	187.27	187.41	187.59	191.05	187.67	192.97	187.89	193.01
Franchissement et barrage	4.78	184.5	185.92	186.21	186.77	186.81	187.23	186.88	187.36	186.97	187.68	187.45

Figure 5-2 : Cotes calculées au droit des projets dans la cuvette pour différentes crues

Stucky a ensuite complété le modèle hydraulique global réalisé pour l'étude hydraulique de l'aire de surstockage de Saint-Michel par six profils en travers pour affiner le calcul des lignes d'eau dans le secteur de la rue de la Roche. A partir des résultats de Stucky, nous avons estimé les lignes d'eau pour différents débits de crue en prenant en compte l'aménagement d'un nouveau pont au niveau de l'abbaye, en lieu et place de l'ancien, engendrant une réduction de la perte de charge locale.

Le débit de protection en rive gauche visé est de 75 m³/s, correspondant au débit régulé par l'ouvrage d'écrêtement en projet sur le Petit Gland additionné au débit de crue du Gland à la confluence du Gland et du Petit Gland, en amont de la rue de la Roche. Une revanche de 30 cm est par ailleurs prise en compte. Le débit de protection effectif sera ainsi de l'ordre de 85 m³/s.

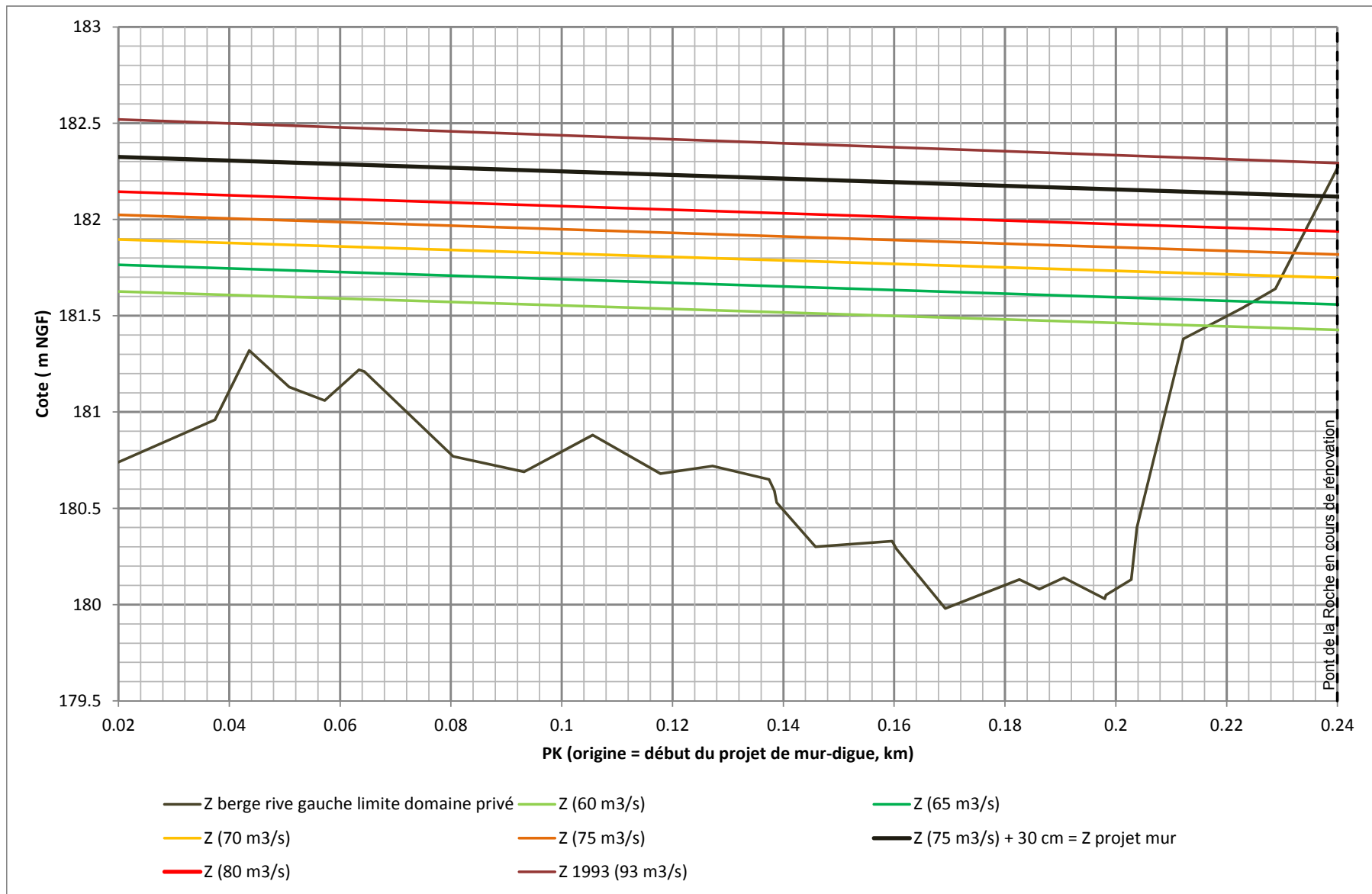


Figure 5-3 : Profil en long des lignes d'eau et du projet de mur-digue de protection locale rue de la Roche

6 DÉTERMINATION DU FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE

6.1 LOI DE REMPLISSAGE DE LA CUVETTE

Le volume de la retenue a été établi par Stucky. Le volume à retenue pleine (RN=193.00m NGF) est de 2.15 Mm³ d'après les graphiques donnés par Stucky dans le rapport AVP.

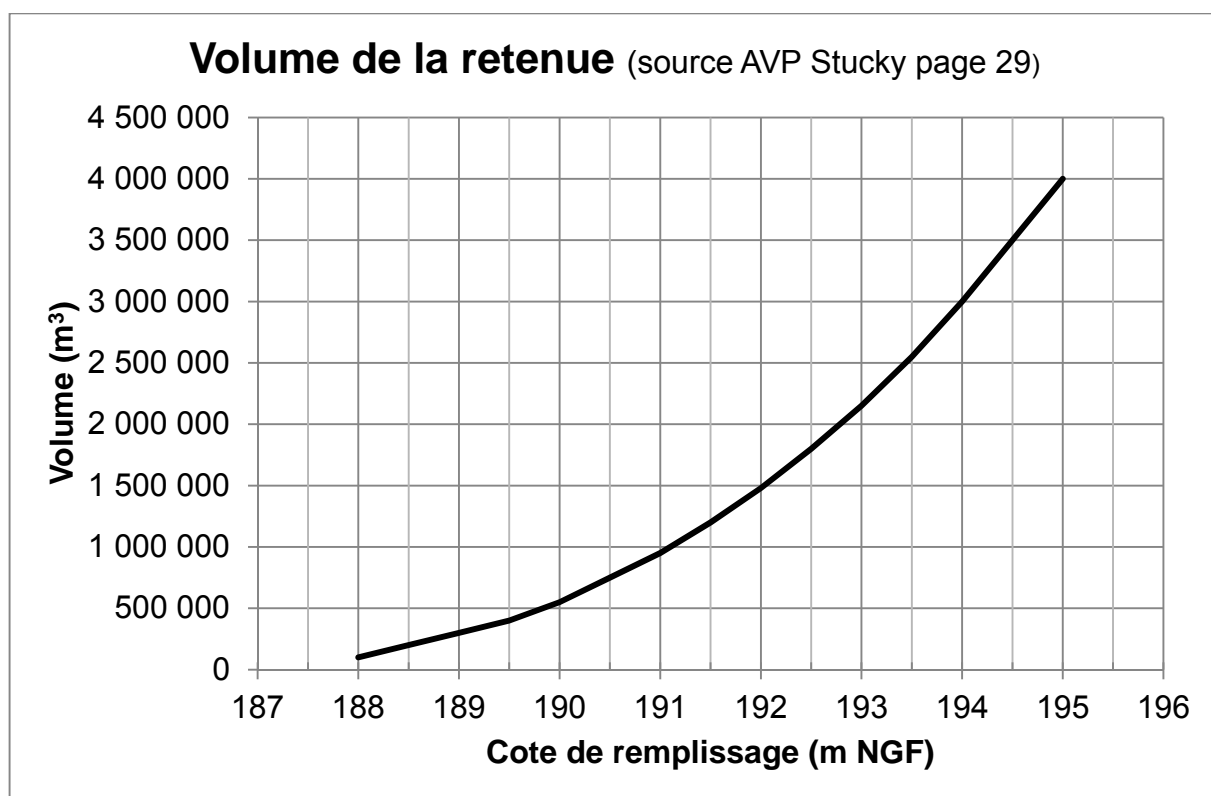


Figure 6-1 : Loi de remplissage cote-volume de la retenue (source Stucky)

Le volume utile est inférieur au volume théorique car il faut lui retrancher le volume naturel d'expansion de la crue avant écrêtement. Le volume utile a été calculé par Stucky à 1 918 000 m³ pour la crue d'hiver de période de retour 50 ans. Le volume net débordé naturellement dans la retenue est donc de 2 150 000 m³ - 1 918 000 m³ = 232 000 m³ pour cette crue.

Ce volume d'expansion sans aménagement est cohérent d'une part avec le débit de débordement généralisé évalué à 23 m³/s par Stucky et d'autre part avec les répartitions surfaciques des hauteurs de submersion dans la cuvette qui ont été également calculées par Stucky.

0<h<0.5m	0.5m<h<1m	h>1m
21 ha	11 ha	6 ha

Il convient de noter que la vérification du calcul de volume de retenue sur la base du plan AVP, faite par Hydratec en supposant une retenue parfaitement horizontale, donne un volume de 2.04 Mm³ qui est légèrement inférieur au volume retenu par Stucky, l'écart étant de -2%.

Cet écart est probablement dû à la pente de la ligne d'eau qui n'est pas en réalité tout à fait nulle en fin de remplissage et permet un surstockage supplémentaire au-dessus du niveau de RN, notamment en queue de retenue.

Nous pouvons en conclure que les hypothèses volumétriques de Stucky sont valides et peuvent être conservées par la suite.

6.2 ECRETEMENT EN CRUE CINQUANTENNALE

Afin de déterminer le fonctionnement hydraulique du pertuis vanné, les résultats d'écrêtement établis par Stucky sont utilisés en données d'entrée.

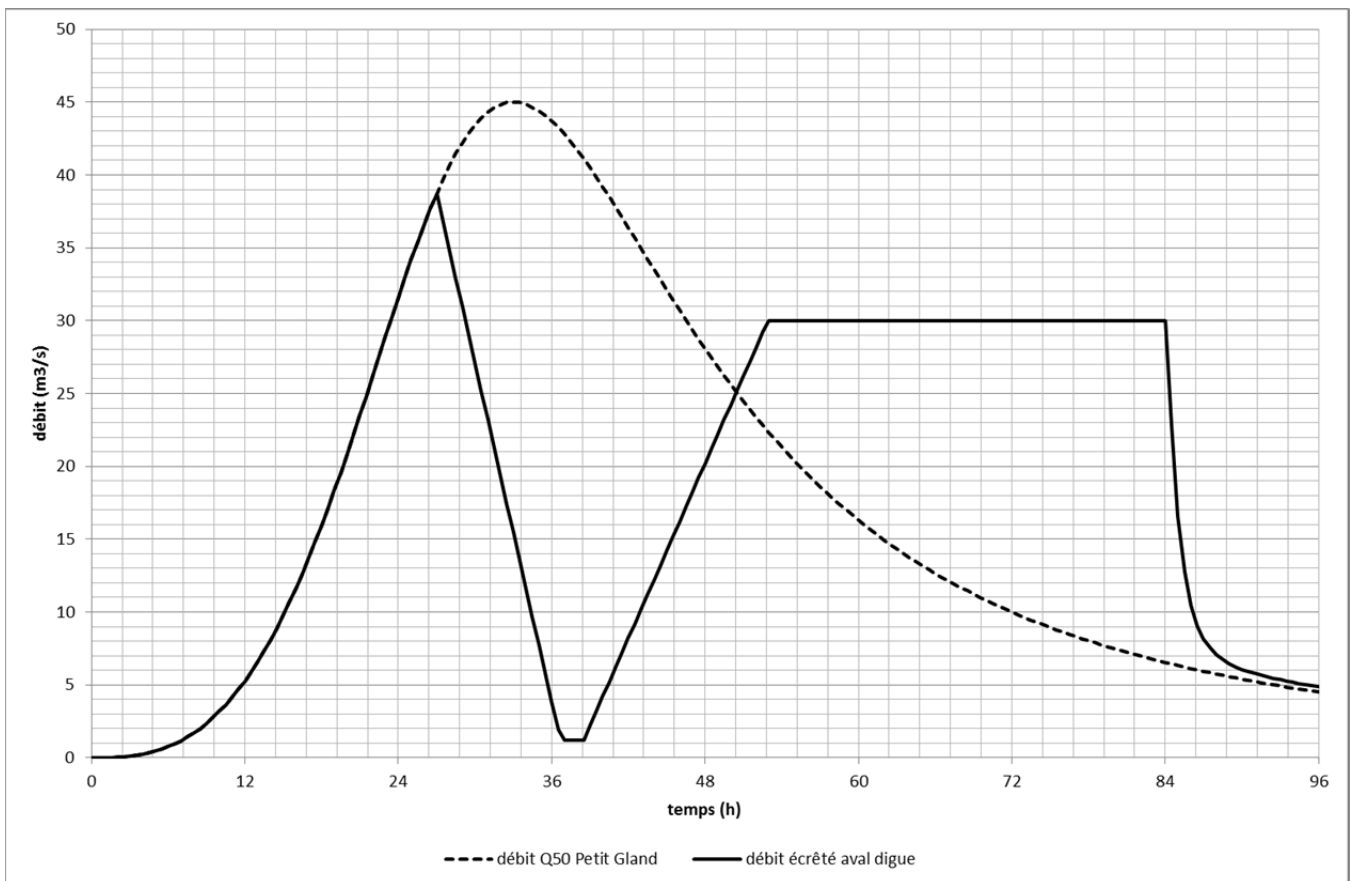


Figure 6-2 : Ecrêtement en crue cinquantennale

L'écrêtement dure environ 24 heures ; il est suivi d'une vidange constante à 30 m³/s. Pendant la phase d'écrêtement on constate une baisse linéaire de débit d'environ 38m³/s à un minimum fixé à la valeur du module égale à 1.2 m³/s, un court palier à ce débit minimum, puis une remontée progressive à 25 m³/s en fin d'écrêtement. Le palier de vidange à 30 m³/s est atteint progressivement peu après la phase d'écrêtement et dure environ 32h. Pour les besoins de l'étude de fonctionnement hydraulique les valeurs du débit d'écrêtement sont lissées par rapport aux valeurs brutes Stucky.

