

Barrage de Pont-Avet

Sécurité des ouvrages hydrauliques

CONSULTING

SAFEGE
1, rue du Général de Gaulle
CS 90293
35761 SAINT GREGOIRE cedex

Agence Bretagne Pays de Loire

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'Île - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safeg.com

Version : 1a

Date : 13/12/2019

Nom Prénom : Thierry REVAUX

Visa : Christophe LE MENN

Numéro du projet : 16NBL103

Intitulé du projet : Programme de travaux 2016 – Barrages – Étude hydrologique et hydraulique

Intitulé du document : Rapport d'étude hydrologique et hydraulique

Version	Rédacteur NOM / Prénom	Vérificateur NOM / Prénom	Date d'envoi JJ/MM/AA	COMMENTAIRES Documents de référence / Description des modifications essentielles
1	Thierry REVAUX	Christophe LE MENN	29/11/2019	Version initiale (interne)
1a	Thierry REVAUX	Christophe LE MENN	13/12/2019	Version diffusée

Sommaire

1.....	Introduction	1
2.....	Données hydrologiques.....	3
2.1	Synthèse de l'étude CACG	3
2.1.1	Données exploitées	3
2.1.2	Régime hydraulique.....	3
2.1.3	Méthodes de calcul des débits de crue	4
2.2	Hydrogrammes de projet	6
2.3	Choix des crues de projet	7
2.4	Influences aval	8
3.....	Etude hydraulique	9
3.1.1	Caractéristiques de la retenue et des ouvrages.....	9
3.1.2	Capacités de l'évacuateur de crues	12
3.1.3	Calcul de la revanche minimale	13
3.1.4	Règles de vidange.....	16
4.....	Gestion des crues en phase chantier	18

Tables des illustrations

Figure 1-1 : Plan de localisation des barrages sur le Frémur (CACG – Novembre 2019)	2
Figure 2-1 : Régime du Frémur au barrage de Pont-Avet.....	3
Figure 2-2 : Détermination des crues rares par la méthode du gradex esthétique	5
Figure 2-3 : Hydrogrammes des crues de projet au barrage de Pont-Avet	6
Figure 3-1 : Retenue de Pont-Avet.....	9
Figure 3-2 : Vue du barrage (photo EPSM, 28 février 2010).....	10
Figure 3-3 : Vue des déversoirs (photo EPSM, 28 février 2010).....	10
Figure 3-4 : Courbes « Hauteur-Surface-Volume » de la retenue de Pont-Avet.....	11
Figure 3-5 : Étalonnage de l'évacuateur de crues de Pont-Avet.....	12
Figure 3-6 : Définition de la revanche (source : Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – CFBR Juin 2013).....	13
Figure 3-7 : Correction de la vitesse du vent (Saville et al, 1962)	14
Figure 3-8 : Définition du run-up lié au vent (source : Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – CFBR Juin 2013)	15
Figure 3-9 : Vidange de la retenue de Pont-Avet avec les 3 conduite $\Phi 700$ en service	17
Figure 4-1 : Laminage de la crue décennale en phase chantier, vidange hors service	19
Figure 4-2 : Laminage de la crue centennale en phase chantier, vidange hors service	20

Table des tableaux

Tableau 1-1 : Classement des barrages (décret du 12 mai 2015)	1
Tableau 2-1 : Évaluation du débit de la crue d'occurrence décennale à la retenue de Pont-Avet	4
Tableau 2-2 : Débits des crues à la retenue de Pont-Avet, selon le gradex esthétique.....	5
Tableau 2-3 : Périodes de retour (en années) des crues exceptionnelles selon la classe du barrage.....	7
Tableau 2-4 : Probabilité et période de retour de dépassement en situation extrême (CFBR) Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 3-1 : Valeurs du déferlement relatif « R/Hd » sur un parement lisse	15
Tableau 3-2 : Détermination de la revanche minimale.....	16

1 INTRODUCTION

Eau du Pays de Saint-Malo (EPSM) est un syndicat de production d'eau potable pour le nord du département d'Ille et Vilaine. Depuis le 1er octobre 2018, le syndicat gère le barrage de Pont-Avet (voir localisation en Figure 1-1). Dans le cadre de l'entretien de l'ouvrage, une visite technique approfondie (VTA), en date du 18 octobre 2018, a conduit à une déclaration d'évènement important pour la sécurité hydraulique du barrage (voir arrêté inter-préfectoral du 23 octobre 2018).

Le dossier d'autorisation environnementale (articles L.181-1 et suivants du code de l'Environnement) pour les travaux d'entretien à effectuer sur le barrage de Pont-Avet a été transmis à la DDTM le 10 décembre 2018. L'instruction de ce dossier conduit à des compléments à apporter, notamment concernant la sécurité des ouvrages hydrauliques.

Le barrage de Pont-Avet est un barrage en remblai à masque amont en béton de 11,7 m de hauteur pour un volume de retenue de 500 000 m³ (soit $H^2V^{0,5} = 97$). Ce barrage a été en « C » par l'arrêté inter-préfectoral du 21 septembre 2015 (voir Tableau 1-1).

Tableau 1-1 : Classement des barrages (décret du 12 mai 2015)

CLASSE de l'ouvrage	CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES
A	$H \geq 20$ et $H^2 \times V^{0,5} \geq 1\,500$
B	Ouvrage non classé en A et pour lequel $H \geq 10$ et $H^2 \times V^{0,5} \geq 200$
C	a) Ouvrage non classé en A ou B et pour lequel $H \geq 5$ et $H^2 \times V^{0,5} \geq 20$ b) Ouvrage pour lequel les conditions prévues au a) ne sont pas satisfaites mais qui répond aux conditions cumulatives ci-après : i) $H > 2$; ii) $V > 0,05$; iii) Il existe une ou plusieurs habitations à l'aval du barrage, jusqu'à une distance par rapport à celui-ci de 400 mètres.

Dans l'expression ($H^2 \times V$), « H » est la hauteur du barrage dans l'axe de la crête entre le point le plus haut de la crête et le point le plus bas du terrain naturel, « V » est le volume de la retenue à sa cote normale en million de m³.

La crête du remblai varie entre les cotes 11,53 et 11,80 mIGN, et la cote normale (RN) de la retenue est à 10,25 mIGN (pertuis avec dépose partielle des réhausses métalliques).

La présente note de calcul concerne l'analyse de la sécurité de l'ouvrage selon l'arrêté du 6 août 2018. Elle se réfère à son annexe I « Prescriptions techniques » pour la vérification du dimensionnement de l'évacuateur de crues, et de la revanche minimale à garantir.

