

# ETUDE HYDRAULIQUE DU FREMUR AU DROIT DU BARRAGE DE PONT-AVET



*Le barrage de Pont-Avet sur le Frémur (CACG-Sept 2019)*

**V2 - NOVEMBRE 2019**





---

## Table des matières

---

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ETUDE HYDROLOGIQUE ET DEFINITION DES CONDITIONS AUX LIMITES .....</b>	<b>3</b>
2.1	<i>Estimation des débits de crues de référence aux barrages du Bois Joli, de Pont-Avet et de Roche-Goude.....</i>	<i>3</i>
2.1.1	Préambule .....	3
2.1.2	Analyse des pluies.....	3
2.1.3	Pluies extrêmes observées .....	6
2.1.4	Analyse des débits .....	7
2.1.5	Détermination du coefficient de pointe .....	10
2.2	<i>Elaboration d'hydrogrammes de crue pour différentes périodes de retour.....</i>	<i>10</i>
2.2.1	Débits de crue de fréquences caractéristiques aux barrages.....	10
2.2.2	Hydrogrammes de crue exceptionnelle.....	12
2.3	<i>Analyse du laminage de crue par les barrages de Bois Joli et de Pont Avet.....</i>	<i>14</i>
2.3.1	Généralités .....	14
2.3.2	Barrage de Bois-Joli .....	15
2.3.3	Barrage de Pont-Avet .....	16
2.3.4	Barrage de Roche-Goude.....	17
2.4	<i>Analyse de la condition limite aval au niveau du moulin de Rochegoude pour chaque crue de référence en fonction du niveau de la mer.....</i>	<i>19</i>
<b>3</b>	<b>ANALYSE DE TERRAIN ET CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE.....</b>	<b>20</b>
3.1	<i>Analyse hydraulique de terrain.....</i>	<i>20</i>
3.2	<i>Campagne topographique .....</i>	<i>24</i>
<b>4</b>	<b>MODELISATION HYDRAULIQUE .....</b>	<b>27</b>
4.1	<i>Remarques préliminaires .....</i>	<i>27</i>
4.2	<i>Modélisation du secteur d'étude .....</i>	<i>27</i>
4.2.1	Montage du modèle hydraulique.....	27
4.2.2	Calage du modèle hydraulique.....	29
4.2.3	Simulations des crues du Frémur .....	29

## ANNEXES

---

## Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Stations pluviométriques utilisées pour l'analyse .....	4
Tableau 2 : Cumuls journaliers maximaux annuels à Dinard (1960-2016) .....	5
Tableau 3 : Cumuls journaliers maximaux annuel à Lannemezan (1870-2013) 10 et 100 ans et GRADEX .....	6
Tableau 4 : Données nécessaires à l'évaluation du débit de pointe décennal.....	7
Tableau 5 : Evaluation du débit de pointe décennal au barrage par les formules semi-empiriques .....	7
Tableau 6 : Chronique des débits de pointe du Frémur à Pleslin-Trigavou.....	8
Tableau 7 : Ajustement de la chronique des débits de pointe du Frémur à Pleslin-Trigavou à une loi de Gumbel .....	8
Tableau 8 : Evaluation du débit de pointe décennal aux barrages par les formules de Myer et de Francou-Rodier .....	9
Tableau 9 : Evaluation du débit de pointe décennal aux barrages .....	10
Tableau 10 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour au barrage de Bois-Joli.....	11
Tableau 11 : Ecart entre l'étude hydrologique ISL 2012 et l'étude actuelle pour Bois-Joli .....	11
Tableau 12 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour au barrage de Pont-Avet .....	12
Tableau 13 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour au bge de Roche-Goude .....	12
Tableau 14 : Caractéristiques physiques du secteur d'étude.....	28
Tableau 15 : Résultats synthétiques des simulations en cotes d'altitude pour un fonctionnement normal du moulin de Rochegoude.....	30
Tableau 16 : Résultats synthétiques des simulations en cotes d'altitude pour un fonctionnement dégradé du moulin de Rochegoude.....	30