6.3 NIVEAUX D'EAU EN CRUE CINQUANTENNALE

6.3.1 NIVEAUX D'EAU EN CRUE CINQUANTENNALE AVEC RESSAUT LIBRE

Les niveaux d'eau juste en amont et en aval de la retenue sont donnés sur la figure suivante, pour un pertuis de 6,8m de largeur au plafond, et en l'absence de tout dispositif de contrôle du ressaut en aval (ressaut libre).

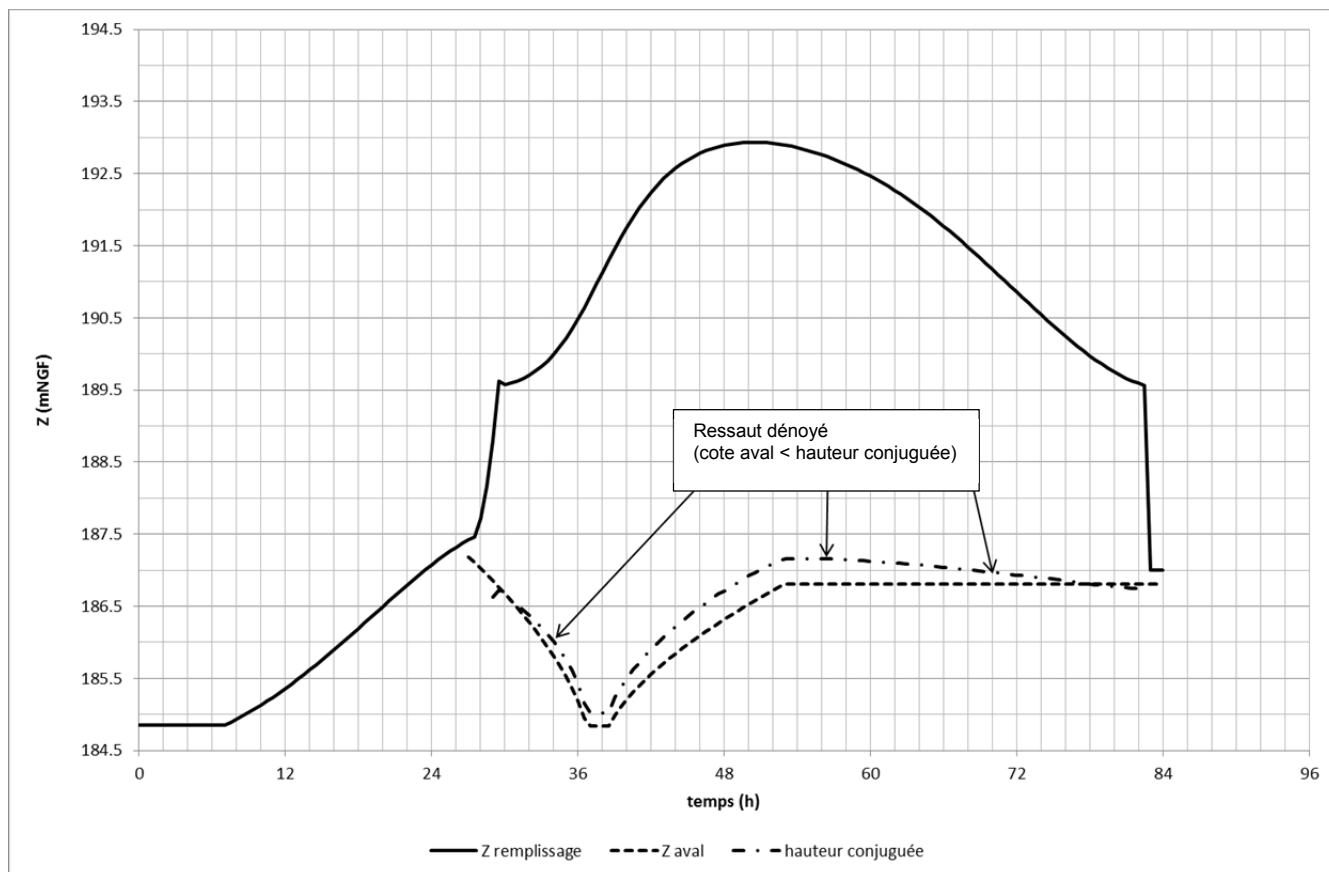


Figure 6-3 : Niveaux d'eau en crue cinquantennale avec ressaut libre

Le niveau d'eau amont augmente au rythme d'environ 50cm/h pendant les 8 premières heures, puis son augmentation diminue au rythme de 20cm/h au cours des 10 heures suivantes.

Le maximum de remplissage est atteint environ 24 heures après le début de l'écrêtement.

En vidange la descente de l'eau se fait à la vitesse d'environ 10cm/h jusqu'à la cote 191 m NGF environ puis s'accélère nettement pour avoisiner 50cm/h en deuxième partie de vidange. La durée de la vidange est d'environ 1,5 jour. L'ensemble du processus, avec un palier de vidange à 30m³/s, est d'environ 2,5 jours sur la base de l'hydrogramme théorique cinquantennal.

Du fait de l'importante réduction de débit nécessitée par l'écrêtement, le niveau d'eau aval baisse très fortement pour atteindre un minimum (débit quasi nul maintenu à la valeur du module inter-annuel) 8 à 10h après le début de remplissage, puis remonte à nouveau jusqu'à se stabiliser à la valeur de la cote imposée par le débit de vidange constant à 30 m³/s ($Z_{aval} \approx 186.8$ m NGF).

En tout début du processus d'écrêtement l'écoulement reste fluvial tant que la vanne n'a pas assez pénétré dans l'eau puis dans un premier temps le ressaut se forme mais reste noyé par l'aval. Moins de deux heures après le début de l'écrêtement le ressaut est dénoyé. En toute fin de processus de vidange le ressaut perd de sa force puis devient noyé, avant que l'écoulement ne redevienne fluvial d'amont en aval.

En dehors de ces courtes périodes en début et fin de processus, on constate que :

- Les vannes fonctionnent en charge et l'écoulement est torrentiel au passage sous les vannes : un ressaut hydraulique se forme en aval,
- **Le ressaut hydraulique est dénoyé et la hauteur conjuguée excède largement la hauteur d'eau aval.**

Il en résulte que la position du ressaut hydraulique n'est pas stable en aval de la vanne et que ce dernier va se déplacer vers l'aval avec un risque de forte érosion du fond du lit de la rivière en aval du pertuis. C'est pourquoi une solution alternative avec rétrécissement aval pouvant stabiliser le ressaut juste en aval des vannes, et donc avant d'atteindre l'extrémité du pertuis, a été étudiée.

6.3.2 NIVEAUX D'EAU EN CRUE CINQUANTENNALE AVEC DISPOSITIF DE CONTRÔLE DU RESSAUT

Les niveaux d'eau juste en amont et en aval de la retenue sont donnés sur la figure suivante, pour un pertuis de 6,8m de largeur au plafond, et en présence d'un dispositif de contrôle du ressaut en aval :

- rétrécissement local aval de 3.8 m de largeur forçant le passage par une section hydraulique critique : l'écoulement est contrôlé par l'aval et le ressaut, dans lequel se produit l'essentiel de la dissipation d'énergie due à la chute provoquée par le barrage, est confiné à l'amont du rétrécissement,
- mise en place de blocs dissipateurs permettant de réduire la puissance de l'écoulement.

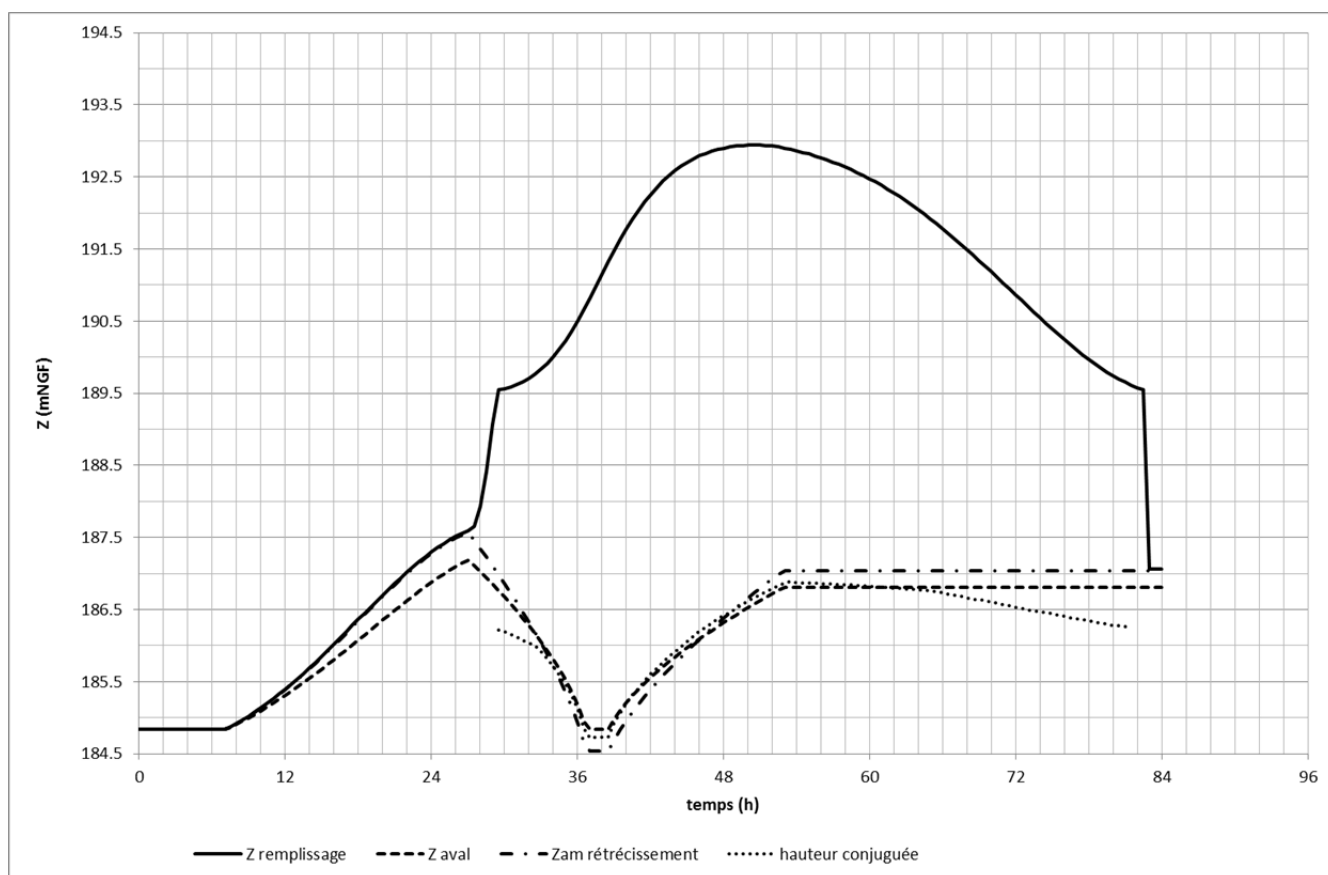


Figure 6-4 : Niveaux d'eau en crue cinquantennale avec ressaut contrôlé

Le dispositif de contrôle du ressaut l'ayant stabilisé, il sera possible, par l'intermédiaire d'une mesure de niveau aval, d'évaluer approximativement le débit transité par l'ouvrage.

Des éléments complémentaires sur la formation du ressaut hydraulique sont donnés au paragraphe suivant.

6.4 CARACTERISTIQUES DU RESSAUT HYDRAULIQUE PROVOQUE PAR LA CHUTE D'EAU AU PASSAGE DES VANNES

Nota : les formules hydrauliques sont pour l'essentiel tirées de HAGER,W.H., SCHLEISS,A.J. (2009) CONSTRUCTIONS HYDRAULIQUES Ecoulements stationnaires, Traité de génie civil de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, volume 15.

6.4.1 Force et type de ressaut

La force du ressaut est caractérisée suivant le nombre de Froude amont :

Nombre de Froude amont Fr_1 :

- $1 < Fr_1 < 1.7$ ressaut ondulé
- $1.7 < Fr_1 < 2.5$ ressaut faible
- $2.5 < Fr_1 < 4.5$ ressaut oscillant
- $4.5 < Fr_1 < 19$ ressaut stationnaire
- $Fr_1 > 9$ ressaut fort.

6.4.2 Eléments caractéristiques du ressaut libre

Les éléments caractéristiques du ressaut hydraulique libre en canal rectangulaire sont les suivants :

- Longueur du ressaut : $L_j = (35 (Fr_1)^{0.5}) / (8 + Fr_1)$
- Longueur du rouleau : $L_r = 5.2 h_1 (h_2/h_1 - 1)$
- Hauteur conjuguée : $Y = h_2/h_1 = 0.5 \times ((1 + 8 Fr_1^2)^{0.5} - 1)$
- Dissipation relative d'énergie $\eta = E_2 - E_1 / E_1 = (1 - 2^{0.5} / Fr_1)^2$

6.4.3 Effet de l'élargissement

Dans le cas de notre ouvrage le pertuis s'élargit légèrement en aval de l'extrémité de la pile (du fait de la longueur limitée de la pile par rapport à la position et la longueur du ressaut): la largeur passe de 6m au passage sous les vannes à 6.8m. Selon Hager du fait de cet élargissement les valeurs de η et de Y deviennent avec $\beta = 6.8/6 = 1.133$:

- $Y = h_2/h_1 = 0.5/\beta^{0.5} \times ((1 + 8 Fr_1^2)^{0.5} - 1)$
- $\eta = E_2 - E_1 / E_1 = (1 - (2/\beta)^{0.5} / Fr_1)^2$

6.4.4 Effet des blocs dissipateurs

L'ajout d'une rangée de blocs de dissipation permet d'augmenter η d'environ 5% avec une diminution corrélative d'environ 11% de la hauteur conjuguée du ressaut. L'effet d'une deuxième rangée de blocs est considérée comme plus faible mais n'est pas quantifiée dans la littérature. En première approche nous avons considéré pour deux rangées :

- $Y = h_2/h_1 = 0.89^{1.5} \times 0.5/\beta^{0.5} \times ((1 + 8 Fr_1^2)^{0.5} - 1) = 0.84 \times 0.5/\beta^{0.5} \times ((1 + 8 Fr_1^2)^{0.5} - 1)$
- $\eta = E_2 - E_1 / E_1 = 1.05^{1.5} (1 - (2/\beta)^{0.5} / Fr_1)^2 = 1.076 (1 - (2/\beta)^{0.5} / Fr_1)^2$

Ce qui donne un gain d'efficacité diminué de moitié pour la deuxième rangée par rapport à la première.