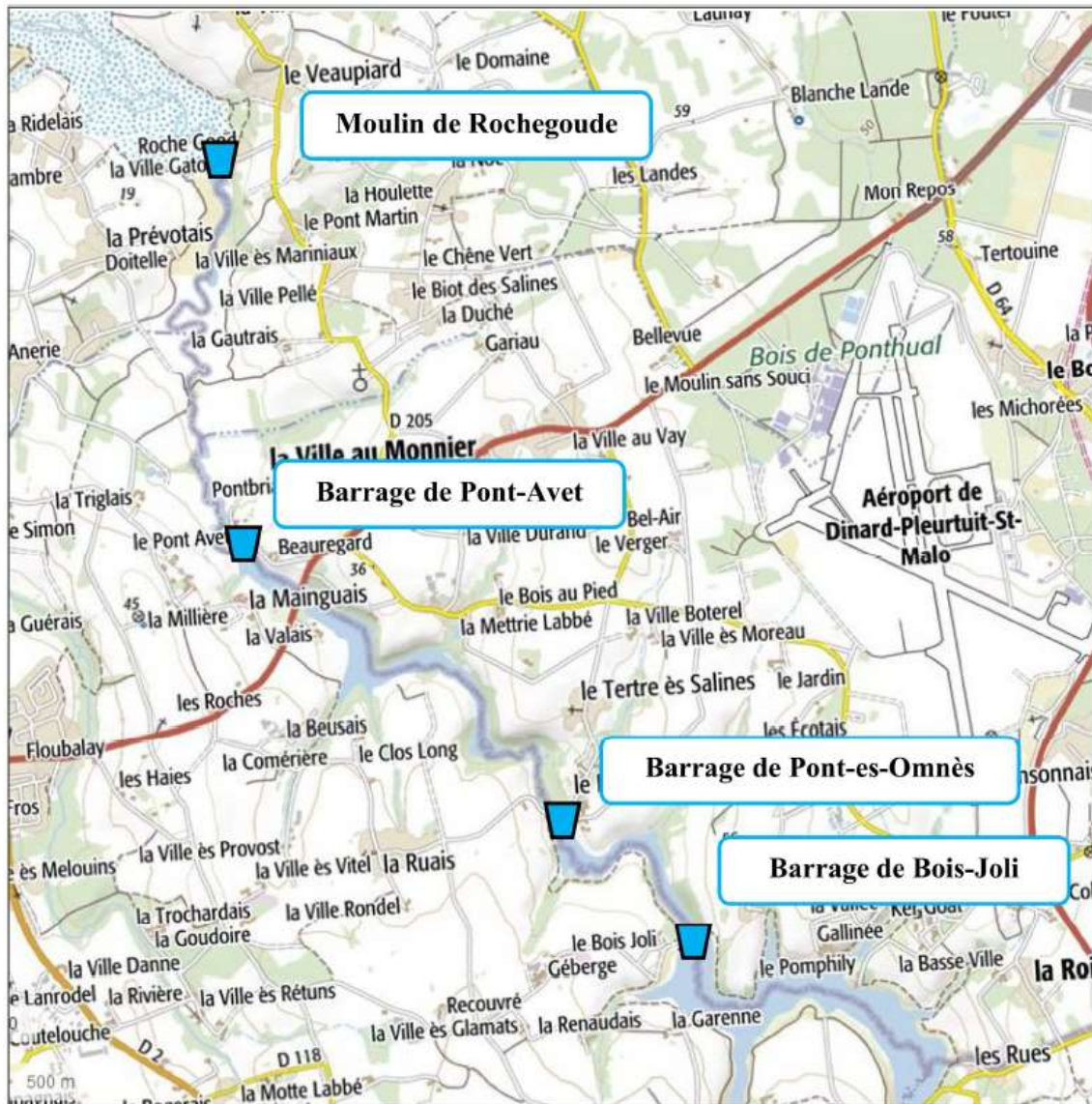


Figure 1-1 : Plan de localisation des barrages sur le Frémur (CACG – Novembre 2019)

2 DONNEES HYDROLOGIQUES

2.1 Synthèse de l'étude CACG

Eau du Pays de Saint-Malo a confié à la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG) une étude hydraulique du Frémur au droit du barrage de Pont-Avet.

Cette étude a consisté en la détermination des débits des crues du Frémur pour différentes périodes de retour, et en la modélisation de la ligne d'eau de ces crues au droit du barrage compte tenu de deux hypothèses d'influence aval.

2.1.1 Données exploitées

Les données utilisées pour déterminer les débits des crues de projet sont les suivantes :

- Hydrologie : stations hydrométriques (banque HYDRO)
 - Trémeureuc (J1004510) de 1977 à 1991 qui couvre un bassin versant de 42 km²,
 - Pleslin-Trigavou (J1004520) depuis 1991 qui couvre un bassin versant de 37,5 km²,
- Pluviométrie : station Météo-France de Dinard-Pleurtuit, données disponibles depuis 1960.

Les données de la pluviométrie journalière sur une dizaine de postes climatologiques, dans un rayon de 35 km, ont également été exploitées, notamment pour les valeurs maximales observées.

2.1.2 Régime hydraulique

Le régime hydraulique (débits moyens mensuels) du Frémur en amont du bassin versant collecté par le barrage de Pont-Avet (54 km²), est déterminé au prorata des surfaces (coefficient multiplicateur de 1,44) des valeurs mesurées à la station hydrométrique (voir Figure 2-1).

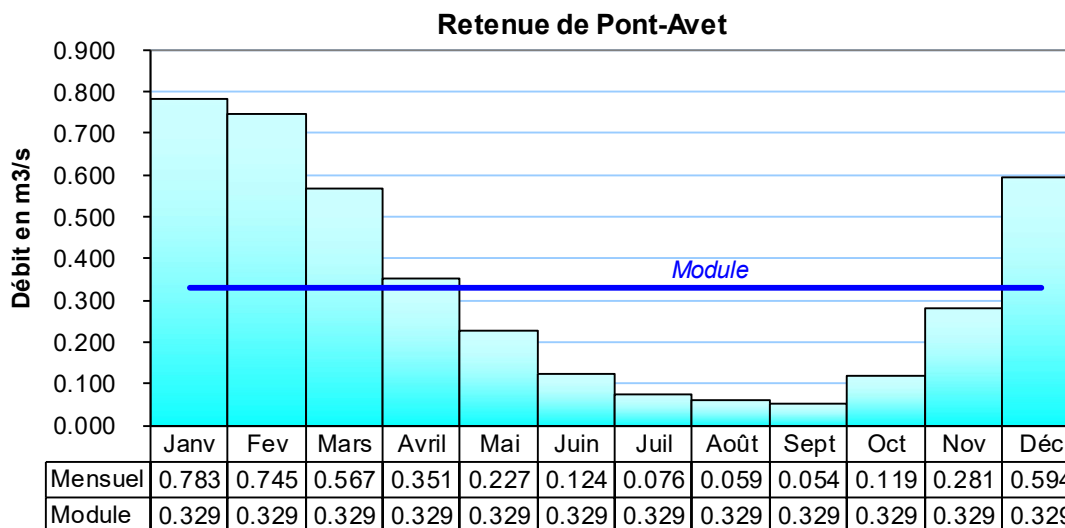


Figure 2-1 : Régime du Frémur au barrage de Pont-Avet

On note ainsi que le module (débit journalier moyen interannuel) du Frémur au droit du barrage de Pont-Avet est de **329 L/s**.

En ce qui concerne les crues courantes, on obtient **3,1 m³/s** pour le débit journalier d'occurrence annuelle, en considérant qu'il correspond à 80% de la crue d'occurrence biennale (ajustement de Gumbel dans la banque HYDRO).

2.1.3 Méthodes de calcul des débits de crue

2.1.3.1 Crue d'occurrence décennale

Les débits des crues observées à la station hydrométrique de Pleslin-Trigavou (complétées par les observations antérieures à la station hydrométrique de Trémeureuc – extrapolation selon la formule de Myer) ont fait l'objet d'une analyse détaillée en vue de déterminer les débits des crues de différentes occurrences (ajustement de Gumbel).

Le débit de pointe de la crue d'occurrence décennale a fait l'objet d'une analyse comparative selon différentes méthodes :

- Extrapolation des débits ajustés à la station hydrométrique de Pleslin-Trigavou selon :
 - la formule de Myer,
 - la formule de Francou-Rodier,
- Méthodes semi-empiriques établies par le CMAGREF (IRSTEA) :
 - CRUPEDIX,
 - SOCOSE.

Le point Tableau 2-1 présente les valeurs obtenues pour le débit de pointe de la crue décennale, selon ces différentes méthodes d'évaluation.

Tableau 2-1 : Évaluation du débit de la crue d'occurrence décennale à la retenue de Pont-Avet

Méthode d'évaluation	Débit de pointe
Extrapolation selon Myer	11,6 m ³ /s
Extrapolation selon Francou-Rodier	11,8 m ³ /s
Méthode CRUPEDIX	8,2 m ³ /s
Méthode SOCOSE	11,5 m ³ /s

Par sécurité, il a été retenu la valeur maximale de **11,8 m³/s** (extrapolation selon Francou-Rodier) pour la valeur du débit de pointe de la crue d'occurrence décennale.