## Liste des figures

Figure 1 : Zone d'étude .....	2
Figure 2 : Localisation des stations hydropluviométriques utilisées .....	5
Figure 3 : Hydrogramme des crues 100 et 1000 ans au barrage de Bois-Joli .....	13
Figure 4 : Hydrogramme des crues 100 et 1000 ans au barrage de Pont-Avet .....	13
Figure 5 : Hydrogramme des crues 100 et 1000 ans au barrage de Roche-Goude .....	14
Figure 6 : Barrages sur le Frémur .....	15
Figure 7 : Barrage de Bois-Joli .....	16
Figure 8 : Barrage de Pont-Avet .....	17
Figure 9 : Barrage de Roche-Goude .....	18
Figure 10 : Vannes et mur réhaussé du moulin de Roche-Goude .....	21
Figure 11 : Peupliers dépérissant en bord du Frémur .....	21
Figure 12 : Chemin préférentiel de l'eau en amont du moulin de Roche-Goude .....	22
Figure 13 : Secteurs humides en aval du Moulin aux Filles .....	22
Figure 14 : Embâcles dans le Frémur en aval immédiat du Pont Avet et secteur entretenu cette année avec pêche de comptage des anguilles .....	23
Figure 15 : Evolution des formes du Frémur du Moulin de Roche-Goude au barrage de Pont Avet .....	24
Figure 16 : Topographie terrestre disponible .....	25
Figure 17 : Localisation des ouvrages recensés .....	26
Figure 18 : Maillage du modèle 2D du secteur .....	28
Figure 19 : Hauteur maximale atteinte lors de la crue de 2010 .....	29
Figure 20 : Hauteur d'eau dans le cas où le moulin fonctionne correctement .....	30
Figure 21 : Hauteur d'eau dans le cas où le moulin ne fonctionne pas .....	31
Figure 22 : Profil en long sans le cas d'un bon fonctionnement du moulin de Rochegoude .....	17
Figure 23 : Profil en long sans le cas d'un dysfonctionnement du moulin de Rochegoude .....	18

Historique des versions					
Date	Version	Nature	Rédaction	Vérification	Validation
SEPTEMBRE 2019	1	initial	A.BAYLE F.GALAUP F.MARTIGNAC	F.MARTIGNAC	L.BALLUT
OCTOBRE 2019	2	Application de la méthode du gradex esthétique	F.MARTIGNAC		



## 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Eau du Pays de Saint-Malo, syndicat de production d'eau potable sur le nord du département de l'Ille-et-Vilaine, gère le barrage de Pont-Avet depuis le 1<sup>er</sup> octobre 2018. Suite à une déclaration d'événement important sur ce barrage le 19 octobre 2018, Eau du Pays de Saint-Malo envisage de réaliser des travaux en été 2020 pour assurer la sécurité de l'ouvrage.

Le barrage de Pont-Avet est situé dans la plaine alluviale du fleuve Frémur à environ 1800 m en amont du barrage côtier de Rochegoude. L'écoulement des crues en aval du barrage est potentiellement soumis à l'influence de la marée.

Préalablement à ces travaux, et afin d'étudier les conditions de stabilité du barrage de Pont-Avet, Eau du Pays de Saint-Malo nécessite une étude hydraulique pour bien connaître les niveaux d'eau en aval immédiat du barrage dans les conditions suivantes :

- crues du Frémur, de période de retour 10, 100, 300 et 1000 ans ;
- marée de période de retour 10 ans.
- Fonctionnement de l'ouvrage de Roche-Goude dans 2 configurations :
  - Bonne gestion des ouvrages
  - Défaut de gestion des ouvrages ou abandon du moulin

Eau du Pays de Saint-Malo a confié à la CACG la réalisation de cette étude hydraulique. La Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG) travaille sur la modélisation hydraulique de cours d'eau et de barrage depuis de nombreuses années sur divers secteurs en France et à l'étranger grâce aux compétences telles que l'hydraulique fluviale, l'hydrologie, la géomorphologie fluviale, les enquêtes de terrain et la topographie systématique (orientées vers l'hydraulique et l'hydrogéomorphologie).

Le rapport suivant présente les résultats des investigations selon le déroulé exposé ci-dessous :

- Etude hydrologique et définition des conditions aux limites
- Analyse de terrain et campagne topographique
- Modélisation hydraulique
- Diagnostic

Figure 1 : Zone d'étude



## 2 ETUDE HYDROLOGIQUE ET DEFINITION DES CONDITIONS AUX LIMITES

### 2.1 Estimation des débits de crues de référence aux barrages du Bois Joli, de Pont-Avet et de Roche-Goude

#### 2.1.1 Préambule

Les attendus de cette analyse sont les débits de crue pour diverses périodes de retour (2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans) du Frémur avec une estimation de la crue millénaire.