6.4.5 Coefficient de débit de l'écoulement dénoyé

La relation hauteur amont (h_{amont}), débit, ouverture (a), pour une vanne de largeur (b), s'écrit :

$$Q = C_d a b (2 g h_{\text{amont}})^{0.5} \text{ avec } C_d \text{ coefficient de débit}$$

Ce coefficient dépend du ratio $A = a/h_{\text{amont}}$:

$$C_d = C_{d0} \exp[-A/2 (1-d^2/6)]; C_{d0} = \zeta [(4+5 e^{-0.76\delta})/9] \text{ ou } \zeta = 0.98 \text{ pour les vannes plates}$$

6.4.6 Coefficient de contraction de l'écoulement

La hauteur amont h_1 résulte de la contraction de l'écoulement C_c sous les vannes :

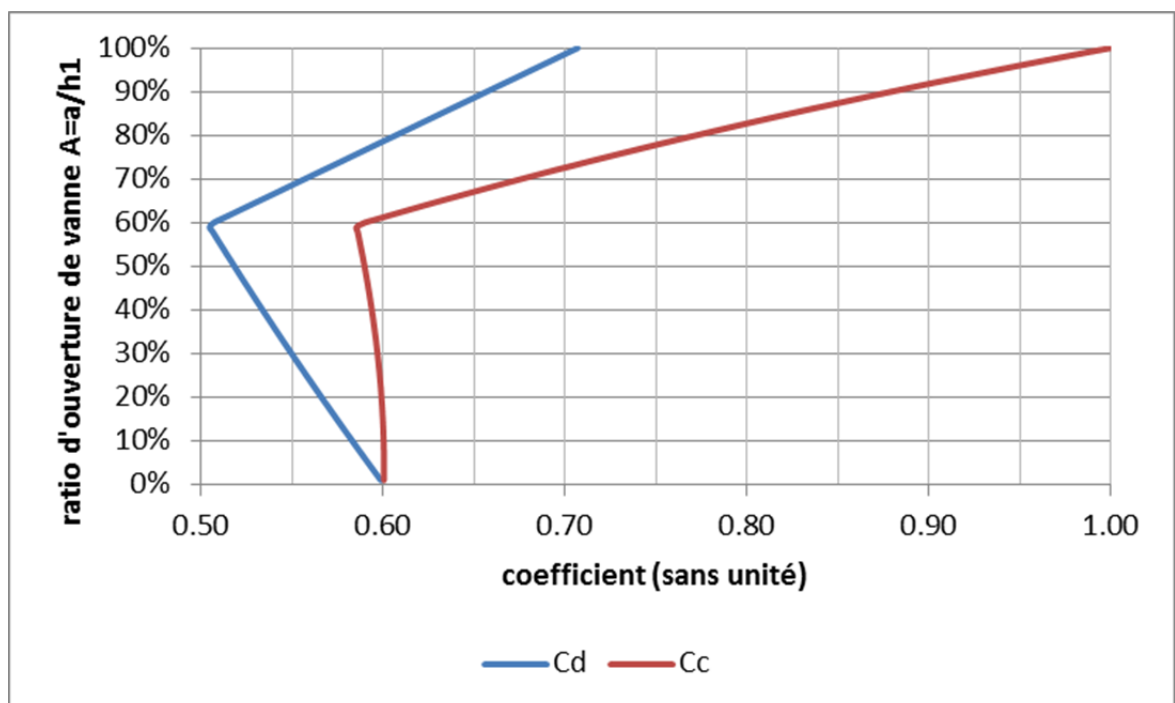
$$h_1 = C_c a.$$

$$\text{Pour } A < 0.6, C_c \text{ est donné par } C_c = 1/2 A C_d^2 [1 + (1 + (2/(A C_d))^2)^{1/2}]$$

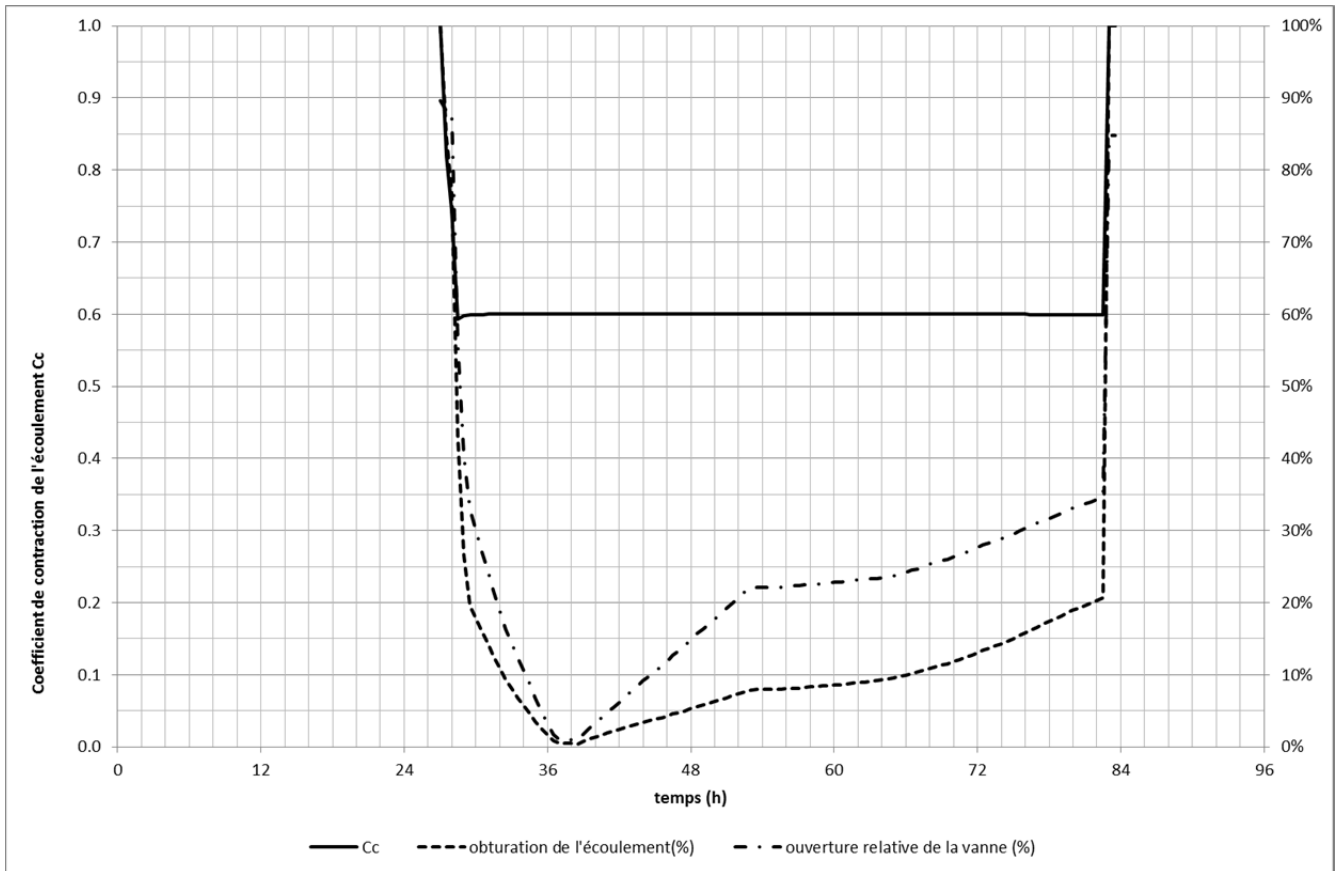
On peut également écrire :

$$C_d = C_c / (1 + C_c a / h_{\text{amont}})^{0.5} = C_c / (1 + C_c A)^{0.5}$$

Pour les grandes ouvertures de vanne soit $1 < A < 0.6$, on fait l'hypothèse que C_d varie linéairement entre 0.507 et 0.71 ce qui correspond à une variation de C_c entre 0.59 et 1.

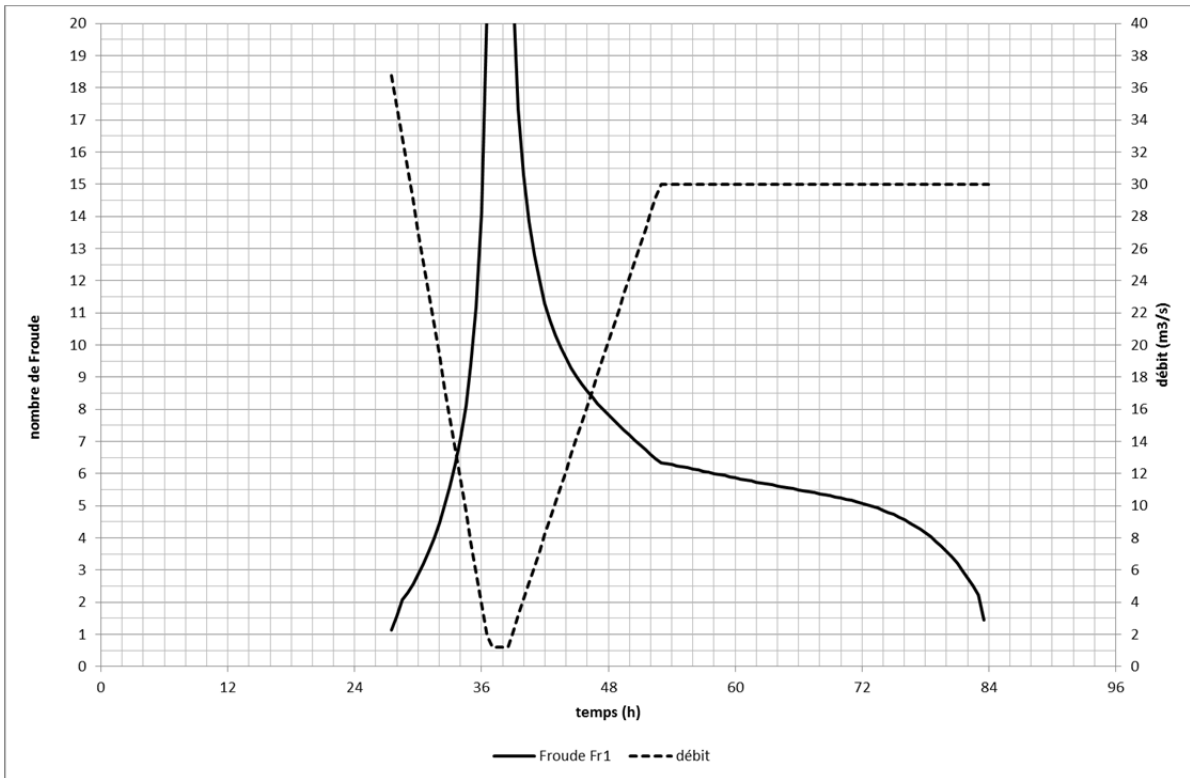


Le coefficient C_c a été calculé au passage de la crue cinquantennale.



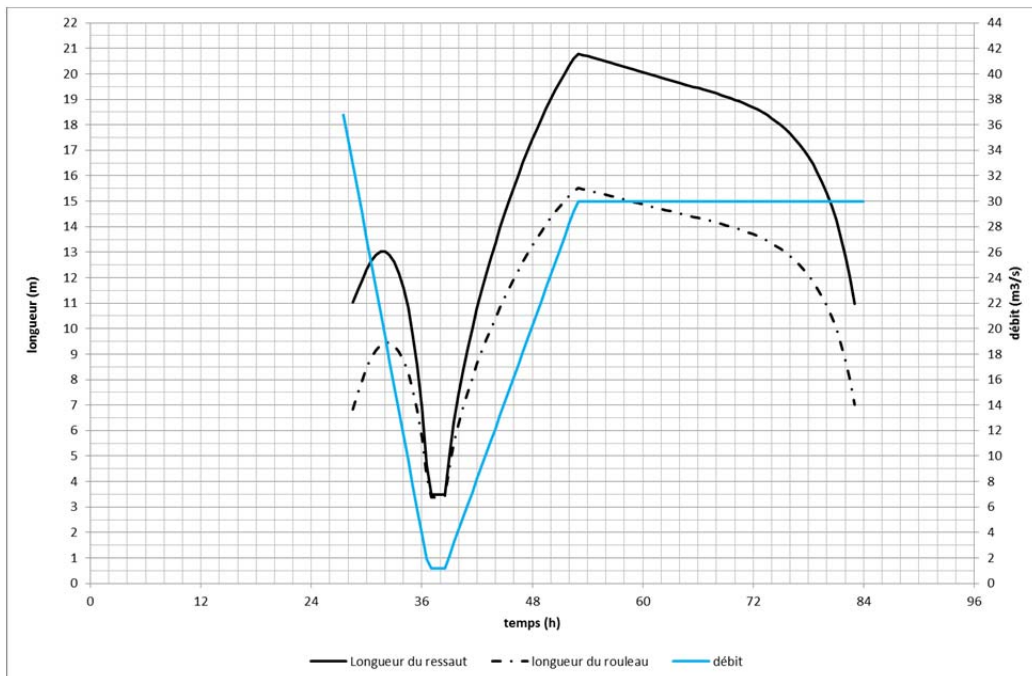
Le coefficient de contraction s'établit rapidement à une valeur proche de 0.6, après une courte phase de contraction progressive pendant la mise en charge, et se maintient ainsi pendant la quasi-totalité du processus. Soit à l'ouverture de la vanne, la profondeur amont h_1 du ressaut est égale à $C_c \times a$.

La figure suivante donne ensuite, pour le passage de la crue 50 ans, la variation de débit d'une part et du nombre de Froude d'autre part. Il apparaît que le ressaut passe par tous les stades, du ressaut ondulé au ressaut fort, puis en sens inverse.