2.1.3.2 Estimation des crues rares

Les débits des crues rares sont extrapolés par la méthode du gradex ; cette méthode a été mise au point par EdF dans les années soixante pour dimensionner les évacuateurs de crues des grands barrages. Elle repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'un débit fixé (généralement d'occurrence décennale), toute la surface du bassin versant en amont d'une retenue participe au ruissellement (coefficient d'imperméabilisation = 100%).

La détermination des débits à des fréquences rares se fait alors par extrapolation selon la courbe d'ajustement statistique des pluies (courbe de Gumbel), dont le gradient est appelé « gradex » (gradient exponentiel).

Des développements plus récents réalisés par le CEMAGREF (IRSTEA) proposent des extrapolations moins « brutales », en supposant une saturation progressive des sols au-delà de la fréquence pivot retenue ; on parle alors de méthode du gradex améliorée, esthétique ou progressive.

La méthode du gradex esthétique a été utilisée avec les paramètres suivants :

- Surface du bassin versant en amont de la retenue : 54 km²,
- Débit pivot (pointe de la crue décennale) : 11,8 m³/s,
- Coefficient de pointe de la crue : 1,5 (cf Étude du barrage de Bois-Joli, ISL 2012 – bassin versant de 46,2 km²),
- Gradex des pluies de 24 h : 12,7 mm/24h,

- Gradex des débits : 2,3 m³/s.

Cette méthode conduit aux débits de pointe des crues d'occurrences rares présentés dans le Tableau 2-2, et illustrés en Figure 2-2.

Tableau 2-2 : Débits des crues à la retenue de Pont-Avet, selon le gradex esthétique

Période de retour	Débit de pointe	Volume écoulé
10 ans	11,8 m ³ /s	680 000 m ³
100 ans	27,1 m ³ /s	1 560 000 m ³
300 ans	38,6 m ³ /s	2 220 000 m ³
1 000 ans	52,3 m ³ /s	3 010 000 m ³
3 000 ans	65,1 m ³ /s	3 750 000 m ³
10 000 ans	79,3 m ³ /s	4 570 000 m ³

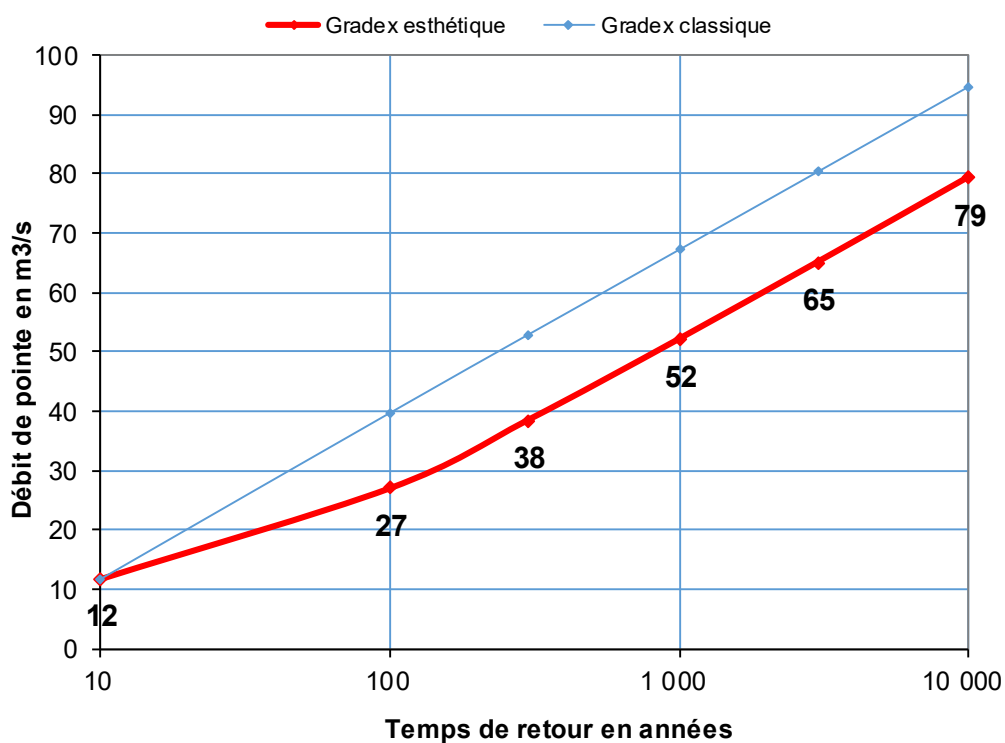


Figure 2-2 : Détermination des crues rares par la méthode du gradex esthétique

2.2 Hydrogrammes de projet

À partir des débits de pointe de crue, il est possible de construire des hydrogrammes de projet selon la formulation suivante¹ :

$$Q(t) = 2 Q_p \cdot [0.67 \cdot t/D]^\alpha / [1 + (0.67 \cdot t/D)^{2\alpha}]$$

Avec :

- t : instant exprimé en heures,
- Q(t) : débit à l'instant « t »,
- Q_p : débit de pointe de la crue de projet en m³/s,
- D : durée caractéristique de la crue de projet en heures,
- α : coefficient à caler pour obtenir le volume écoulé de la crue en 24h.

Le coefficient « α » a été calé avec le volume écoulé en crue millénale, soit la valeur de **2,3**.

La Figure 2-3 présente, pour le barrage de Pont-Avet, les hydrogrammes des crues de projet des périodes de retour 10, 100 et 1 000 ans de durée caractéristique 10 h (calculé avec la formulation SOCOSE).

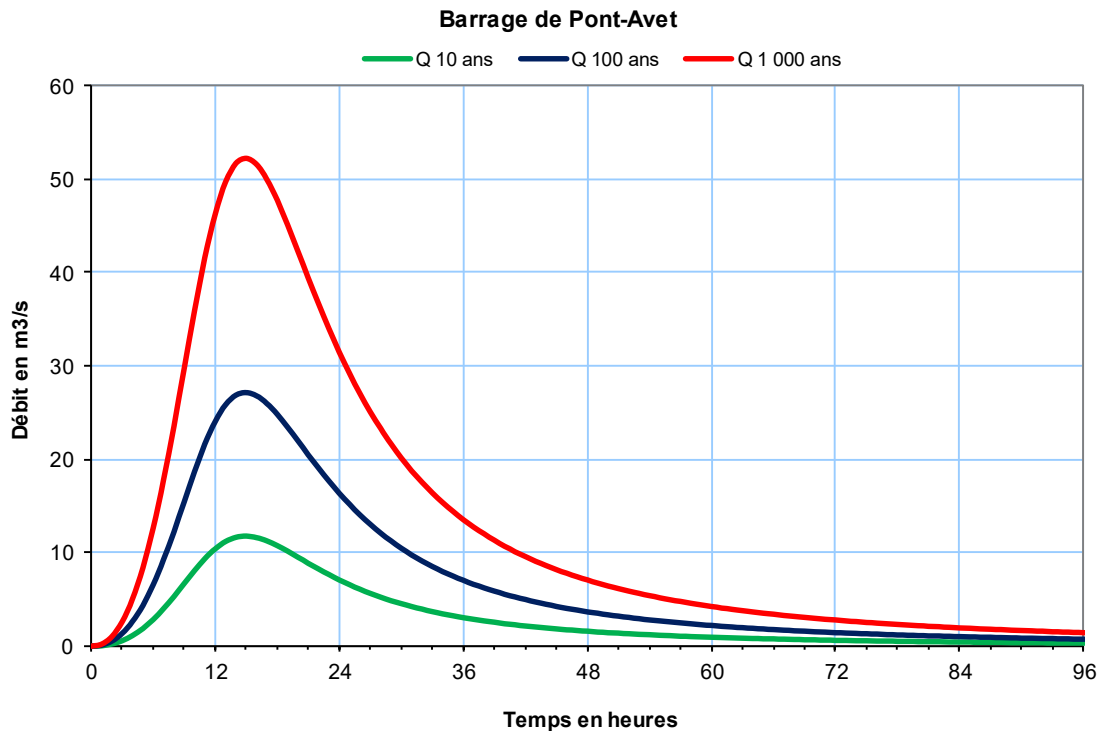


Figure 2-3 : Hydrogrammes des crues de projet au barrage de Pont-Avet

¹ Voir « Petits barrages – Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi » - CFGB 2002

2.3 Choix des crues de projet

Les recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages ont été établies par le CFBR (Comité Français des Grands Barrages) en juin 2013. Une partie de ces recommandations a maintenant été intégrée dans la réglementation.