Notre analyse est basée sur l'application de la méthode du GRADEX<sup>1</sup>, à partir d'une analyse des débits et des pluies.

La présente étude hydrologique est articulée autour des deux axes principaux de la méthode du GRADEX :

1. l'analyse des pluies, pour la détermination du GRADEX (pente de la droite d'ajustement des pluies sur un graphique de Gumbel)
2. l'analyse des débits, pour l'estimation du débit du point pivot (décennal) et du coefficient de pointe (rapport du débit de pointe au débit moyen 24h)

Les calculs seront faits pour les barrages de Bois Joli (46.2 km<sup>2</sup>), de Pont-Avet (54 km<sup>2</sup>) et de Roche-Goude (59.3 km<sup>2</sup>). La carte () donne les bassins versants concernés.

#### 2.1.2 Analyse des pluies

En théorie, la méthode du GRADEX devrait être appliquée à des pluies de durée égale à la durée caractéristique ou au temps de concentration du bassin, qui est voisine de 10H pour les bassins versants considérés. En ce sens, des durées de pluie inférieures à 24h (de l'ordre de 12h) seraient bien adaptées pour cette analyse. Cependant, des travaux du groupe de travail du CFGB (en particulier restitués dans le document « Les crues de projet des barrages : méthode du GRADEX », Novembre 1994) ont montré que, dans l'application de la méthode du GRADEX, les résultats dépendent finalement très peu du choix de la durée de référence, en particulier lorsque la durée de référence retenue est supérieure au temps de concentration.

Ceci justifie l'emploi de la durée de 24h, pour laquelle les données de pluie sont facilement obtenues par application du coefficient de Weiss (1,14) aux données de pluie journalière (non centrées), généralement disponibles en de nombreux points et sur de longues périodes.

C'est donc cette durée de pluie qui sert de base à la présente étude hydrologique.

---

<sup>1</sup> La méthode du Gradex est une approche hydropluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes (événement de durée de retour située entre 100 et 10 000 ans), développée par EDF et d'emploi très répandu en France. Elle repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'une certaine hauteur de pluie, généralement voisine de la pluie décennale sur les bassins imperméables à faible rétention (jusqu'à cinquantennale sur les bassins perméables à forte rétention), la saturation des sols fait que tout accroissement de précipitation se traduit par un accroissement équivalent du volume ruisselé. Autrement dit, au-delà d'un certain point pivot, la répartition statistique des volumes ruisselés pendant une durée caractéristique choisie suit la même loi de répartition (de Gumbel) que les pluies de même durée caractéristique, le GRADEX étant la pente de cette loi.



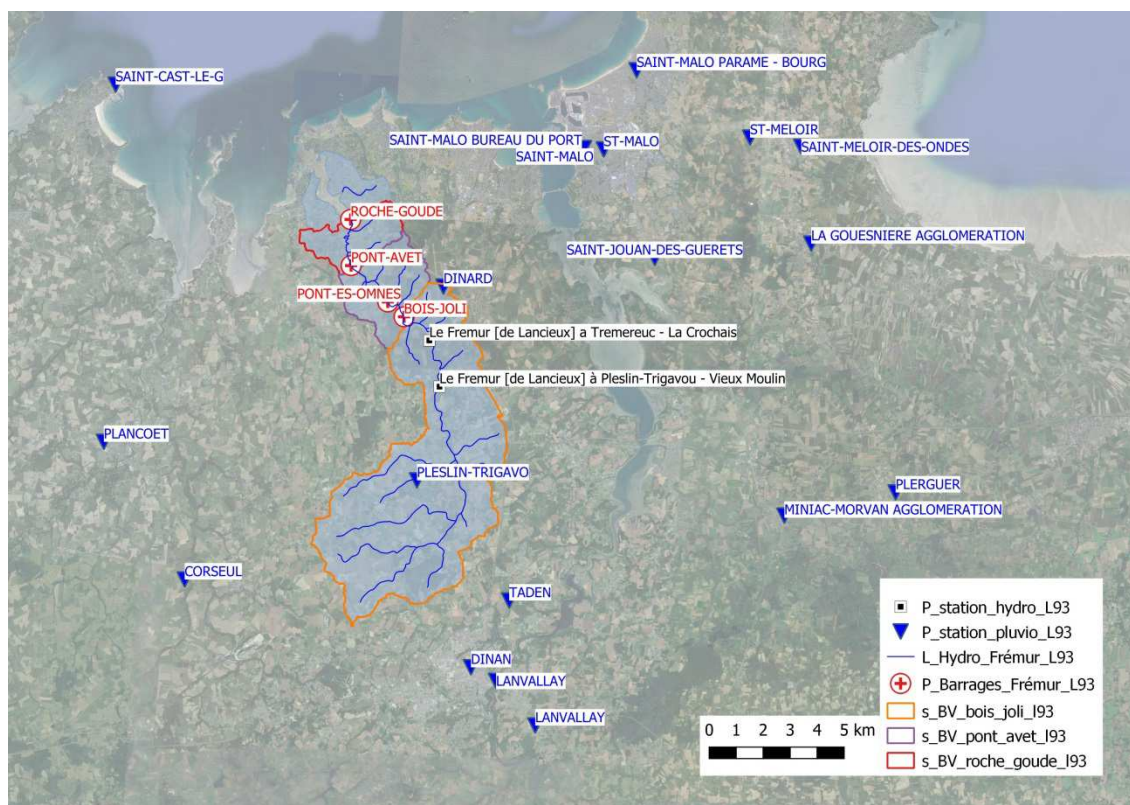
### 2.1.2.1 Inventaire de l'information pluviométrique disponible autour des barrages