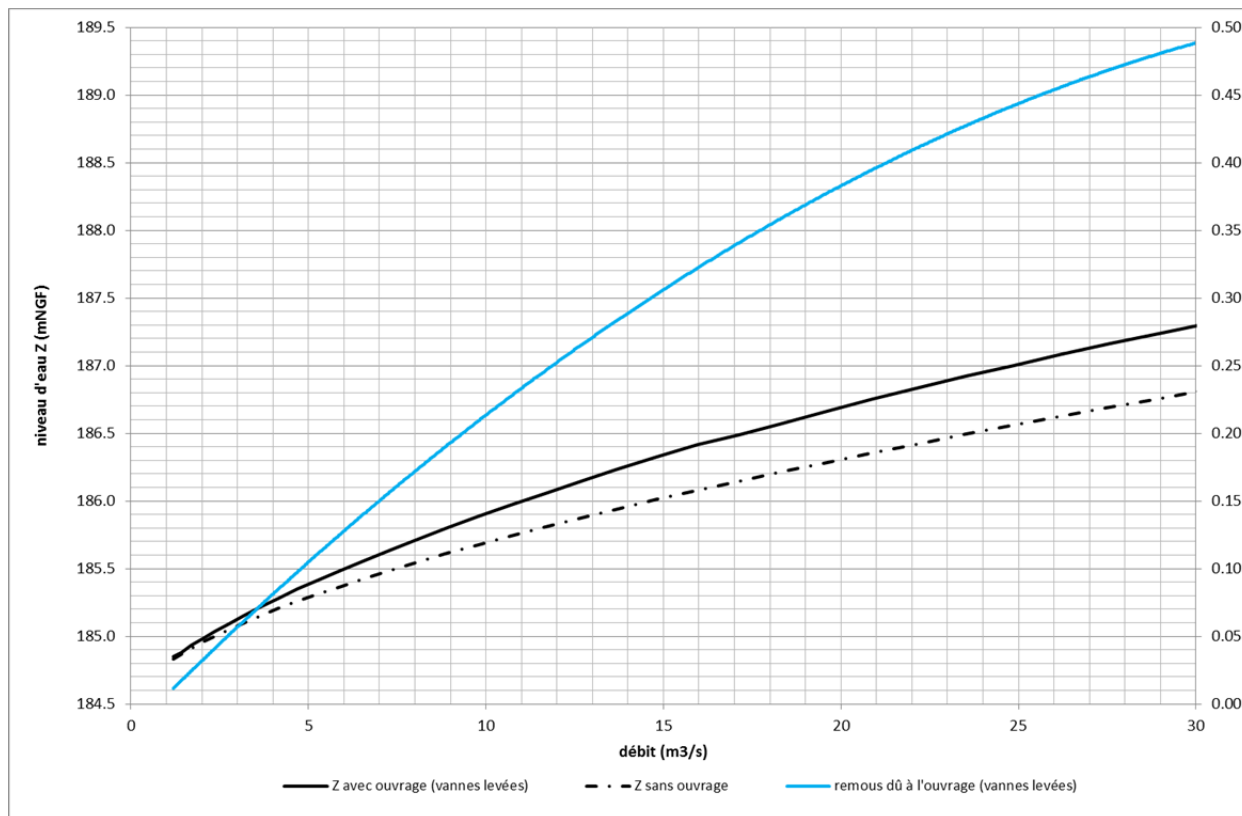
6.4.7 Longueur du ressaut

La figure suivante donne la longueur du ressaut et la longueur du rouleau. A son maximum de puissance le ressaut fait plus de 20m de longueur pour un rouleau de 15m de long.



6.5 REMOUS PROVOQUE PAR L'OUVRAGE

Le remous calculé par l'ouvrage a été calculé pour le projet modifié avec rétrécissement aval. Il intègre l'effet du resserrement aval mais aussi l'effet de la pile du pertuis et le l'incidence du rétrécissement du pertuis lui-même.



En référence à l'hydrologie du Petit Gland (cf. étude hydrologique Stucky – 2008) au droit du site de St Michel, les valeurs de remous sont les suivantes pour les différents débits caractéristiques.

Situation hydrologique	Valeur de débit (m ³ /s)	Remous provoqué par l'ouvrage
module	1.2 m ³ /s	1.6 cm
débit mensuel max (jan)	2.4 m ³ /s	3.5 cm
débit minimal de crue annuelle observée (Q1)	6 m ³ /s	13 cm
débit morphogène selon Fluvial IS	10 m ³ /s	21 cm
débit de crue d'hiver annuel (Q2)	16 m ³ /s	32 cm
débit de crue d'hiver 5 ans (Q5)	26 m ³ /s	45 cm
débit de crue d'hiver 10 ans (Q10)	30 m ³ /s	49 cm

L'effet de remous sur les débits courants est négligeable. L'effet de remous reste modéré sur une crue morphogène (de l'ordre de 20cm). L'effet de remous devient plus significatif pour les crues plus fortes (jusqu'à 50cm en crue décennale) mais ces crues sont déjà débordantes dans la vallée. Au-delà la cuvette se remplit par mise en action de l'ouvrage d'écêtement.

6.6 DISSIPATION DE L'ENERGIE EN AVAL DE L'EVACUATEUR

L'évacuateur débite jusqu'à $1,7\text{m}^3/\text{s}$ par mètre linéaire de déversoir, en crue 5000 ans, sous la charge maximale établie à 194.00m IGN 69.

Le fond de la fosse de dissipation est calé 3.5m en dessous à la cote 190.50m. En négligeant les pertes de charge entre l'amont et le pied de la chute on obtient une hauteur amont de ressaut en pied de fosse h_1 égale à 0.21m, une vitesse v_1 de 8m/s et un nombre de Froude de 5,6. La hauteur conjuguée h_2 vaut 1.56m, pour une vitesse aval de 1.1m/s dans la fosse, et correspond au niveau 192.06m.

Le contre-seuil calé à la cote 191.50 engendre une hauteur minimal amont de 0.70m (charge totale 1m=70cm d'eau plus 30cm de charge cinétique) correspondant au niveau 192.29m. Le ressaut sera donc noyé par l'aval et stabilisé dans la fosse. La hauteur de submersion en amont du ressaut s'établira environ à 0.67m soit à la cote 191.17m (qui reste bien inférieure à la cote de déversement 193.00 m NGF donc le déversoir sera bien totalement dénoyé) : elle permet de diminuer légèrement la vitesse en pied de chute à environ 7.5m/s qui est inférieure à la vitesse maximale recommandée de 8m/s sur des enrochements bétonnés.

7 TRANSPORT SOLIDE

7.1 INDICATEURS HYDROMORPHOLOGIQUES

L'aménagement a fait l'objet d'une expertise par Fluvial IS en novembre 2009. Les indicateurs hydromorphologiques pour l'ensemble du linéaire sont en moyenne, sur la base d'une profondeur moyenne du lit de 2m et d'une largeur moyenne du lit de 8.3m :

- Débit de la crue morphogène : 10 m³/s,
- Puissance fluviale spécifique : 14 W/m²,
- Taille maximale des matériaux entraînés : 7mm.

Hydratec a réévalué ces indicateurs en amont de l'ouvrage pour prendre en compte :

- une pente d'environ 1.9/1000 en amont de l'ouvrage,
- une largeur en tête du cours d'eau d'environ 5.5m (car l'observation montre que la largeur du cours d'eau est comprise entre 5 et 6m environ).

Les indicateurs hydromorphologiques deviennent, en amont de l'ouvrage écrêteur :

- Débit de la crue morphogène : 6.6 m³/s,
- Puissance fluviale spécifique : 17 W/m²,
- Taille maximale des matériaux entraînés : D₇₅≈4 mm.

Cette dernière valeur correspond à la granulométrie du fond de lit qui ne serait pas mis en mouvement au débit morphogène.

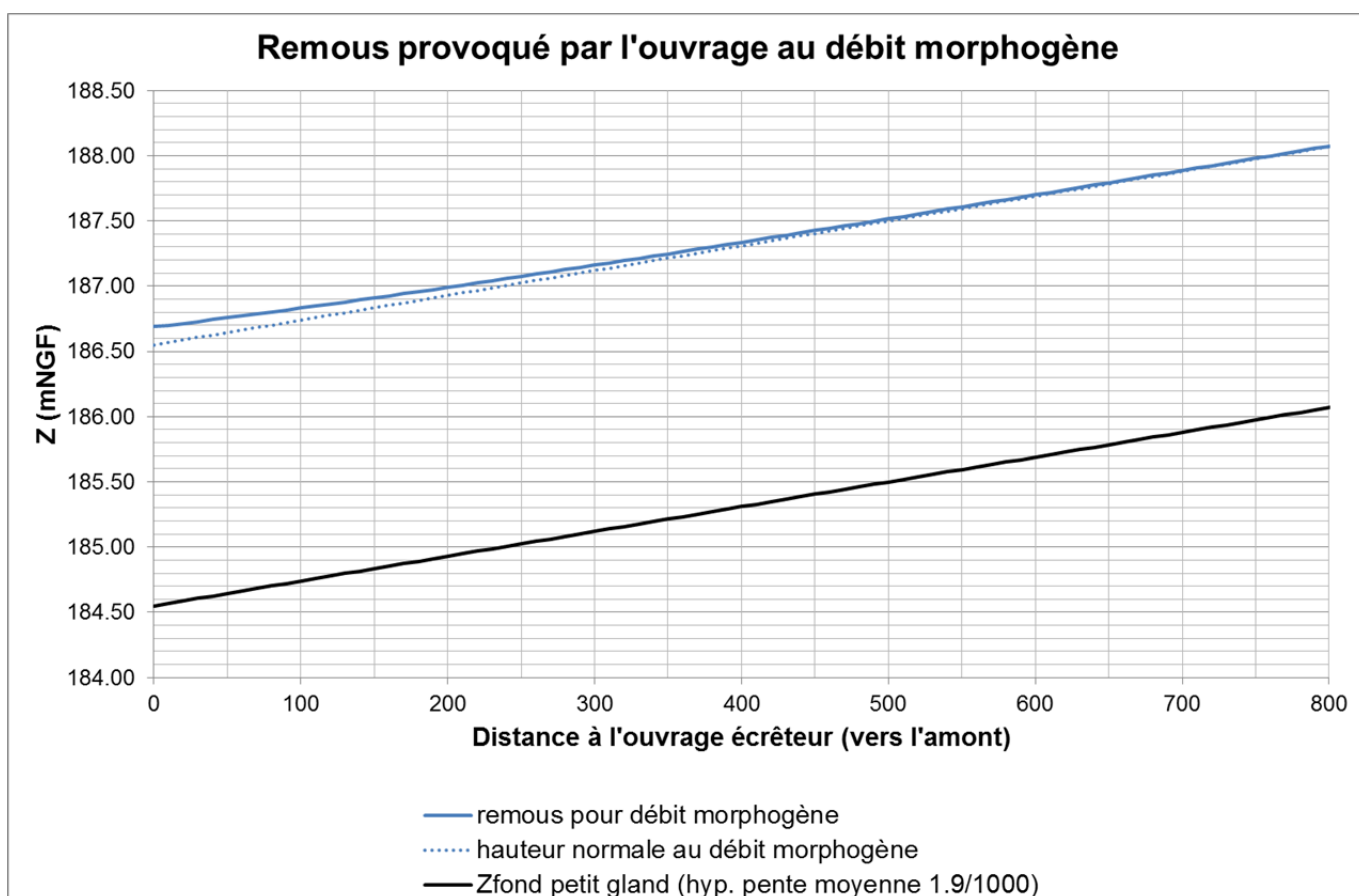
L'incidence de l'ouvrage au débit morphogène est évaluée au paragraphe suivant.

7.2 INCIDENCE DE L'OUVRAGE AU DEBIT MORPHOGENE

7.2.1 Incidence sur le remous

Le rehaussement provoqué par l'ouvrage pour différents débits a été calculé précédemment. Pour le débit morphogène de $11\text{m}^3/\text{s}$ la courbe de remous a été calculée sur la base d'un profil uniforme penté à $1.9/1000$.

Bien que le rehaussement soit relativement limité (14cm au droit de l'ouvrage), l'effet de remous se fait sentir sur plusieurs centaines de mètres en amont de l'ouvrage (environ 0.5km).



7.2.2 Incidence sur le cisaillement en fond de lit

La limite d'entraînement des particules du fond du lit est déterminée par la méthode de la FHA (publication n° FHWA-NHI-05-114 Hydraulic Engineering circular n°15 third edition, september 2005).

Cette méthode compare le cisaillement effectif au fond du lit et le cisaillement admissible en fonction de la granulométrie des matériaux constitutifs du lit, caractérisée par le D_{75} (diamètre pour lequel 75% en poids des particules sont de diamètre inférieur).

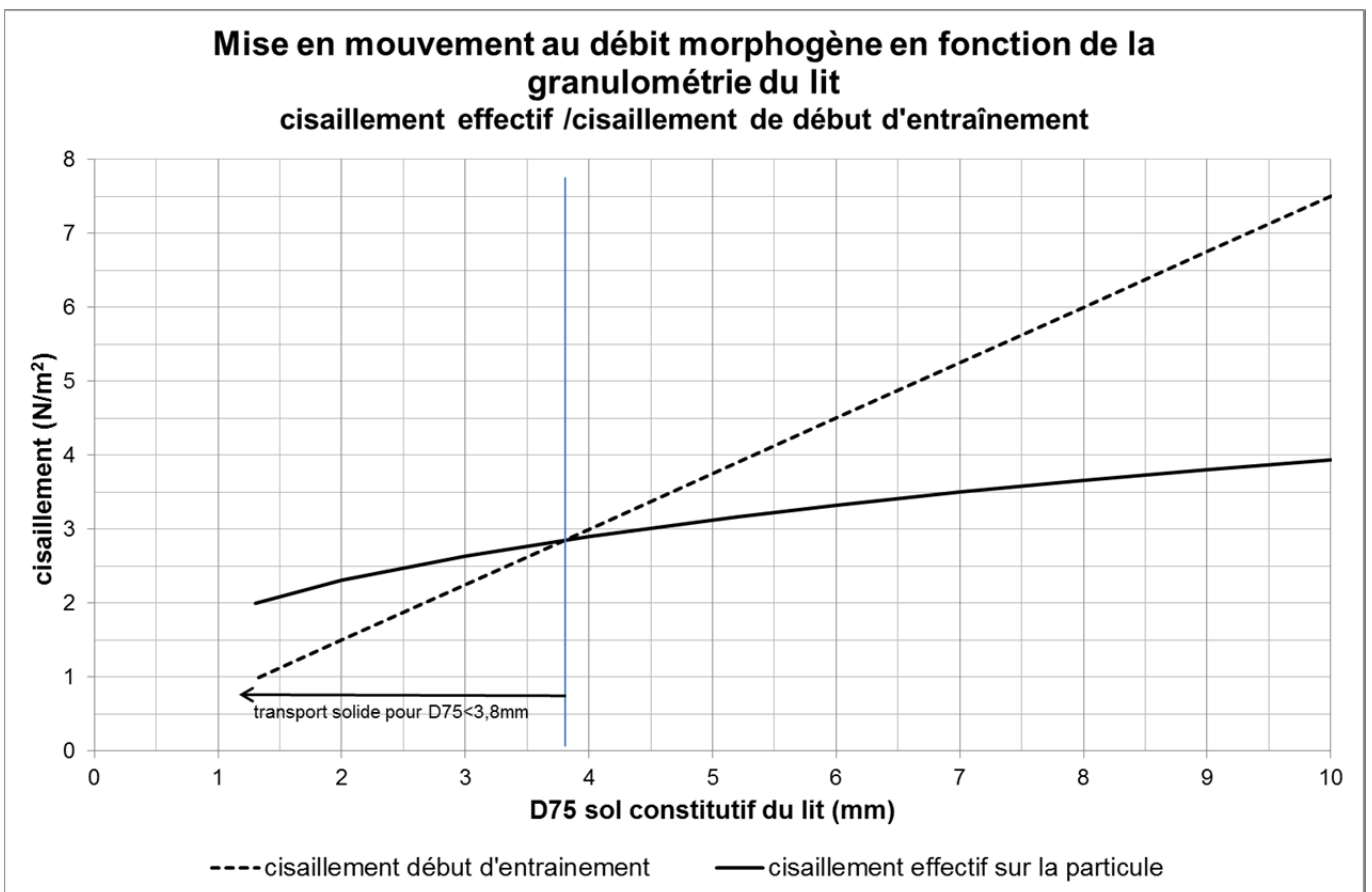
Le cisaillement effectif τ_e est donné par :

$\tau_e = \tau_d (n_s/n)^2$ avec n_s rugosité du sol donnée par $n_s = 0.015 D_{75}$ et D_{75} en mm.