Ainsi l'arrêté du 6 août 2018 (Annexe I - Chapitre III - alinéa 11) définit les situations de crue exceptionnelle pour laquelle la cote des Plus Hautes Eaux (PHE) est atteinte, selon le type de barrage et sa classification (voir Tableau 2-3).

Tableau 2-3 : Périodes de retour (en années) des crues exceptionnelles selon la classe du barrage

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

Le barrage de Pont-Avet est un barrage en remblai classé en « C », la situation de crue exceptionnelle correspond donc à la crue d'occurrence 1 000 ans.

2.4 Influences aval

Le niveau de la mer à l'embouchure du Frémur est connu au marégraphe de Saint-Malo soit :

- -6,29 mIGN69 pour la basse mer de coefficient 120,
- +7,30 mIGN69 pour la haute mer de coefficient 120 (marée astronomique).

Le barrage est donc soumis à influence aval lors des marées exceptionnelles. Ainsi le 28 février 2010 (Xynthia), le niveau au pied de la digue, a atteint des cotes comprises entre 7,30 et 7,40 mIGN. Le coefficient de marée était alors de 102 avec une surcote de 0,88 m.

Dans l'arrêté inter-préfectoral du 7 mai 2019 (article 1.3), il est demandé une note de dimensionnement prenant en compte :

- Une crue de période de retour 1 000 ans,
- Un niveau aval initial correspondant à une crue de période de retour 1 an,
- Un vent de période de retour 50 ans (vérification de la revanche).

Le niveau d'eau en aval du barrage de Pont-Avet est conditionné d'une part par la marée, et d'autre part par la gestion du plan d'eau du Moulin à marée de Roche-Goude Ce dernier est muni d'un seuil déversant de 10 m de longueur à la cote 6,75 mIGN. La crue d'occurrence annuelle 3,1 m³/s (voir §2.1.2) correspond à une charge de 0,35 m sur le seuil déversant, soit une cote du plan d'eau à **7,10 mIGN**.

Dans l'arrêté inter-préfectoral, il est également demandé l'étude de l'impact de scénarii (crue + niveau aval) d'occurrence millénaire.

On considère donc le scénario avec un niveau de marée d'occurrence décennale soit 7,20 – 7,30 mIGN (cf Plan de Prévention des Risques Littoraux de la commune de Saint-Malo, DHI juin 2013), en concomitance avec une crue de projet d'occurrence centennale. Les simulations réalisées par CACG (Novembre 2019) conduisent alors à une cote de **7,93 mIGN** en aval immédiat du barrage de Pont-Avet, avec un fonctionnement normal du Moulin à marée de Roche-Goude.

3 ETUDE HYDRAULIQUE

3.1.1 Caractéristiques de la retenue et des ouvrages

3.1.1.1 La retenue

La Figure 3-1 présente la retenue du barrage de Pont-Avet avec ses principales caractéristiques.



Figure 3-1 : Retenue de Pont-Avet

La retenue de Pont-Avet a fait l'objet de levés topographiques (GEOFIT – Juin 2017) et bathymétriques (GEOxyz – Mars 2016).

Selon les levés topographiques, la crête de la digue (voir Figure 3-2) varie entre les cotes 11,53 mIGN et 11,80 mIGN, sur une longueur de 115 m.

On note également que la cote du Frémur au pied aval du remblai est de l'ordre de 4,80 mIGN, ce qui compte tenu d'une cote maximale en crête de 11,80 mIGN, conduit à une hauteur du barrage de 7,0 m (au lieu des 11,7 m pris en compte dans l'arrêté préfectoral—voir introduction).

Les courbes « Hauteur – Surface – Volume » de la retenue (voir Figure 3-4) sont extraites du rapport bathymétrique. Elles mettent en évidence qu'à la cote de retenue normale, le volume stocké est de l'ordre de 270 000 m³ et non de 500 000 m³ comme pris en compte dans l'arrêté préfectoral (voir introduction).

Avec les caractéristiques réelles du barrage de Pont-Avet (hauteur de 7 m et volume de la retenue de 270 000 m³), le ratio $H^2V^{0,5}$ prend la valeur 25 qui maintient son classement en « C ».

3.1.1.2 Les évacuateurs de crues

L'évacuateur de crue (voir Figure 3-3) est situé sur la berge droite de la retenue, il comprend dans sa configuration actuelle, selon des informations du maître d'ouvrage :

- 5 pertuis de 4,75 m de large de cote seuil **10,30** mIGN, pouvant recevoir des batardeaux (déversement à la cote 10,80 mIGN), l'enlèvement des réhausses permettrait d'abaisser la cote de déversement à 10,20 mIGN,
- 1 passe de 25,3 m de largeur à la cote actuelle de 10,78 mIGN après enlèvement de la réhausse de 10 cm.



Figure 3-2 : Vue du barrage (photo EPSM, 28 février 2010)



Figure 3-3 : Vue des déversoirs (photo EPSM, 28 février 2010)

Cote IGN	Niveau m	Surface m ²	Volume m ³
3.08	-7.8	0	0
3.5	-7.38	3	1
4	-6.88	3	2
4.5	-6.38	62	6
5	-5.88	446	140
5.5	-5.38	683	424
6	-4.88	936	827
6.5	-4.38	1 502	1 387
7	-3.88	11 149	3 687
7.5	-3.38	22 056	12 882
8	-2.88	49 668	27 919
8.5	-2.38	72 176	58 875
9	-1.88	96 599	101 346
9.5	-1.38	123 602	155 785
10	-0.88	142 177	223 584
10.30	0	142 392	266 333
10.5	0.20	142 535	294 833
10.88	0.58	142 535	348 996
11	0.70	142 535	366 100

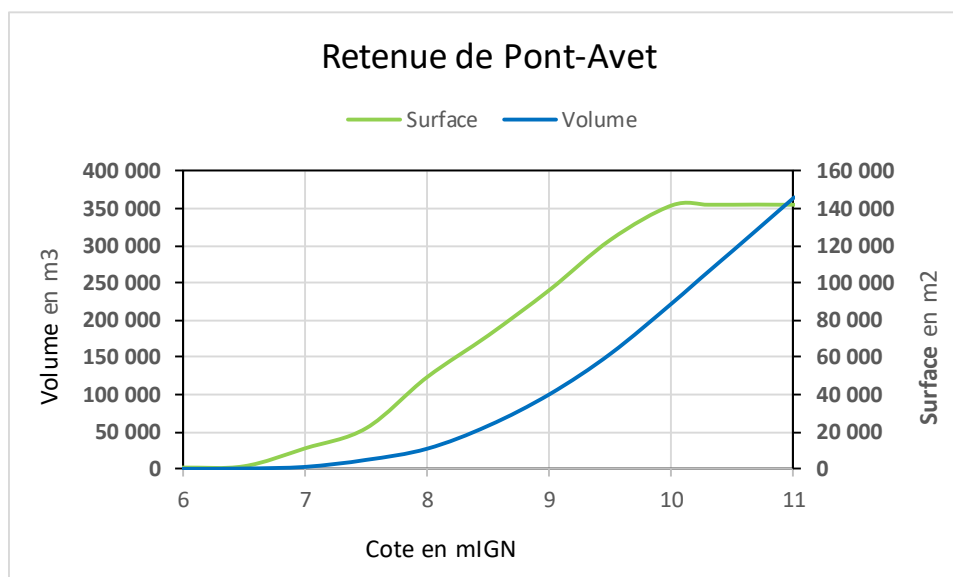


Figure 3-4 : Courbes « Hauteur-Surface-Volume » de la retenue de Pont-Avet

3.1.1.4 Les organes de vidange

L'ouvrage de vidange est constitué de 3 conduites $\Phi 700$ en parallèle sur 22 m de longueur avec des fils d'eau aval de 4,74 / 4,78 et 4,76 mIGN. Actuellement ces 3 conduites ne sont pas fonctionnelles pour cause d'envasement, et de vannages cassés.