Le positionnement des stations pluviométriques disponibles à proximité des 3 barrages nous permet d'identifier, dans le cadre de cette révision hydrologique, les postes suivants. Ces informations sont issues du site Internet Climathèque de Météo-France. La localisation de ces stations est présentée sur la carte en Figure 2.

**Tableau 1 : Stations pluviométriques utilisées pour l'analyse**

Numéro	Station / Commune	Altitude	XL93	YL93
35228001	DINARD-PLEURTUIT	65	325864	6843562
22190002	PLESLIN-TRIGAVOU	70	324884	6836384
35284001	SAINT-JOUAN-DES-GUERETS	43	333691	6844623
22339001	TADEN	64	328300	6831932
35288003	SAINT-MALO BUREAU DU PORT	9	330994	6848692
35288006	SAINT-MALO	37	331068	6848687
35288005	ST-SERVAN-AGGL	25	331068	6848687
35288001	ST-MALO	4	331803	6848641
22050001	DINAN	76	326883	6829461
22118002	LANVALLAY	12	327814	6828956
35288004	SAINT-MALO PARAME - BOURG	29	333022	6851571
22048001	CORSEUL	65	316279	6832712
35179001	MINIAC-MORVAN AGGLOMERATION	47	338492	6835077
22118001	LANVALLAY	81	329265	6827304
22172001	PLANCOET	22	313285	6837812
35299002	ST-MELOIR	40	337220	6849080
35122001	LA GOUESNIERE AGGLOMERATION	24	339487	6845151
35299001	SAINT-MELOIR-DES-ONDES	30	339119	6848738
22282001	SAINT-CAST-LE-G	35	313722	6851041
35224001	PLERGUER	28	342614	6835937

Figure 2 : Localisation des stations hydropluviométriques utilisées



La proximité de la station de Dinard-Pleurtuit (Aéroport), station automatique depuis 1949 ainsi que la longueur de la chronique disponible (1960-nos jours) nous la fait préférer aux autres plus éloignées.

### 2.1.2.2 Analyse des données pluviométrique à la station de Dinard

D'une part, une procédure sur le site « Données pour les professionnels » de Météo-France nous permet de disposer directement des analyses statistiques à cette station en valeurs journalières.

Tableau 2 : Cumuls journaliers maximaux annuels à Dinard (1960-2016)

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	39.9 mm	38.2 mm	41.6 mm
10 ans	46.4 mm	44.4 mm	48.6 mm
20 ans	53.3 mm	51.3 mm	56.3 mm
30 ans	57.7 mm	55.6 mm	61.3 mm
50 ans	63.7 mm	61.4 mm	68.1 mm
75 ans	68.7 mm	66.3 mm	74.1 mm
100 ans	72.5 mm	70.0 mm	78.7 mm

Pour passer des valeurs journalières aux valeurs 24 h (centrées), nous appliquerons le coefficient de Weiss, soit 1.14.