$n = 1/K_s$ coefficient de Manning est pris égal à $n = 1/22 = 0.0455$ pour le lit mineur (hypothèse de Strickler de Stucky inchangée).

$\tau_d = \rho g R_h J$ avec $l = J$ en section courante hors zone d'influence de l'ouvrage et J donnée par la courbe de remous dans la zone d'influence de l'ouvrage.

En section courante la limite d'entraînement correspond à $D_{75}(\text{matériau du lit}) = 3.8\text{mm}$ comme le montre le graphique ci-dessous.



Les observations de Fluvial IS sur site montrent que le transport solide est essentiellement du transport de fines en suspension et que la présence de matériaux grossiers n'a pas été repérée. D'autre part les puits à la pelle dans les matériaux alluvionnaires du fond de vallée ont mis en évidence une couche de limons argileux ou de sables silteux très fins (0/0.4mm), peu denses (densité sèche γ_d de l'ordre de $1.6t/m^3$) et de faible plasticité (IP compris entre 7 et 12). Le diamètre D_{75} de ce limon très fin est inférieur au mm donc a fortiori à la limite de 3.8mm établie ci-dessus : **le limon constitutif du lit du Petit Gland est donc sujet au transport solide.**

Sur ce type de sol de granulométrie très fine pour lequel $D_{75} < 1.3\text{mm}$ la rugosité n_s est limitée à $n_s = 0.015 \times 1.3^{1/6} = 0.016$.

Le cisaillement effectif τ_e est alors donné par :

$$\tau_e = \tau_d (n_s/n)^2 \text{ avec } n_s \text{ rugosité du sol donnée par } n_s = 0.016.$$

$n = 1/K_s$ coefficient de Manning est pris égal à $n = 1/22 = 0.0455$ pour le lit mineur (hypothèse de Strickler de Stucky inchangée).

$$\text{D'où } \tau_e = \tau_d (0.016 \times 22)^2 = 0.12 \tau_d.$$

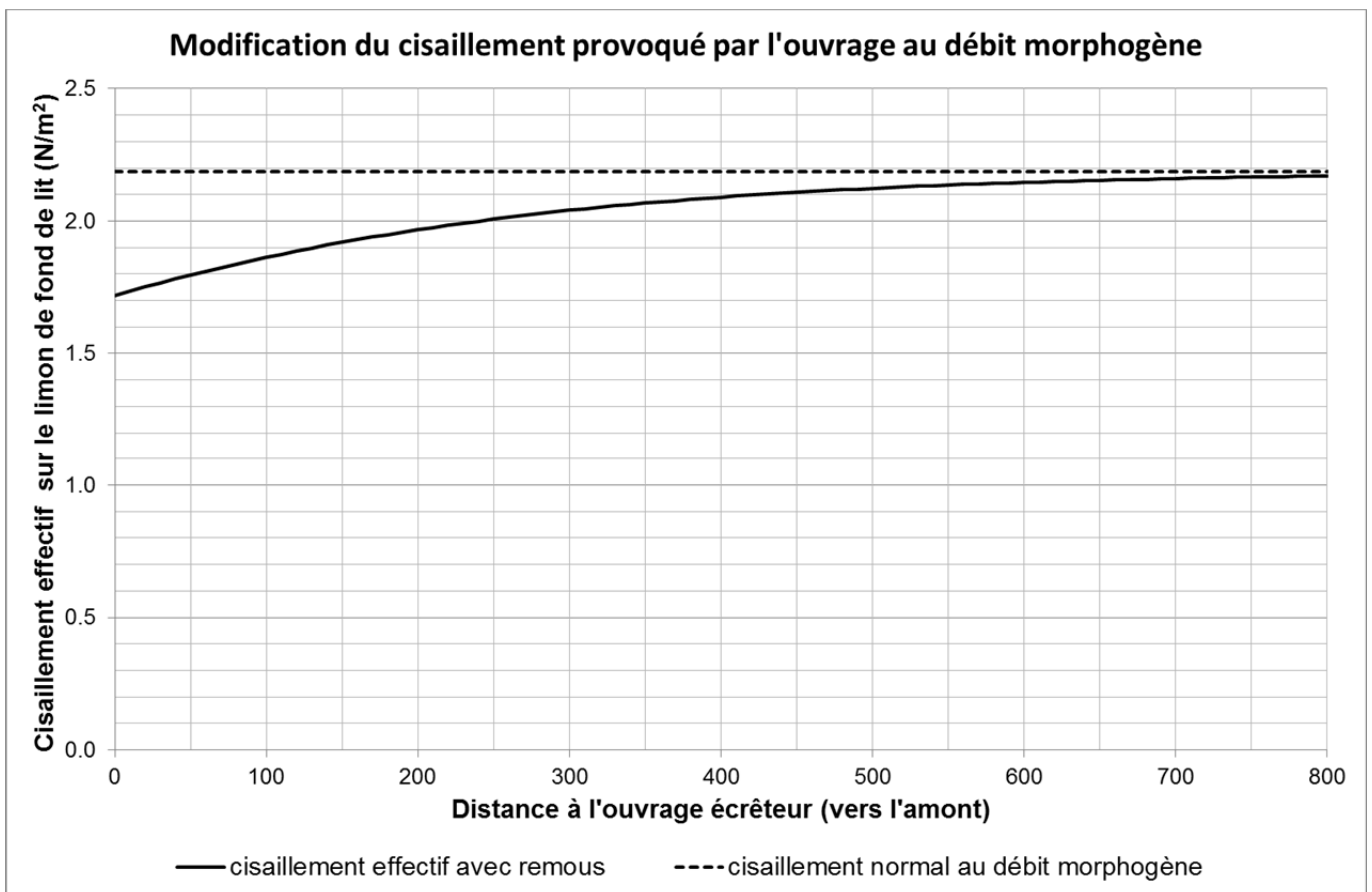
Par ailleurs le cisaillement admissible c'est-à-dire le cisaillement admissible avant entraînement du matériau peut être évalué. Pour un limon sablo-silteux le cisaillement admissible est donné par :

$$\tau_a = (c_1 IP^2 + c_2 IP + c_3) (c_4 + c_5 e)^2 c_6$$

avec IP indice de plasticité et e indice des vides, et c_1 à c_6 coefficients donnés par l'USDA (cf. HEC n°15).

Pour le matériau du site le cisaillement admissible est très faible. Il est de l'ordre de 1 à 1,3 N/m^2 .

La courbe suivante nous donne l'incidence du remous sur la valeur du cisaillement effectif.



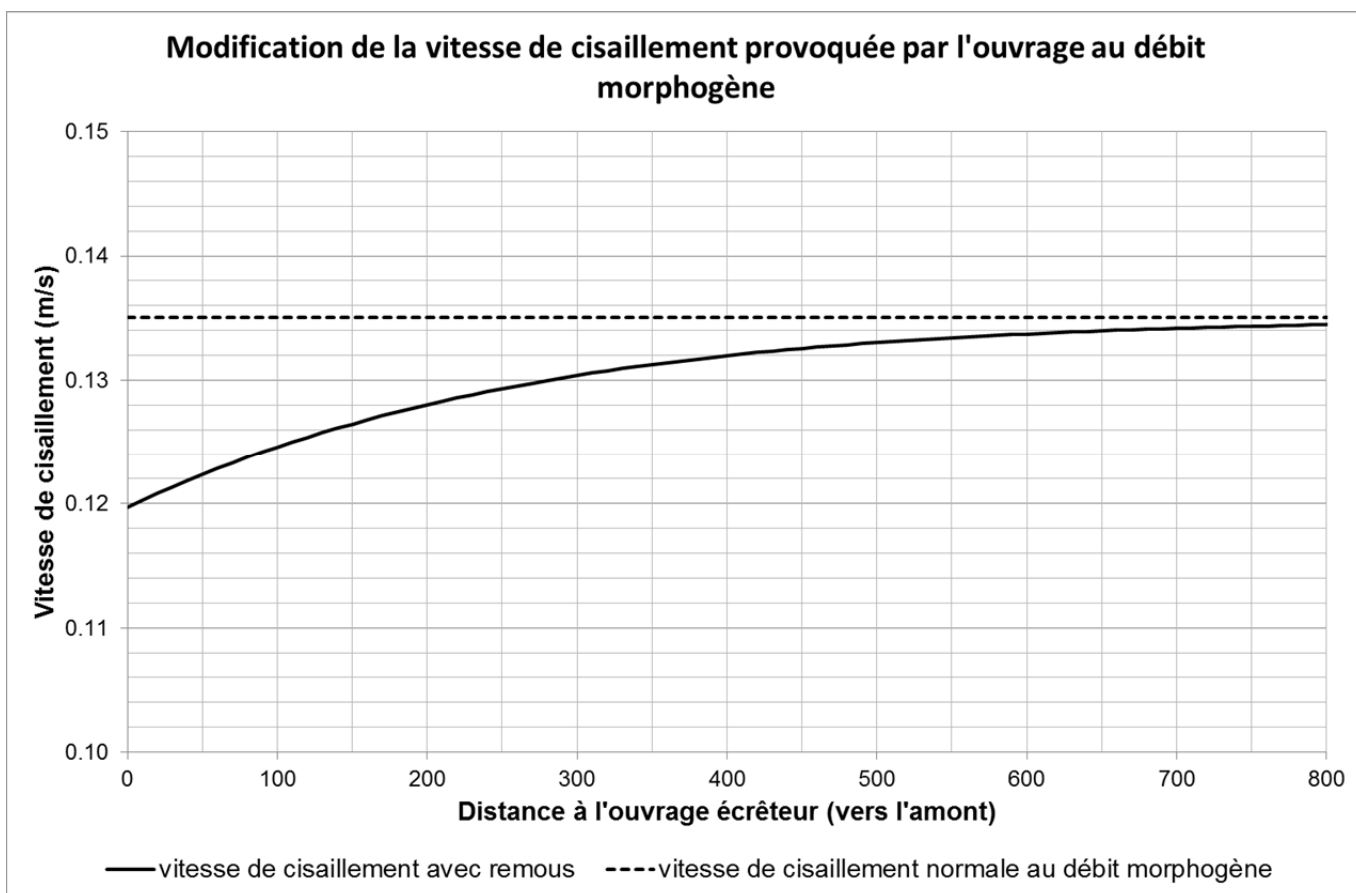
Le cisaillement chute de 2.2 N/m^2 à 1.7 N/m^2 juste en amont de l'ouvrage. L'incidence se fait sentir tout le long du remous de longueur 800m environ mais essentiellement dans les 250 premiers mètres devant le barrage. Dans cette zone uniquement l'abaissement de la valeur du cisaillement effectif en lit mineur représente plus de 10%.

Toutefois l'abaissement de la valeur du cisaillement effectif dû au remous n'atteint pas la valeur limite de mise en mouvement du limon constitutif du lit comprise entre 1 et 1.3 N/m². Le matériau du lit du petit Gland reste donc toujours mobilisé au passage du débit morphogène y compris en prenant en compte l'influence du remous créé par l'ouvrage.

7.2.3 Nature du transport solide

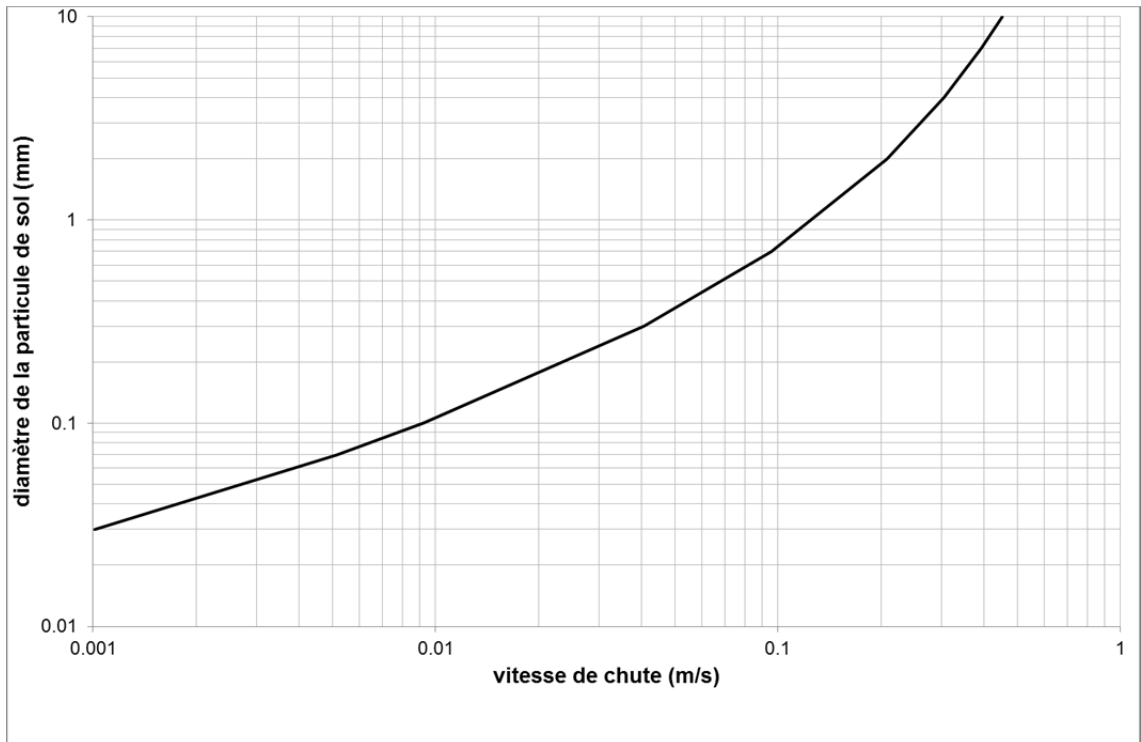
La nature du transport solide dépend du ratio entre vitesse de cisaillement V^* et la vitesse de chute des particules ω . La vitesse de cisaillement est par définition $V^*=(\tau_0/\rho)$.