Pour assurer la vidange et maintenir la cote de remplissage entre 9 m et 9,5 mIGN, des siphons ont été mis en place :

- Un siphon en $\Phi 300$,
- Un siphon en $\Phi 100$ pour le débit réservé,
- Un siphon d'appel pour les anguilles (continuité écologique).

3.1.2 Capacités de l'évacuateur de crues

Les capacités de laminage de la retenue de Pont-Avet sont négligeables, en effet avec une superficie de l'ordre de 15 ha de plan d'eau, c'est 1 500 m³ qu'il est possible de stocker par tranche de 10 cm ; ce qui est notoirement faible au regard des volumes écoulés dans les hydrogrammes de projet (voir Tableau 2-2).

Avec une cote normale du plan d'eau à 10,30 mIGN on obtient la courbe d'étalonnage de l'évacuateur de crues de Pont-Avet présentée en Figure 3-5.

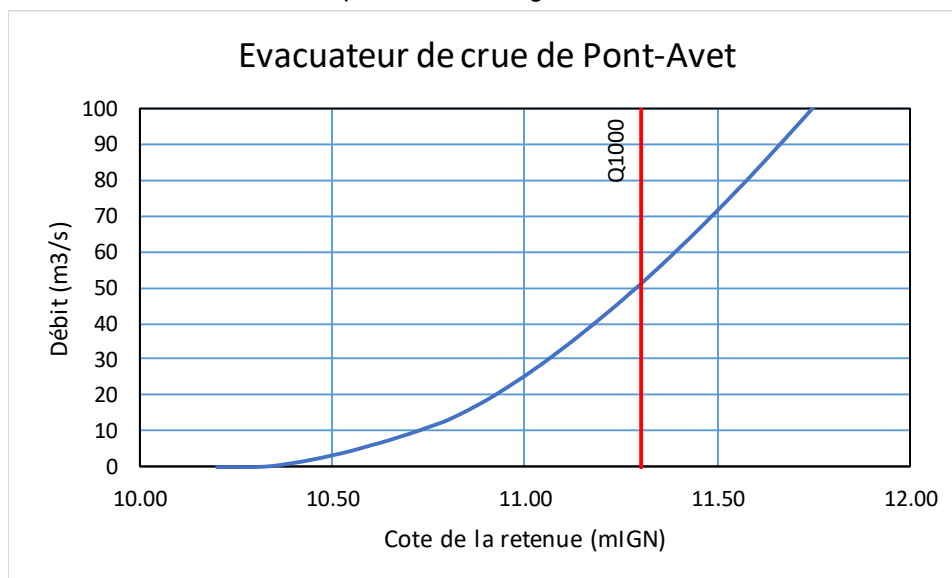


Figure 3-5 : Étalonage de l'évacuateur de crues de Pont-Avet

On notera que les niveaux aval dans le Frémur (au maximum de l'ordre de 8 mIGN – cf §2.4) n'influencent pas le fonctionnement de l'évacuateur de crues de Pont-Avet.

Compte tenu de l'absence de laminage de la retenue de Pont-Avet, on obtient sur l'évacuateur la cote de **11,30 mIGN** pour la crue exceptionnelle d'occurrence millénaire.

3.1.3 Calcul de la revanche minimale

3.1.3.1 Réglementation

La revanche est la différence entre la cote de la retenue et la crête du barrage (voir Figure 3-6), éventuellement majorée de la hauteur d'un mur pare-vagues. Cette hauteur libre est essentiellement destinée à éviter la submersion par les vagues, mais joue en outre un rôle essentiel dans la sécurité vis-à-vis des crues.

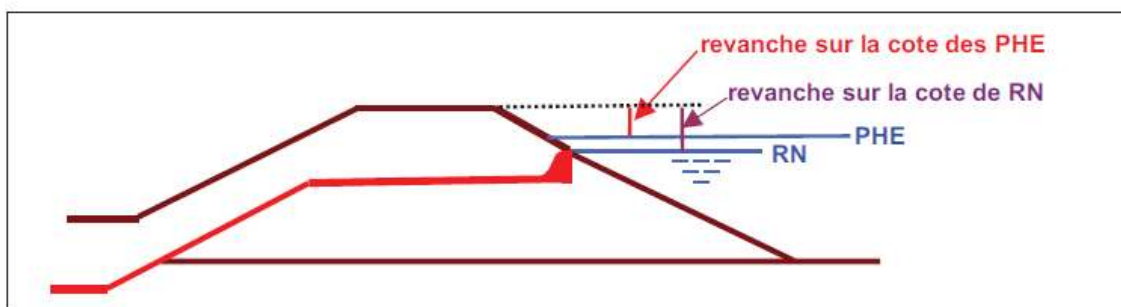


Figure 3-6 : Définition de la revanche (source : *Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – CFBR Juin 2013*)

Sous l'action du vent, il se crée des vagues à la surface des plans d'eau. Celles-ci par leur effet de batillage, et de projection sur le parement amont des digues en terre peuvent conduire à leur endommagement. Pour les barrages en maçonnerie la submersion de la crête peut conduire à des affouillements en aval.

Pour la détermination de la revanche, l'arrêté du 6 août 2018 considère dans son annexe I – Chapitre VI « Prescriptions diverses » (alinéa 27) la configuration la plus défavorable entre les deux suivantes :

- Un vent de période de retour 50 ans soufflant sur une retenue à la cote des PHE,
- Un vent de période de retour 1 000 ans soufflant sur une retenue à la cote de retenue normale (RN).

3.1.3.2 Méthode de calcul

Le calcul de la revanche minimale est réalisé selon les recommandations du Comité Français des Barrages et Réservoirs (CFBR - juin 2013).

Pour le calcul de la **hauteur significative des vagues**, les recommandations du CFBR préconisent l'usage de la formule de Smith, adaptée aux conditions d'eau profonde :

$$H_s = 0,00048 \cdot U_a \cdot \sqrt{F}$$

Avec :

- H_s : hauteur significative des vagues (m),
- F : Longueur de Fetch² (m),
- U_a : vitesse efficace ajustée du vent à 10 m (m/s) soit :

$$U_a = U \cdot \sqrt{0,75 + 0,067 \cdot U}$$

Avec :

- U : vitesse moyenne du vent à 10 m au-dessus de la surface de l'eau.

² Plus grande longueur droite du plan d'eau en face du parement amont du barrage.

Le coefficient minorateur qui tient compte de la direction du vent par rapport aux vagues n'a pas été appliqué (hypothèse maximaliste).

La vitesse du vent d'occurrence millénaire s'obtient en multipliant par 1,2 la valeur de la vitesse du vent d'occurrence cinquantennale.

Selon les règles NV65 (CSTB, 2009) définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions, le barrage est situé en région 2, correspondant à une vitesse de référence du vent moyen sur 10 minutes à 10 m de hauteur d'occurrence cinquantennale, de 24 m/s (86 km/h).