**Tableau 3 : Cumuls journaliers maximaux annuels à Dinard-Pleurtuit (1960-2016) et GRADEX**

	Valeur	Intervalle de confiance à 70 %	
Cumul journalier 10 ans	46.4	44.4	48.6
Cumul journalier 100 ans	72.5	70.0	78.7
GRADEX journalier	10.9	11.1	12.8
Cumul 24h 10 ans	52.9	50.6	79.8
Cumul 24h 100 ans	82.7	55.4	89.7
GRADEX 24 heures	12.7	12.4	14.6

**Le GRADEX 24 heures pour la station de Dinard est de 12.7 [12.4 ; 14.6] mm.**

### 2.1.3 Pluies extrêmes observées

[Source : site internet « Pluies Extrêmes » de Météo-France (<http://pluiesextremes.meteo.fr/>)]

Plusieurs évènements pluvieux supérieurs à 70 mm en un jour ont été enregistrés sur la période 1958-2012 dans un rayon de 35 km autour de la commune de Trémereuc :

- Le 04/07/1973 : 124 mm enregistrés à Bréhand,
- Le 25/05/2010 : 109 mm enregistrés à Dinard-Pleurtuit,
- Le 29/06/1992 : 93 mm enregistrés à Bréhand,
- Le 12/09/2008 : 81 mm enregistrés à Pleneuf,
- Le 04/07/1973 : 80 mm enregistrés à Bédée,
- Le 02/08/2001 : 70 mm enregistrés à Pleslin-Trivagou,
- Le 01/07/1995 : 72 mm enregistrés à Plesder
- Le 20/07/1992 : 75 mm enregistrés à Plevenon
- Le 29/06/1992 : 74 mm enregistrés à Corseul
- Le 04/10/1982 : 78 mm enregistrés à Pleurtuit,
- Le 04/10/1982 : 73 mm enregistrés à Plesder.

Les 109 mm enregistrés à Dinard-Pleurtuit correspondent à une période de retour pluri-centennale si l'on se réfère aux ajustements sur les pluies journalières.

La possibilité d'occurrence de tels évènements sur le bassin du Frémur est donc largement prise en compte plus loin dans l'application de la méthode du GRADEX lorsqu'on considère des évènements correspondant à des périodes de retour de 1000 ans.

## 2.1.4 Analyse des débits

### 2.1.4.1 *Préambule*

Dans l'optique de la révision des crues de fréquence rare par la méthode du GRADEX, il nous importe d'évaluer le débit de pointe décennal au barrage (« point pivot »), quitte, dans le doute, à plutôt surestimer la valeur dans une logique de sécurité vis-à-vis du fonctionnement des ouvrages. Nous proposons donc ci-après plusieurs méthodes pour évaluer ce débit. Notons qu'une incertitude sur la valeur du débit de pointe décennal pèse assez peu sur le résultat final, les paramètres plus déterminants étant le GRADEX des pluies et le coefficient de pointe des crues qui sera évalué dans un deuxième temps.

### 2.1.4.2 *Evaluation du débit de pointe décennal au barrage*

#### 2.1.4.2.1 Utilisation des méthodes semi-empiriques régionales

Différentes méthodes semi-empiriques permettent d'évaluer un ordre de grandeur du débit de pointe décennal au barrage à partir de données de base suivantes :

**Tableau 4 : Données nécessaires à l'évaluation du débit de pointe décennal**

Donnée	Valeur		
Pluie moyenne annuelle (Dinard)	733 mm		
Pluie journalière décennale (Dinard)	46.4 mm		
Température moyenne annuelle (niveau de la mer)	11.5°C		
Coefficient régional CRUPEDIX	1		
Barrages	Bois-Joli	Pont-Avet	Roche-Goude
Surface du bassin versant	46.2 km <sup>2</sup>	54 km <sup>2</sup>	59.3 km <sup>2</sup>
Longueur du cheminement hydraulique	14.6 km	18.3 km	20.7 km
Dénivelé	95 m	105 m	105 m
Pente moyenne	0.65 %	0.57 %	0.51 %
Périmètre du bassin versant	50.8 km	61.8 km	69.6 km