La figure suivante donne la valeur de V^* au passage du débit morphogène, avec influence du remous créé par l'ouvrage.



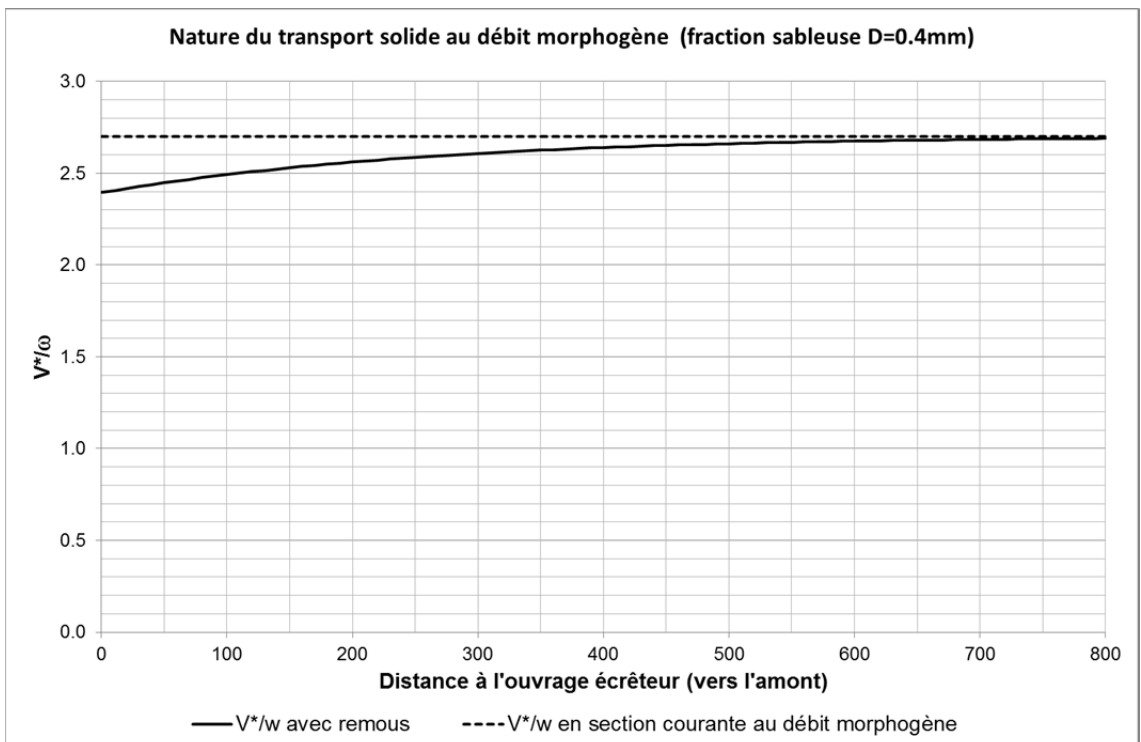
Au débit morphogène, la vitesse de cisaillement qui s'établit à un peu moins de 0.14m/s en section courante, diminue à 0,12m/s à proximité de l'ouvrage.

La vitesse de chute est donnée par la FHA dans sa circulaire HEC n°18.



Pour les fines ($D < 80 \mu\text{m}$) présentes en majorité la vitesse de chute est inférieure à 0.7 cm/s . Pour la fraction sableuse du limon ($D < 0.4 \text{ mm}$) la vitesse de chute des particules ω est au plus égale à 0.05 m/s soit 5 cm/s . Le ratio V^*/ω (nombre de Rouse) reste toujours supérieur à 2 même avec influence du remous, comme le montre la figure suivante.

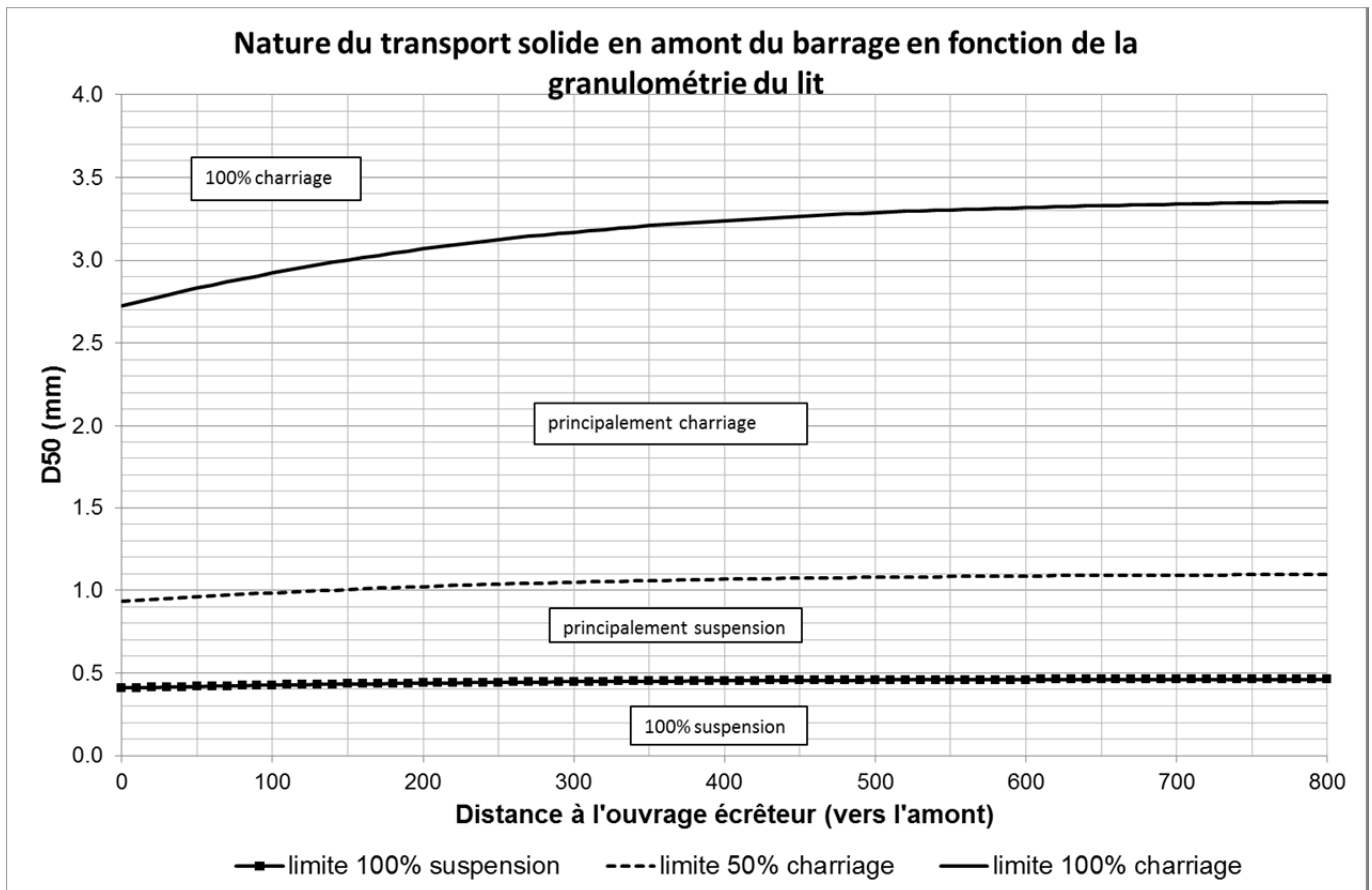
De ce fait le transport solide s'effectue essentiellement par suspension y compris pour les particules les moins fines, même à proximité de l'ouvrage qui ralentit les vitesses.



Une autre manière de visualiser la nature du transport solide consiste à calculer les diamètres moyens correspondant aux différentes natures de transport. Il apparaît en toute logique que pour les matériaux limoneux du site ($D_{50} < 80 \mu\text{m}$) le transport est complètement en suspension.

Autrement dit l'ouvrage reste transparent au débit morphogène vis-à-vis du transport solide car :

- Les matériaux du lit restent mobilisés par le cisaillement,
- La nature du transport, essentiellement en suspension y compris pour la fraction la plus sableuse des limons, reste de même nature y compris dans le remous créé par l'ouvrage.



7.3 INCIDENCE DU FONCTIONNEMENT DE L'OUVRAGE EN TERMES DE DEPOTS DANS LA RETENUE ET DE RISQUE INDUIT D'EROSION EN AVAL

L'incidence hydro-morphologique en termes de dépôts dans la retenue et de risque induit d'érosion en aval de l'ouvrage fait l'objet d'une étude spécifique détaillée en cours d'appel d'offres.

8 ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT-PROJET DE LA DIGUE DE L'AIRE D'ECRETEMENT DES CRUES DE ST MICHEL

8.1 OBJET DE L'ETUDE

A la demande et pour le compte d'HYDRATEC, TERRASOL a réalisé une étude géotechnique au stade AVP de la digue d'écrêtement des crues du Petit Gland située sur la commune de SAINT-MICHEL (02).

Cette note définit les hypothèses géotechniques à considérer et procède aux différentes vérifications préliminaires nécessaires à la justification de la stabilité de cette digue. La mission réalisée est de type G12 « mission d'avant-projet » selon la classification des missions géotechniques (norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013). Le rapport complet établi par Terrasol est donné en annexe 1. Le paragraphe suivant rappelle uniquement les conclusions de l'étude.

8.2 CONCLUSIONS DE L'ETUDE GEOTECHNIQUE D'AVANT-PROJET DE LA DIGUE

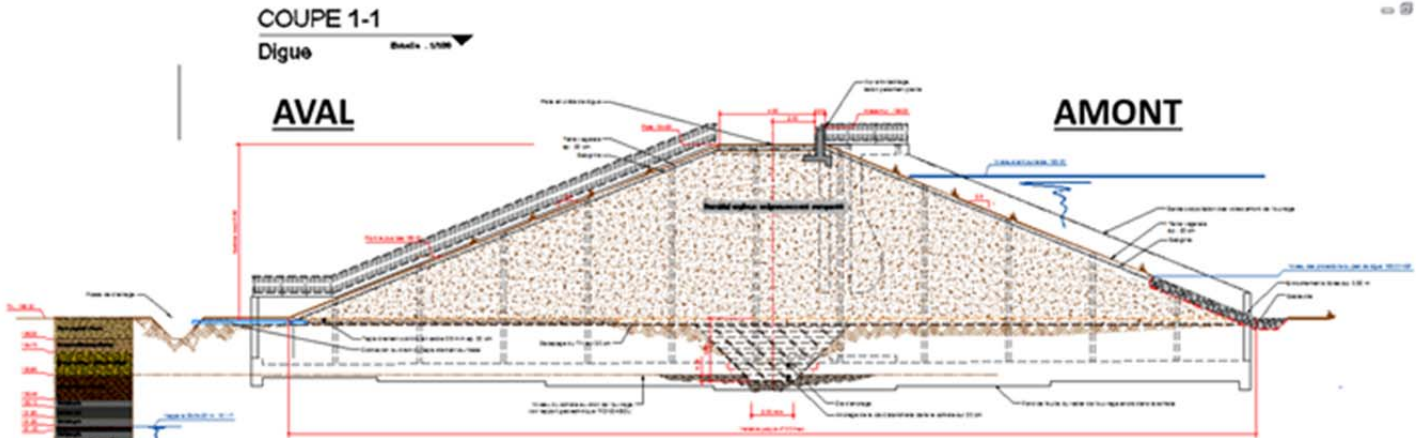
Le projet de digue d'écrêtement de crue de Saint-Michel tel que défini par Hydratec sur les plans AVP indice B du 18/07/2014 nécessite des adaptations. En effet, **un traitement de la fondation doit être mis en œuvre afin de contrôler les écoulements souterrains et d'éventuelles pressions de soulèvement se développant dans la couche supérieure du substratum rocheux très fracturée**. La solution retenue est de réaliser un voile d'injection en partie centrale, sous la clef d'ancrage déjà prévue.

Terrasol recommande également la mise en œuvre en pied de digue de puits de décompressions au sable (tels que détaillés au §6.7.2. du rapport Terrasol), et d'allonger légèrement le tapis drainant aval en le remontant dans le corps de digue.

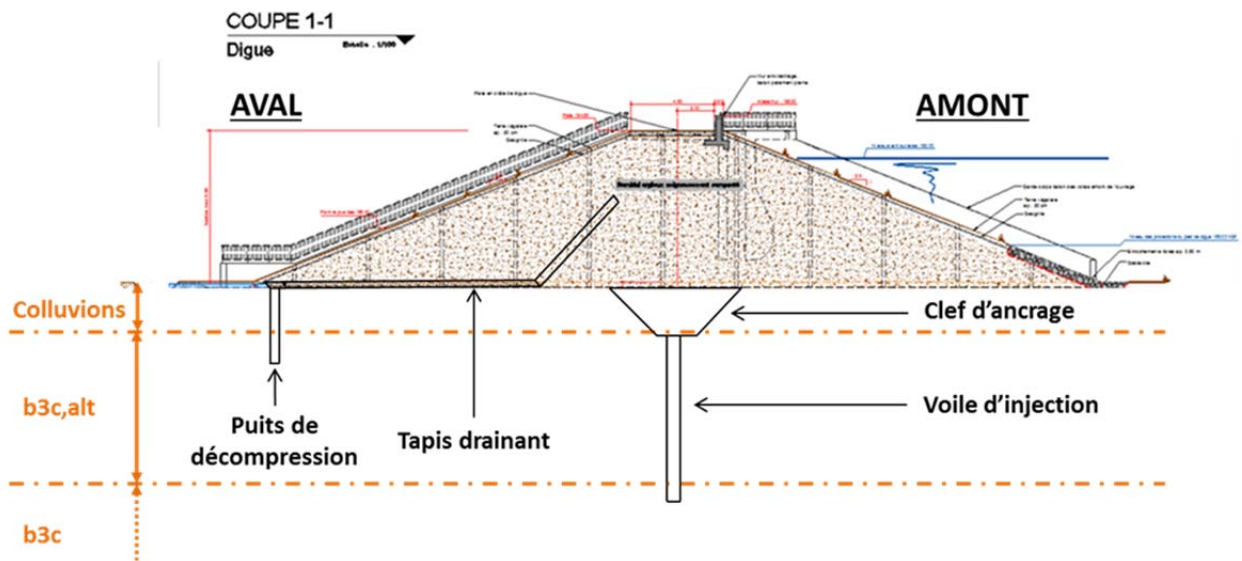
La géométrie du corps de digue permet par ailleurs d'assurer la stabilité des talus au grand glissement dans tous les cas critiques.