Pour tenir compte de la vitesse du vent à la surface très lisse du plan d'eau, la vitesse de référence doit être corrigée par un coefficient multiplicateur qui dépend du fetch (voir Figure 3-7).

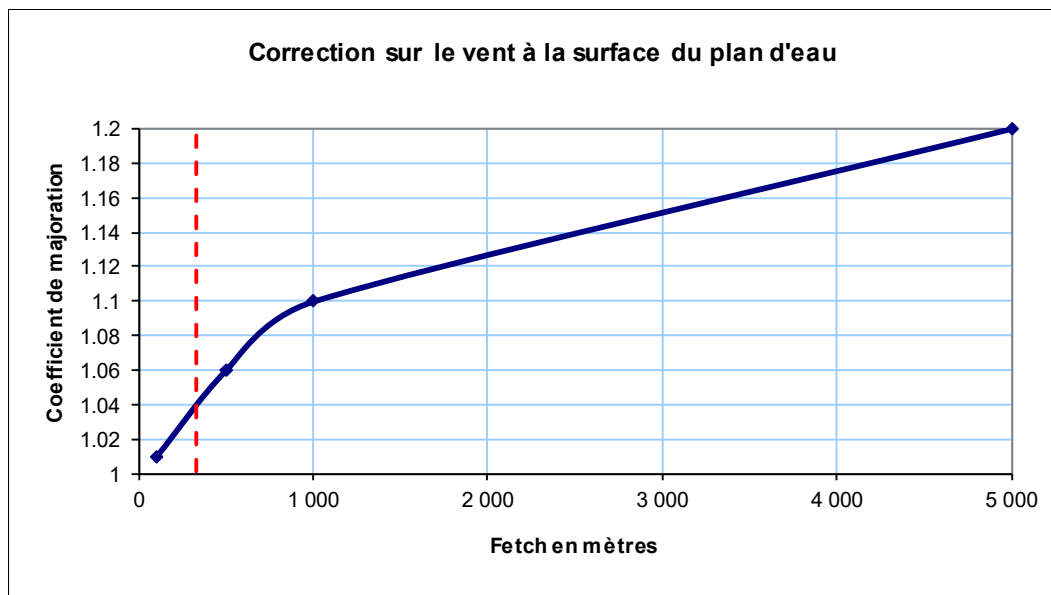


Figure 3-7 : Correction de la vitesse du vent (Saville et al., 1962)

Ainsi pour un **fetch de 330 m** (distance entre le remblai de la RD168-RD768 et la crête du barrage), on obtient 1,04 pour le coefficient multiplicateur.

De même, un second coefficient de correction doit être appliqué pour tenir compte de la durée de formation des vagues (Smith et al., 1991) :

$$T_{\min} = 27 \cdot F^{0,72} \cdot U_a^{-0,44}$$

Avec :

- T_{\min} : durée minimale nécessaire à la formation des vagues (secondes)
- F : longueur du fetch (m)
- U_a : vitesse efficace ajustée (m/s).

Ce second coefficient est obtenu par calculs itératifs selon (USACE, 1984) ; on obtient **1,07** avec les données considérées (durée minimale nécessaire à la formation des vagues de l'ordre de 3 minutes).

La hauteur de la **vague de projet** est fournie par la formule suivante (Saville et al., 1962) :

$$H_d = K \cdot H_s$$

Avec :

- H_d : hauteur de la vague de projet,
- K : coefficient dépendant de la nature de l'ouvrage ($K=0,75$ pour les barrages poids ou voûtes en béton, $K=1,25$ pour les barrages en terre),
- H_s : hauteur significative des vagues (voir ci-dessus).

Pour la vague de projet, on estime ensuite la hauteur de déferlement (run-up) qui dépend de la pente du parement amont et de la rugosité du matériau constitutif (voir Figure 3-8).

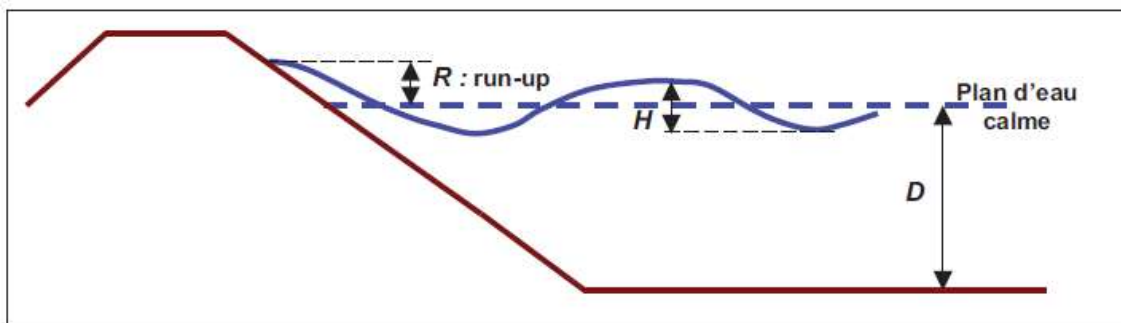


Figure 3-8 : Définition du run-up lié au vent (source : *Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages – CFBR Juin 2013*)

La détermination de la hauteur du déferlement « R » s'effectue selon la formule de Saville, après calcul des valeurs intermédiaires suivantes :

- Période du pic spectral (Smith, 1991) : $T = 0,0716 * F^{0,28} * Ua^{0,44}$
- Longueur d'onde des vagues (m) : $L = 1,56 * T^2$
 - ▷ avec la condition « eau profonde » vérifiée soit la profondeur $D > L / 2$

Dans le cas d'un parement amont lisse (masque en béton, géomembrane non recouverte), le déferlement relatif « R/Hd » est alors donné dans le Tableau 3-1 (Saville et al, 1962).

Tableau 3-1 : Valeurs du déferlement relatif « R/Hd » sur un parement lisse

Pente du talus amont →	1/3	1/2,5	1/2
$H_d/L = 0,1$	1,15	1,4	1,9
$H_d/L = 0,08$	1,37	1,64	2,0
$H_d/L = 0,07$	1,49	1,73	2,0

La revanche minimale doit être supérieure à la hauteur de déferlement calculée.

3.1.3.3 Application au barrage de Pont-Avet

Le barrage de Pont-Avet est un barrage en remblai avec un parement amont à 1V/2H et un masque en béton. La profondeur maximale de la retenue est de l'ordre de 6 m.

On rappelle les paramètres climatologiques pris en considération pour le barrage de Pont-Avet :

- 24 m/s (soit 86 km/h) pour la vitesse de référence du vent moyen sur 10 minutes à 10 m de hauteur d'occurrence cinquantennale (NV65 – zone 2),
- 1,04 de coefficient multiplicateur pour la vitesse du vent à la surface du plan d'eau, avec un fetch de 330 m,
- 1,07 de coefficient de correction pour la durée de formation des vagues (≈ 3 mn),
- 43 et 55 m/s, soit 155 et 198 km/h, pour la vitesse efficace ajustée du vent, respectivement d'occurrence 50 ans et 1 000 ans.

On obtient alors les valeurs caractéristiques présentées au Tableau 3-2.

Tableau 3-2 : Détermination de la revanche minimale

Désignation	Vent de 50 ans	Vent de 1 000 ans
Hs : hauteur significative des vagues (m)	0,37	0,48
Hd : hauteur de la vague de projet (m)	0,46	0,60
L : longueur d'onde des vagues (m)	5,6	7,0
Ratio « Hd/L »	0,08	0,09
Déversement relatif « R/Hd »	2,00	2,00
R : hauteur de déferlement des vagues (m)	0,93	1,20

On rappelle que la crête du barrage est à la cote minimale de 11,50 mIGN, pour une retenue normale à 10,30 mIGN, soit une revanche sur RN de 1,20 m.