**Tableau 5 : Evaluation du débit de pointe décennal au barrage par les formules semi-empiriques**

Méthode	Bois-Joli	Pont-Avet	Roche-Goude
CRUPEDIX	7.2 m <sup>3</sup> /s	8.2 m <sup>3</sup> /s	8.8 m <sup>3</sup> /s
SOCOSE	9.2 m <sup>3</sup> /s	11.5 m <sup>3</sup> /s	13.1 m <sup>3</sup> /s

#### 2.1.4.3 *Estimation à partir du débit décennal de pointe du Frémur à Pleslin-Trigavou*

Le Frémur a été équipé d'une station hydrométrique à Trémeurec (J1004510, 42 km<sup>2</sup>) entre 1977 et 1991. Cette station a été déplacée à Pleslin-Trigavou (J1004520, 37.5 km<sup>2</sup>) en 1991 vers l'amont suite à la mise en eau de Bois-Joli.

Les chroniques ont été collectées sur la Banque HYDRO. N'ayant pas de période commune, nous reconstituons une chronique avec les 2 stations par application de la relation de Myer avec une puissance de 0.8. Nous obtenons une chronique à Pleslin-Trigavou entre 1977 et aujourd'hui pour un bassin versant intercepté de 37.5 km<sup>2</sup>, donnée ci-dessous.

**Tableau 6 : Chronique des débits de pointe du Frémur à Pleslin-Trigavou**

Jour	Débit de pointe m <sup>3</sup> /s	Jour	Débit de pointe m <sup>3</sup> /s	Jour	Débit de pointe m <sup>3</sup> /s
29/01/1977	2.60	15/10/1993	6.92	08/03/2006	6.81
08/03/1980	1.73	10/01/1994	3.23	10/12/2007	2.14
13/05/1981	4.27	20/01/1995	5.77	15/01/2008	4.96
10/01/1982	6.00	26/02/1996	1.36	22/01/2009	4.84
25/04/1983	2.37	15/02/1997	1.07	26/05/2010	14.20
18/12/1984	2.79	20/12/1998	5.18	16/12/2011	0.89
21/01/1985	4.10	28/12/1999	7.19	20/12/2012	3.43
30/06/1986	2.91	13/11/2000	6.09	11/03/2013	8.01
24/11/1987	1.96	06/01/2001	7.44	25/01/2014	8.27
12/02/1988	6.24	31/12/2002	3.38	31/01/2015	3.56
17/03/1989	0.56	02/01/2003	4.63	10/03/2016	3.74
15/02/1990	1.22	27/01/2004	6.99	11/12/2017	6.38
19/11/1992	1.64	02/12/2005	5.24	10/04/2018	6.37

La chronique de crues est analysée statistiquement et son ajustement à une loi de Gumbel est donné ci-dessous.

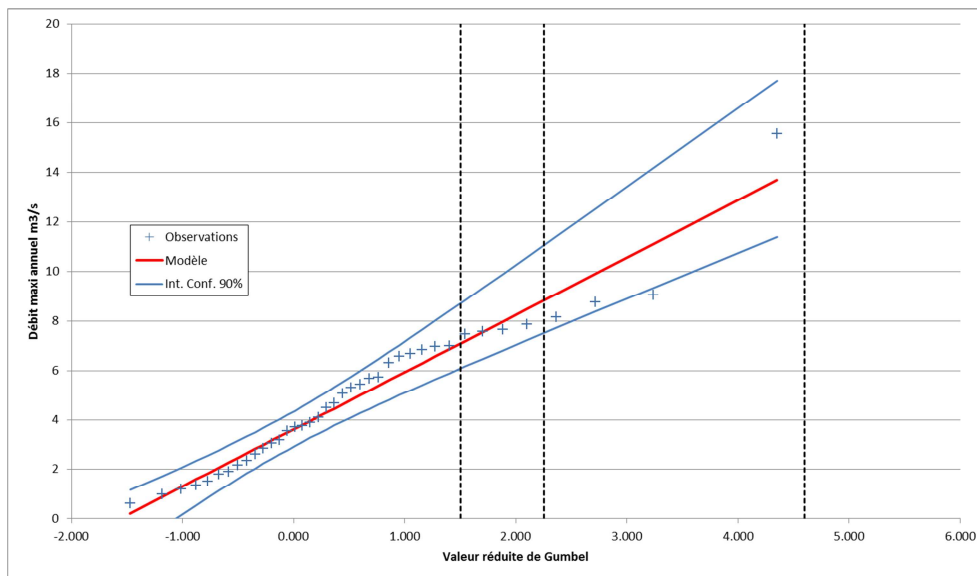
**Tableau 7 : Ajustement de la chronique des débits de pointe du Frémur à Pleslin-Trigavou à une loi de Gumbel**