Les tassements attendus au moment de la construction seront de type œdométrique dans les Colluvions et d'ordre décimétrique. Néanmoins, l'intégralité des tassements devrait être consommé à l'issu du remblaiement de la digue.

La coupe de principe de l'ouvrage étudiée était la suivante (plan hydratec indice B du 14/07/2014) :



La coupe de principe préconisée est la suivante :



Les plans à l'indice C joints au présent rapport, ainsi que l'estimation du montant de l'ouvrage, intègrent ces modifications.

Enfin, afin de compléter la connaissance du substratum rocheux suite aux analyses des premières investigations déjà réalisées, Terrasol préconise la réalisation pour la phase suivante (PRO) de quelques investigations complémentaires, à savoir 2 sondages carottés en rive droite, et 4 sondages carottés en rive gauche, avec pour chacun mesure d'imagerie acoustique et réalisation d'essais de perméabilité de type LUGEON, ainsi qu'éventuellement un essai de pompage. Des essais laboratoires seront également réalisés, dont 3 CU + u, 2 Proctor, 2 analyses chimiques dans les Colluvions et 5 essais de résistance à la compression uniaxiale dans la Formation du Révinien moyen.

9 ADAPTATION DES AMÉNAGEMENTS ET PLANS DES OUVRAGES

En réponse aux remarques des services de l'Etat et de l'EOA sur le projet initial Stucky, Hydratec a procédé aux adaptations suivantes :

- L'emplacement et la longueur du barrage n'est pas modifié,
- Le pertuis est adapté afin de favoriser le passage du poisson et le transit sédimentaire pertuis et d'éviter ainsi une rupture de la continuité écologique :
 - le dalot est supprimé,
 - la cote inférieure du passage sous vanne est relevée avec une hauteur libre de passage sous vannes levées de 3m,
 - le fond du pertuis, à l'exception du passage du seuil inférieur des vannes, est constitué sur 30cm d'épaisseur d'un substrat alluvial reconstitué à partir des déblais du site et un lit d'étiage étroit et peu profond est tracé dans ce substrat.
 - la largeur du pertuis est légèrement augmentée de 6.5m à 6.8m ce qui va dans le sens de l'augmentation demandée par Fluvial IS dans son expertise de l'impact de l'ouvrage sur la morphologie fluviale (rapport de novembre 2009),
- Le pertuis est déplacé en rive gauche du lit mineur de la rivière ce qui permet :
 - d'améliorer les conditions de mise en œuvre du remblai sur le versant rive droite, qui étaient fortement contraintes par l'étroitesse de l'espace disponible dans le projet initial, en augmentant la longueur de la digue rive droite : cette nouvelle disposition est d'autant plus favorable que des redans devront être aménagés pour améliorer l'ancrage de l'endiguement dans le versant schisteux pentu de cette rive,
 - de diminuer l'impact des travaux sur la rivière en construisant le pertuis à sec en lit majeur, avant de procéder à la dérivation locale du lit vers la gauche dans le pertuis achevé.
- L'épaisseur de la pile centrale est augmentée à 1,2m (au lieu de 0.5m prévu par Stucky) car la profondeur de rainure sera de 0.35m ce qui laissera 50cm d'épaisseur de pile entre rainures ; pour ne pas trop augmenter le gabarit du pertuis la largeur utile des vannes est réduite à 2x2.8m au lieu de 2x3m (pour une largeur totale de pertuis de 6.8m),
- Les vannes de régulation sont des vannes wagon dont le poids permet la descente sans énergie et dont la structure est adaptée à une charge de 10m,
- Les dispositifs de batardage prévus permettent l'isolement d'une vanne et le transit du débit par l'autre vanne pendant les opérations de maintenance et d'entretien,
- Une plateforme d'accès à une pelle à long bras pour l'enlèvement des embâcles éventuels a été aménagée,

- Le déversoir de surface tel que conçu à l'origine ne peut être envisagé comme un ouvrage en enrochements bétonnés du fait d'une hauteur déversante pouvant augmenter jusqu'à 1,5 m, de la hauteur importante de la digue à cet endroit de l'ordre de 10 m (générant des vitesses d'écoulement en pied de digue supérieures à la vitesse admissible) et de sa proximité avec le pertuis. En effet, dans l'ouvrage « Les déversoirs sur digues fluviales »⁵ de 2012, Gérard Degoutte recommande de ne pas dépasser une charge déversante de 1 m ni une vitesse de 8 m/s sur des déversoirs en enrochements bétonnés :
 - Le déversoir est déplacé vers la rive gauche et sa longueur est augmentée de 26 à 47 ml pour assurer :
 - le transit d'un débit de 96 m³/s (passage de la crue Q5000 à retenue pleine) sous une charge de 1m (correspondant à un niveau d'eau Q5000 de 194m NGF),
 - une chute compatible avec la vitesse d'écoulement limite
 - une dissipation correcte de l'énergie en aval via bassin à ressaut légèrement encaissé dans le terrain.
 - Le déversoir est également muni de rampes à ses extrémités pour permettre le passage d'un engin sur la crête d'un côté à l'autre de l'ouvrage (hors crue).
- En cohérence avec la diminution de la charge sur l'évacuateur la cote de crête de digue est abaissée de 0.5m (194.5m au lieu de 195m).
- La largeur de crête de digue est augmentée à 5m pour être plus conforme aux standards,
- Un muret anti-batillage de hauteur vue 0.80m : arase supérieure 195.30m NGF soit 1.3m au-dessus du niveau PHE=Z(Q5000),
- Le local technique est déplacé à proximité des dernières habitations pour prévenir le vandalisme.
- Les ouvrages de franchissement de la cuvette sont constituées de dalles sur culées béton, avec garde-corps adaptés au passage du bétail.

La coupe-type de digue est quant à elle conservée (mis à part l'élargissement de la largeur de crête et l'abaissement de la cote de crête):

- talus à 2.5H/1V,
- digue homogène,
- clef d'ancrage sous le niveau décapé jusqu'au toit du schiste altéré.

Cependant ainsi qu'indiqué au paragraphe 8 les adaptations géotechniques suivantes sont apportées suite à l'étude géotechnique d'avant-projet menée par Terrasol :

- réalisation d'un voile d'injection central sous la clef d'étanchéité à travers les schistes très fracturés de la fondation, jusqu'aux schistes moins fracturés
- allongement du tapis drainant aval (en remontant vers l'amont)
- réalisation de puits aval de décompression au sable.

Les cotes caractéristiques de l'ouvrage deviennent :

- RN=193.00m NGF,
- PHE=194.00m NGF,
- Cote de danger=194.50m NGF.

⁵ Éditions Quæ, 2012, ISBN : 978-2-7592-1886-8, ISSN : 1952-1251

Les plans de l'ouvrage sont fournis en annexe 2 :

- Plan 001 - Ouvrage de restitution - vue en plan et coupes, ind.C du 27/11/2014.
- Plan 002 - Ouvrage de surverse - vue en plan et coupes, ind.C du 27/11/2014.
- Plan 003 - Implantation de la digue - ouvrage de restitution - seuil - vue en plan et coupes sous format, ind. C du 27/11/2014.

Par ailleurs les travaux connexes sont décrits au paragraphe 11.

10 MONTANT DES TRAVAUX DU BARRAGE

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
100	PRIX GENERAUX				
101	Installations générales de chantier	Ft	1	80 000	80 000
102	Etudes d'exécution des ouvrages de génie civil	Ft	1	25 000	25 000
103	Epuisement des fonds de fouille	Ft	1	25 000	25 000
104	Libération des emprises des ouvrages	ha	1.5	10 000	15 000
105	Essais de contrôle des matériaux et contrôles de compactage	Ft	1	18 000	18 000
106	Contrôle de la qualité du cours d'eau en phase travaux	Ft	1	12 000	12 000
107	Préparation de la zone d'emprunt	Ft	1	20 000	20 000
108	Clôture et portails	ml	700	30	21 000
	Sous-total 100 PRIX GENERAUX				216 000
200	TERRASSEMENTS ENROCHEMENTS				
201a	Décapage sous l'emprise de la digue rive droite	m ³	520	4	2 080
201b	Décapage sous l'emprise de la digue rive gauche	m ³	1 020	4	4 080
201c	Décapage sous l'emprise de l'évacuateur	m ³	280	4	1 120
201d	Décapage sous l'emprise de la fosse de dissipation	m ³	260	4	1 040
201e	Décapage sous l'emprise du chenal d'évacuation	m ³	1 710	4	6 840
201e	Décapage sous l'emprise du chenal amont	m ³	290	4	1 160
201e	Décapage sous l'emprise du chenal aval	m ³	390	4	1 560
201	<i>Sous-Total décapage</i>	<i>m³</i>	<i>4 470</i>		<i>17 880</i>
202a	Déblais meubles au droit du pertuis	m ³	2 540	8	20 320
202b	Déblais meubles pour la clef d'ancrage de la digue	m ³	2 700	8	21 600
202c	Déblais meubles de la fosse de dissipation	m ³	990	8	7 920
202d	Déblais meubles du seuil de l'évacuateur	m ³	850	8	6 800
202e	Déblais meubles du chenal d'évacuation	m ³	10 800	8	86 400
202f	Déblais meubles du chenal amont	m ³	1 160	8	9 280
202g	Déblais meubles du chenal aval	m ³	1 740	8	13 920
202	<i>Sous-Total déblais meubles</i>	<i>m³</i>			<i>166 240</i>
203a	Déblais schisteux sous le pertuis	m ³	300	50	15 000
203b	Déblais schisteux pour la clef d'ancrage de la digue	m ³	200	50	10 000
203	<i>Sous-Total déblais schisteux</i>	<i>m³</i>			<i>25 000</i>

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
204a	Préparation du fond de fouille sous endiguement rive droite	m ³	1 740	2	3 480
204b	Préparation du fond de fouille sous endiguement rive gauche	m ³	3 400	2	6 800
204	Sous-Total Préparation du fond de fouille				10 280
205a	Fourniture remblais digue rive droite	m ³	7 540	16	120 640
205b	Fourniture remblais digue rive gauche	m ³	10 360	16	165 760
205c	Fourniture remblais clef d'ancrage rive gauche	m ³	725	16	11 600
205d	Fourniture remblais clef d'ancrage rive droite	m ³	2 175	16	34 800
205	<i>Sous-Total fourniture remblai</i>	<i>m³</i>			332 800
206b	Mise en œuvre et compactage des remblais digue rive droite	m ³	7 770	5	38 850
206a	Mise en œuvre et compactage des remblais digue rive gauche	m ³	10 810	5	54 050
206b	Mise en œuvre et compactage remblais clef d'ancrage rive gauche	m ³	725	6	4 350
206a	Mise en oeuvre et compactage des remblais clef d'ancrage rive droite	m ³	2 175	6	13 050
206b	Mise en œuvre et compactage des remblais des fouilles du pertuis	m ³	1 420	7	9 940
206	<i>Sous-Total Mise en œuvre et compactage des remblais</i>				120 240
207a	Géotextile mis en place sous les enrochements et gabions du déversoir	m ²	1 970	4	7 880
207b	Géotextile mis en place sous les enrochements de la digue rive droite	m ²	230	4	920
207c	Géotextile mis en place sous les enrochements de la digue rive gauche	m ²	190	4	760
207d	Géotextile mis en place sous la piste rive droite	m ²	510	3	1 530
207e	Géotextile mis en place sous la piste rive gauche	m ²	230	3	690
207f	Géotextile mis en place sous la piste d'accès	m ²	1 250	3	3 750
207g	Géotextile mis en place autour du tapis de sable en rive droite	m ²	1 530	3	4 590
207h	Géotextile mis en place autour du tapis de sable en rive gauche	m ²	3 000	3	9 000
207	<i>Sous-Total Géotextile</i>				29 120
	Fourniture sable du tapis drainant rive droite	m ³	230	75	17 250
	Fourniture sable du tapis drainant rive gauche	m ³	450	75	33 750
207	<i>Sous-Total Sable</i>				51 000
208a	Piste digue rive droite en GNT	m ³	150	40	6 000
208b	Piste digue rive gauche en GNT	m ³	70	40	2 800
208c	Piste d'accès rive gauche en GNT	m ³	380	40	15 200
208	<i>Sous-Total Piste</i>				24 000
209	Enrochements maçonnés	m ³	940	150	141 000

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
210b	Rip-rap de protection du pied amont de digue rive droite	m ³	100	75	7 500
210c	Rip-rap de protection du pied amont de digue rive gauche	m ³	80	75	6 000
210	<i>Sous-Total Rip-rap</i>				13 500
211	Matelas de gabions	m ³	120	200	24 000
212	Terre végétale reprise sur dépôt	m ³	930	6	5 580
213a	Enherbement des talus de digue rive droite	m ²	1 640	1.5	2 460
213b	Enherbement des talus de digue rive gauche	m ²	3 020	1.5	4 530
213c	Enherbement en pied de digue rive droite	m ²	450	1.2	540
213d	Enherbement en pied de digue rive gauche	m ²	1 020	1.2	1 224
213	<i>Sous-Total Enherbement</i>				8 754
214a	Tranchée pour fourreaux en digue rive droite	m ³	30	50	1 500
214b	Passage de fourreau en digue rive droite	ml	45	20	900
214c	Tranchée pour fourreaux digue-local	m ³	90	50	4 500
214d	Passage de fourreau entre digue et local	ml	150	20	3 000
214	<i>Sous-Total Fourreaux</i>				9 900
215a	Grillage anti-fouisseur digue rive droite	m ²	1 640	2	3 280
215b	Grillage anti-fouisseur digue rive gauche	m ²	3 020	2	6 040
215	<i>Sous-Total Grillage anti-fouisseur</i>				9 320
216	Recouvrement du fond du pertuis en matériau alluvionnaire	m ³	90	6	540
217	Fossés végétalisés	ml	180	20	3 600
218	Puits de décompression	U	8	150	1 200
219	Replantation de ripisylve	Ft	1	15000	15 000
	Sous-total 200 TERRASSEMENTS				994 834
300	GENIE CIVIL DES OUVRAGES				
	Muret				
301a	Béton	m ³	130	250	32 500
302a	Coffrage	m ²	390	100	39 000
303a	Aciers	kg	10 400	2.5	26 000
304	Habillage parement vu en briques	m ²	250	80	20 000
	Seuil déversant				
301b	Béton	m ³	77	250	19 250
302b	Coffrage	m ²	180	100	18 000
303b	Aciers	kg	6 160	2.5	15 400
	Voile rive droite du seuil déversant				
301c	Béton	m ³	75	250	18 750
302c	Coffrage	m ²	200	100	20 000
303c	Aciers	kg	6 000	2.5	15 000