Le barrage satisfait donc à la condition de revanche minimale pour la situation avec un vent d'occurrence millénaire (1,20 m).

En crue exceptionnelle (occurrence millénaire), la cote de la retenue atteint (voir Figure 3-5), **11,30 m** (PHE), et la revanche est alors de 0,20 m soit -0,73 m par rapport à la condition de revanche minimale pour un vent d'occurrence 50 ans (0,93 m).

Il est donc nécessaire de mettre en place un pare-vague.

*Avec un pare-vague à la cote 12,40 mIGN (hauteur sur la crête variant de 0,50 à 0,90 m) , il est possible d'envisager une cote de retenue normale **RN = 10,60 mIGN** (réhausse des seuils des pertuis déversants).*

3.1.4 Règles de vidange

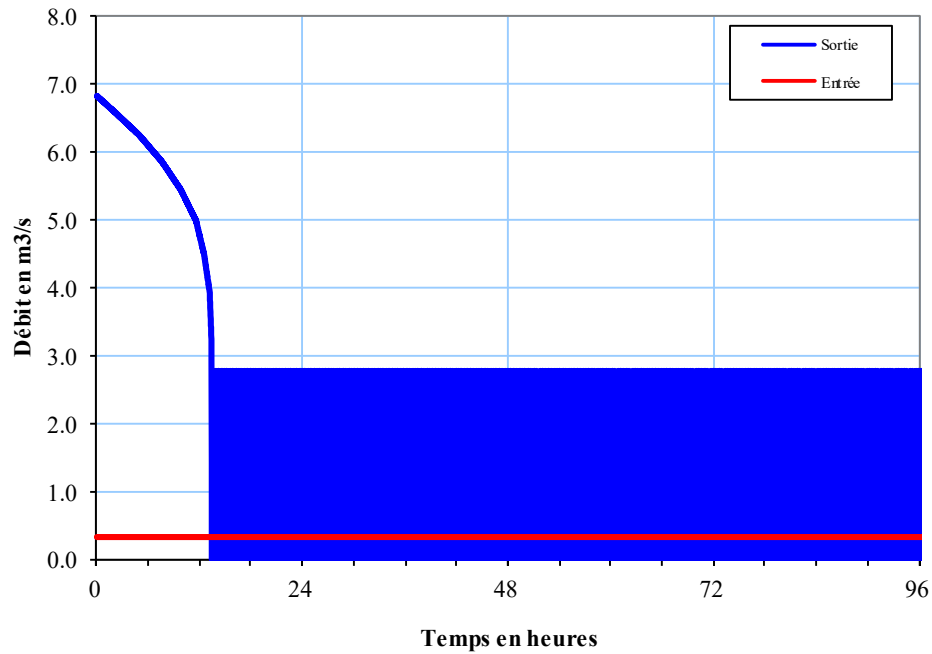
La vidange de la retenue d'un barrage peut être nécessaire afin de procéder à des opérations de contrôle de son vieillissement, et/ou à des travaux de rénovation.

Ainsi, il est important de connaître la durée de vidange d'une retenue en fonction de ses organes dits de vidange, qui doivent être maintenus en permanence, en bon état de fonctionnement.

La vérification du dimensionnement de la vidange de fond est généralement réalisée en adoptant la règle admise par le Comité Technique Permanent des Barrages et des Ouvrages Hydrauliques (CTPBOH), selon laquelle il faut pouvoir réduire de moitié la charge sur l'ouvrage en moins de 8 jours, et réaliser la vidange complète en moins de 21 jours.

La vidange de la retenue de Pont-Avet a été simulée avec les 3 conduites $\Phi 700$ en service, et sans influence aval. Il faut un peu plus de **12 heures** pour vidanger totalement la retenue (voir Figure 3-9), il est donc possible de s'affranchir des conditions aval, en gérant la vidange complète sur une journée.

Hydrogrammes entrant et sortant



Marnage dans la retenue

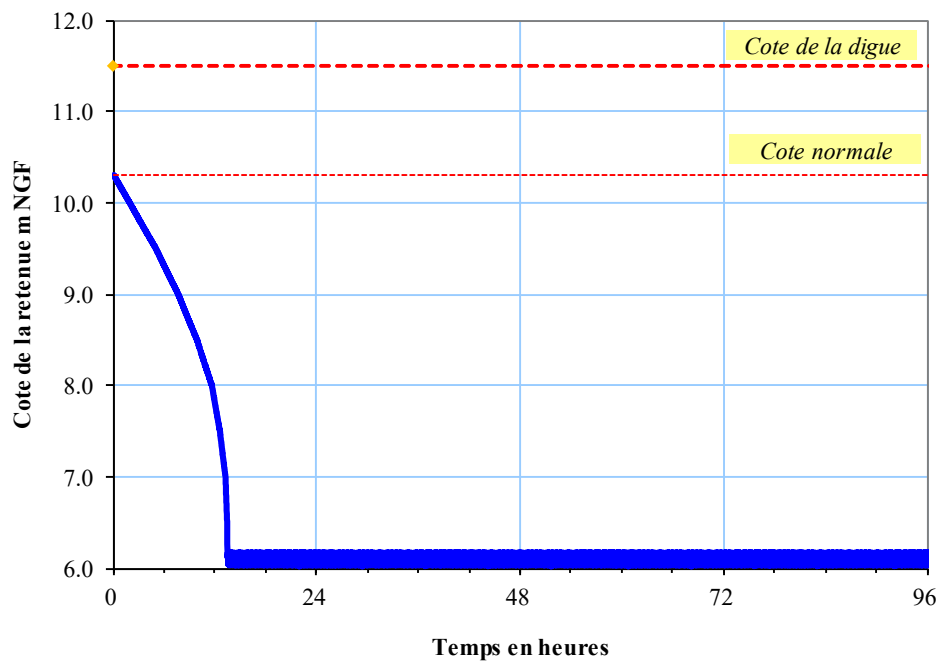


Figure 3-9 : Vidange de la retenue de Pont-Avet avec les 3 conduite $\Phi 700$ en service

4 GESTION DES CRUES EN PHASE CHANTIER

En phase chantier (réhabilitation des ouvrages de vidange et des vannages associés), une analyse de l'impact des hydrogrammes des crues de projet d'occurrence décennale et centennale a été menée.

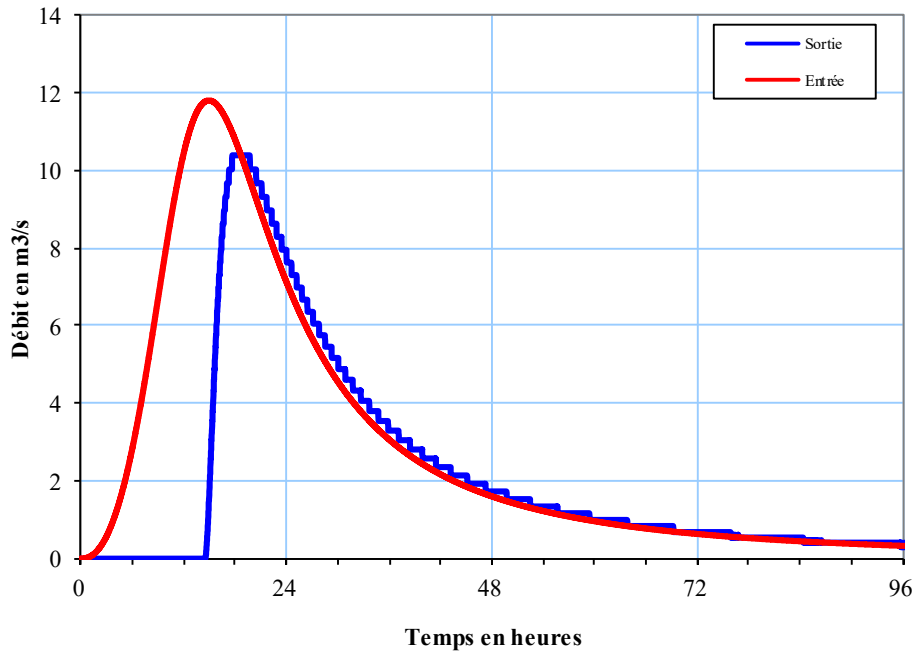
Pour ce faire, il est simulé le laminage des hydrogrammes des crues de projet avec une retenue initialement vide, et pas d'ouvrage de vidange en service.