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
	Voile rive gauche du seuil déversant				
301d	Béton	m ³	88	250	22 000
302d	Coffrage	m ²	250	100	25 000
303d	Aciers	kg	7 040	2.5	17 600
	Voiles des rampes d'accès au seuil déversant				
301e	Béton	m ³	74	250	18 500
302e	Coffrage	m ²	250	100	25 000
303e	Aciers	kg	5 920	2.5	14 800
	Radier des rampes d'accès au seuil déversant				
301f	Béton	m ³	124	250	31 000
302f	Coffrage	m ²		100	0
303f	Aciers	kg	9 920	2.5	24 800
	Sous-total béton seuil déversant				
	Ouvrage de restitution				
301g	Béton	m ³	1 250	250	312 500
302g	Coffrage	m ²	2 440	100	244 000
303g	Aciers	kg	100 000	2.5	250 000
305	Joints waterstop	ml	110	80	8 800
306	Garde-corps horizontal	ml	34	250	8 500
307	Garde-corps incliné	ml	39	300	11 700
308a	Caillebotis passerelle	m ²	13	200	2 600
308b	Caillebotis rainure vannes	m ²	12	150	1 800
308c	Caillebotis rainure batardeau	m ²	2	150	300
310	Local technique	Ft	1	64 000	64 000
	Sous-total 300 GENIE CIVIL				1 306 800
400	AUSCULTATION				
401	Réalisation d'un pilier d'auscultation	ml	4	500	2 000
402	Bornes d'auscultation	u	6	150	900
403	Piézomètres	ml	50	120	6000
	Sous-total 400 AUSCULTATION				8 900
500	VANTELLERIE - CONTRÔLE COMMANDE				
501	Vanne wagon H3mxL2.8m avec vérin	U	2	195 000	390 000
502	Centrale hydraulique	U	1	38 000	38 000
503	Contrôle commande	Ft	1	40 000	40 000
504	Alimentation en énergie électrique	Ft	1	15 000	15 000
505	Groupe électrogène de secours	Ft	1	10 000	10 000
506	Mesures de niveau amont et aval	U	2	6 000	12 000
507	Mesures de niveau du Gland, lieu-dit les Rochettes	U	1	6 000	6 000
508	Equipements de télégestion	Ft	1	16 000	16 000
509	Equipements de vidéosurveillance	Ft	1	16 000	16 000
	Sous-total 500 VANTELLERIE-CONTRÔLE COMMANDE				543 000

N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
	Total des travaux (postes 100 à 500)				3 070 000
	Divers et aléas (5%)				154 000
	SOUS-TOTAL BARRAGE HORS VOILE D'INJECTION				3 224 000
600	VOILE D'INJECTION				
601	Etudes d'exécution (plan, PAQ, PPSPS, formalités administratives, occupation de voirie, citernage, ...)	Ft	1	5 000	5 000
602	Amenée et repli du matériel et du personnel et installation de chantier	FT	1	50 000	50 000
	Réalisation des forages (espacés tous les 50 cm tout le long de l'axe de la digue et ancrés d'1 m dans le schiste moins fracturé)				
503a	Mise en station	U	402	50	20 100
503b	Exécution des forages et enregistrement des paramètres des forages	ml	4 570	50	228 500
504	Equipement des forages pour injection	ml	4 570	5	22 850
505	Réalisation de l'injection de coulis (2570 m ² de voile)	m ³	1160	300	348 000
508	Essais de contrôle	Ft	1	2 000	2 000
509	Dossier de récolement des ouvrages exécutés	Ft	1	2 000	2 000
	Divers et aléas sur voile (15%)				102 000
	Sous-total 600 VOILE D'INJECTION				780 000
	TOTAL GENERAL BARRAGE Y COMPRIS VOILE D'INJECTION				4 004 000

Le montant des travaux du barrage hors voile d'injection de la fondation schisteuse très altérée est conforme à l'enveloppe prévisionnelle des travaux. Cependant le coût du voile d'injection qui est évalué à 780 000 € HT vient alourdir le coût des travaux qui atteint tout compris 4 M€ HT.

11 MONTANT DES TRAVAUX CONNEXES

11.1 REHAUSSEMENT DE LA ROUTE DE MONTORIEUX ET OUVRAGE DE DECHARGE

Sur la base de l'AVP Stucky cet aménagement comprend le rehaussement de 50cm de la route sur environ 300m de longueur, ainsi qu'un ouvrage de décharge.

Nous avons fait l'hypothèse d'un ouvrage de décharge localisé en rive gauche et de type dalot, de 12m de longueur. La route est remblayée et la chaussée refaite sur le linéaire prévu par Stucky.

Notre estimation de 223 000 euros hors taxe est supérieure à l'estimation de Stucky qui n'était pas détaillée. La décomposition de l'estimation est donnée ci-dessous.

Rehaussement et ouvrage de décharge Route de Montorieux	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
Installations générales de chantier	Ft	1	20 000	20 000
Etudes d'exécution	Ft	1	3 000	3 000
Rehaussement Route de Montorieux	m ³	1350	6	8 100
Chaussée neuve route de Montorieux	m ²	1800	60	108 000
Dalot ouvrage de décharge	ml	12	4500	54 000
Total des travaux (arrondi)				193 000
Divers et non métrés (5%)				10 000
Aléas (10%)				20 000
				223 000

11.2 REFECTION DE L'ACCES RIVE DROITE ET DU FRANCHISSEMENT DU PETIT GLAND

Ce poste n'est pas détaillé par Stucky. Nous avons considéré le rechargement du chemin d'accès à la cuvette jusqu'au franchissement existant du Petit Gland, très vétuste, et le remplacement de ce dernier par un ouvrage neuf.

Rappelons que l'accès en rive gauche est constituée par une piste aménagée jusqu'à la crête du barrage, comprise dans les travaux du barrage chiffrés au paragraphe 10.

L'ouvrage neuf est un ponceau de 8m de portée entre appuis. La longueur totale de la dalle est de 8m. Les appuis sont légèrement distants des berges, la largeur en gueule du cours d'eau étant d'environ 6m. Ces appuis constitués de longrines dont la fondation est assurée par des puits (2 puits par appui) béton, qui descendent au toit du schiste ou jusqu'à un horizon suffisamment porteur.

Le montant de l'estimation, dont la décomposition est donnée ci-dessous, est d'environ 80 000 euros hors taxe.

	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
Prix généraux	Ft	1	7 000	7 000
Passage supérieur				
béton	m ³	28	250	7 000
coffrage	m ²	70	100	7 000
acier	kg	3440	2.5	8 600
garde-corps	ml	20	250	5 000
sous-total passage supérieur (dalle et appuis)				27 600
Fondation				
puits béton	m ³	27	250	6 750
coffrage puits	m ²	36	100	3 600
sous-total fondation				10 350
total ouvrage				44 950
divers et non métrés				5 000
aléas (10%)				5 000
total franchissement (arrondi)				55 000
enlèvement de l'ouvrage existant	Ft	1	6000	6 000
réfection du chemin d'accès RD	ml	320	60	19 200
				80 200

11.3 TERRASSEMENTS DANS LA CUVETTE

Ce poste comprend les terrassements dans la cuvette : dépôts, nivellement pour faciliter le ressuyage, et l'aménagement des zones de refuge y compris le déplacement de clôtures et la pose de clôtures supplémentaires.

Les montants sont les estimations actualisées de Stucky (y compris aléas).

	Montant (€ HT)
Clôtures pour zones de refuge	35 000
Terrassements dans la cuvette (dépôts, nivellement pour faciliter le ressuyage) et aménagement des zones de refuge y compris clôtures	155 000

11.4 AMENAGEMENT DE PROTECTION RUE DE LA ROCHE A ST MICHEL

Ce poste n'est pas détaillé par Stucky. Contrairement à Stucky qui avait envisagé un mur poids, nous proposons une alternative de moindre emprise au sol. Il s'agit d'une paroi berlinoise, dont les profilés métalliques seront ancrés dans le schiste. Cette paroi mince (de l'ordre de 90 cm) offre l'avantage de ne pas être sensible aux sous-pressions en termes de stabilité.

Les infiltrations en crue seront limitées par un léger ancrage de la paroi à -0.5m sous TN et la réalisation d'une tranchée para fouille remplie de limon argileux d'apport, de profondeur 1.2m sous TN. Les débits résiduels seront drainés en aval de la paroi par une tranchée drainante jusqu'à un regard de pompage pour pompe mobile.

L'habillage en pierres maçonnées est prévu sur les deux faces vues du mur sur trente centimètres d'épaisseur.

La cote de crête du mur est calée à 182.6m NGF, sur les 240m de longueur de la protection. La protection est localisée juste en dessous de la limite de propriété privée donc en haut de berge pour minimiser l'impact de l'ouvrage sur la population de criquet ensanglanté identifiée en pied de berge en rive gauche du Gland au droit du projet. Il s'agit d'une espèce patrimoniale vulnérable classée IUCN.

Le montant de l'estimation, dont la décomposition est donnée ci-dessous, est d'environ 780 000 euros hors taxe. A noter que ce montant est bien supérieur à l'estimation Stucky alors que la solution paroi berlinoise est forcément moins onéreuse qu'une solution mur-poids.

Mur de protection du quartier de la Roche	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
Installations générales de chantier	Ft	1	20 000	20 000
Etudes d'exécution	Ft	1	6 000	6 000
Tranchée en pied de paroi	m ³	400	15	6 000
Para fouille d'un mètre de profondeur en limon argileux	m ³	340	25	8 500
Réalisation d'une paroi berlinoise	m ²	550	500	275 000
Béton de propreté	m ³	30	220	6 600
Fourniture et mise en œuvre d'un habillage en pierres maçonnées	m ²	908	375	340 500
Drainage en arrière de la paroi	Ft	1	6 000	6 000
Reprise d'assainissement pluvial et pose de clapets	Ft	1	5 000	5 000
Remise en état des abords	Ft	1	3 000	3 000
Total des travaux				676 600
Divers et non métrés (5%)				34 000
Aléas (10%)				71 000
				781 600

11.5 SUPPRESSION DU SEUIL DU MOULIN DE LA BOVETTE

Ce poste n'est pas détaillé par Stucky. Cependant ce poste nous paraît cette fois surestimé du fait de la faible importance du seuil. Nous estimons que sa démolition et la reprise des berges coûtera environ 25 000 € HT.

11.6 CREATION/MODIFICATION DE FRANCHISSEMENTS HYDRAULIQUES

Une buse métallique existante est remplacée par un ponceau du même type que celui décrit en 11.1 et deux autres franchissements sont créés. Le montant de l'estimation, dont la décomposition est donnée ci-dessous, est d'environ 170 000 euros hors taxe.

	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
Prix généraux	Ft	1	7 000	7 000
Passage supérieur				
béton	m ³	28	250	7 000
coffrage	m ²	70	100	7 000
acier	kg	3440	2.5	8 600
garde-corps	ml	20	250	5 000
sous-total passage supérieur (dalle et appuis)				27 600
Fondation				
puits béton	m ³	27	250	6 750
coffrage puits	m ²	36	100	3 600
sous-total fondation				10 350
total ouvrage				44 950
divers et non métrés				5 000
aléas (10%)				5 000
total franchissement (arrondi)				55 000
Total pour trois franchissements				165 000
Enlèvement de la buse				8 000
				173 000

11.7 DISPOSITIFS D'ABREUVEMENT

Stucky prévoit une vingtaine de dispositifs d'abreuvement. Nous conservons son estimation, pour un montant d'environ 88 000 euros.

11.8 AMENAGEMENT DES PASSAGES BUSES

Stucky a estimé l'aménagement des passages busés pour protection de la maison Gosset à environ 35 000 euros (aléas compris). Cette estimation est conservée.

11.9 REHAUSSEMENT DE LA PASSERELLE SUR LE GLAND AU LIEU-DIT LES ROCHETTES

L'EOA a intégré le rehaussement de la passerelle de la Rochette sur le Gland en vue de l'équiper ultérieurement d'une sonde de mesure de niveau. Cette passerelle étant submersible en crue forte nous prévoyons de la rehausser d'environ 50cm (niveau surélevé à 188.30m NGF) et d'allonger sa portée de 8 à 10m.

Le montant de l'estimation, dont la décomposition est donnée ci-dessous, est d'environ 80 000 euros hors taxe.

	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant (€ HT)
Prix généraux	Ft	1	6 000	6 000
béton	m ³	31	250	7 750
coffrage	m ²	202	100	20 200
acier	kg	3480	2.5	8 700
sous-total béton (dalle et culées)				36 650
démolition existant		1	10 000	10 000
terrassements		1	5 000	5 000
garde-corps		39	250	9 750
total général				67 400
divers et non métrés				5 000
aléas (10%)				8 000
total franchissement (arrondi)				80 000

11.10 SYNTHÈSE DES TRAVAUX CONNEXES

Montant des travaux connexes (y compris divers et aléas)	Montant (€ HT)
Aménagement de la route et du pont de Montorieux	223 000
Rechargement accès RD et construction d'un pont neuf	80 000
Clôtures pour zones de refuge	35 000
Terrassements dans la cuvette (dépôts, nivellement pour faciliter le ressuyage) et aménagement des zones de refuge y compris clôtures	155 000
Mur de protection Quartier de la Roche	781 000
Suppression du seuil de la Bovette	25 000
Création de trois franchissements dans la cuvette (y compris enlèvement buse)	173 000
Dispositifs d'abreuvement	88 000
Aménagement des passages busés (maison Gosset)	35 000
Rénovation et rehaussement passerelle de la Rochette (y compris enlèvement existant)	80 000
	1 675 000

Ce montant est conforme à l'estimation prévisionnelle du Maître d'ouvrage pour les travaux connexes à la réalisation de l'ouvrage d'écrêtement des crues de St Michel.

Annexe 1 : Rapport géotechnique d'avant-projet

- Rapport Terrasol n° 016.33722/02 indice A du 26/11/2014

Annexe 2 : Plans de l'ouvrage (3 plans)

- Plan 001 - Ouvrage de restitution - vue en plan et coupes, ind.C du 27/11/2014.
- Plan 002 - Ouvrage de surverse - vue en plan et coupes, ind.C du 27/11/2014.
- Plan 003 - Implantation de la digue - ouvrage de restitution - seuil - vue en plan et coupes sous format, ind. C du 27/11/2014.