Par ailleurs, on suppose la cote de déversement des pertuis à 10,30 mIGN (cote normale), et celle de la lame déversante aval à 10,78 mIGN.

Pour la crue de projet d'occurrence décennale (voir Figure 4-1), la retenue est remplie juste après la pointe de la crue, et le débit de pointe est un peu laminé (12 m³/s à 10,4 m³/s). Le niveau maximal de remplissage atteint 10,73 mIGN et seuls les pertuis déversants fonctionnent.

Pour la crue de projet d'occurrence centennale (voir Figure 4-2), la retenue est remplie avant l'arrivée de la pointe de crue : il n'y a pas de laminage. Le niveau maximal de remplissage atteint 11,06 mIGN, et reste inférieur à la cote minimale de la digue (11,50 mIGN). Tous les seuils déversants sont sollicités (pertuis amont et lame déversante aval).

Hydrogrammes entrant et sortant



Marnage dans la retenue

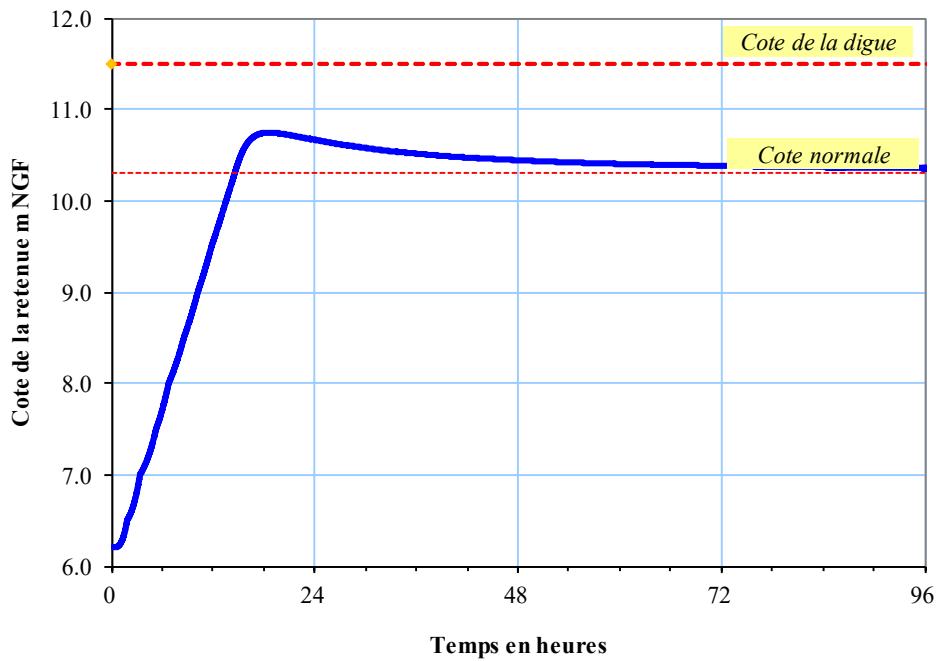
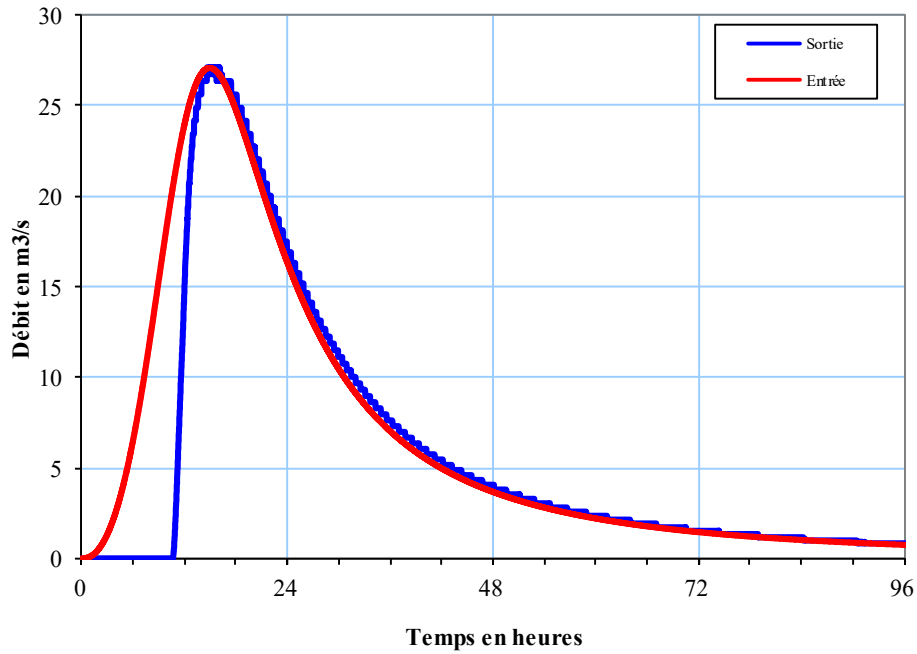


Figure 4-1 : Laminage de la crue décennale en phase chantier, vidange hors service

Hydrogrammes entrant et sortant



Marnage dans la retenue

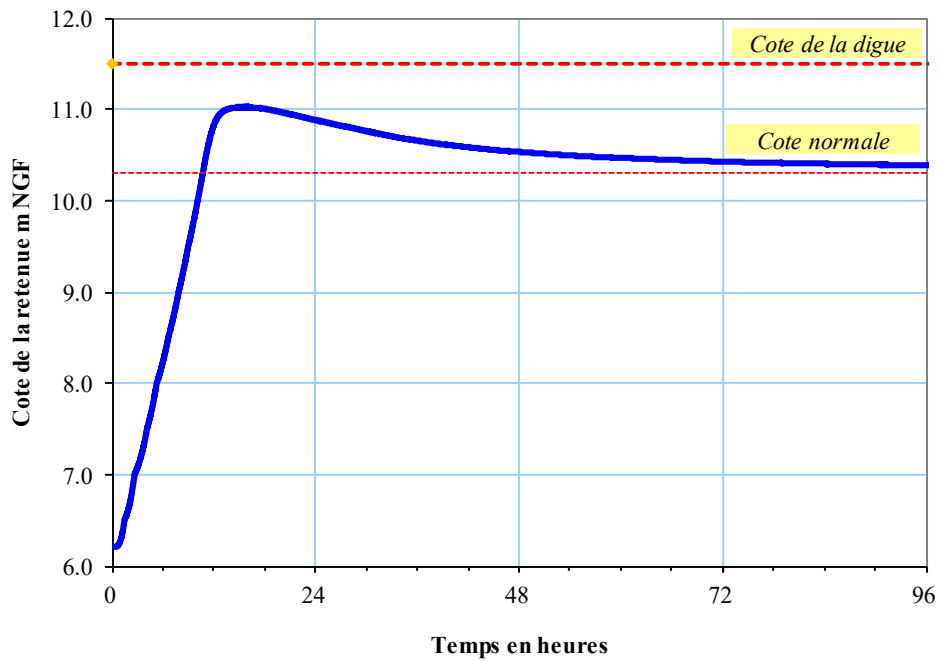


Figure 4-2 : Laminage de la crue centennale en phase chantier, vidange hors service