Période de retour	Débit max annuel
2 ans	4.5 m <sup>3</sup> /s [3.8 ; 5.3]
5 ans	7.1 m <sup>3</sup> /s [6.1 ; 8.7]
10 ans	8.8 m <sup>3</sup> /s [7.5 ; 11]
20 ans	10.5 m <sup>3</sup> /s [8.9 ; 13.3]
30 ans	11.5 m <sup>3</sup> /s [9.6 ; 14.6]
50 ans	12.7 m <sup>3</sup> /s [10.6 ; 16.3]
100 ans	14.3 m <sup>3</sup> /s [11.8 ; 18.5]
200 ans	15.9 m <sup>3</sup> /s [13.1 ; 20.7]

Les valeurs entre [] correspondent à l'intervalle de confiance à 90%



Figure 3 : Graphe d'ajustement à une loi de Gumbel de la chronique des débits de pointe du Frémur à Pleslin-Trigavou



Le débit décennal de pointe mesuré sur le Frémur à Pleslin-Trigavou nous servira ainsi de référence pour les formules de Myer et de Francou-Rodier.

La formule de Myer :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left( \frac{S_1}{S_2} \right)^\alpha$$

Les valeurs usuelles du coefficient  $\alpha$  sont comprises généralement entre 0,7 et 0,8 en Gascogne. Nous prendrons 0.8.

La formule de Francou-Rodier :

$$Q_1 = 10^6 \exp \left[ \left( \frac{1 - K_{FR}}{10} \right) \ln(S_1 10^8) \right]$$

$$K_{FR} = 10 \left[ \frac{1 - \ln(10^{-6} Q_2)}{\ln(10^{-8} S_2)} \right] \quad K_{FR} = 10 \left[ \frac{1 - \ln(10^{-6} Q_1)}{\ln(10^{-8} S_1)} \right]$$

On obtient ainsi les valeurs suivantes :

Tableau 8 : Evaluation du débit de pointe décennal aux barrages par les formules de Myer et de Francou-Rodier

Barrages	Bois-Joli	Pont-Avet	Roche-Goude
Surface du bassin versant	46.2 km <sup>2</sup>	54 km <sup>2</sup>	59.3 km <sup>2</sup>
Qp10 par Francou-Rodier	10.4 m <sup>3</sup> /s	11.8 m <sup>3</sup> /s	12.7 m <sup>3</sup> /s
Qp10 par Myer	10.3 m <sup>3</sup> /s	11.6 m <sup>3</sup> /s	12.5 m <sup>3</sup> /s

#### 2.1.4.4 Valeurs retenues

Tableau 9 : Evaluation du débit de pointe décennal aux barrages

Barrages	Bois-Joli	Pont-Avet	Roche-Goude
Surface du bassin versant	46.2 km <sup>2</sup>	54 km <sup>2</sup>	59.3 km <sup>2</sup>
Qp10 par CRUPEDIX	7.2 m <sup>3</sup> /s	8.2 m <sup>3</sup> /s	8.8 m <sup>3</sup> /s
Qp10 par SOCOSE	9.2 m <sup>3</sup> /s	11.5 m <sup>3</sup> /s	13.1 m <sup>3</sup> /s
Qp10 par Francou-Rodier	10.4 m <sup>3</sup> /s	11.8 m <sup>3</sup> /s	12.7 m <sup>3</sup> /s
Qp10 par Myer	10.3 m <sup>3</sup> /s	11.6 m <sup>3</sup> /s	12.5 m <sup>3</sup> /s
<b>Moyenne</b>	9.3 m <sup>3</sup> /s	10.8 m <sup>3</sup> /s	11.6 m <sup>3</sup> /s
<b>Valeur retenue</b>	10.4 m <sup>3</sup> /s	11.8 m <sup>3</sup> /s	12.7 m <sup>3</sup> /s

#### 2.1.5 Détermination du coefficient de pointe

Afin d'évaluer la valeur du débit moyen décennal sur 24h, le ratio Qp/QM24h (rapport du débit de pointe sur le débit moyen de 24h de la crue, généralement considéré comme indépendant ou peu dépendant de la période de retour de la crue) doit être déterminé. Pour cela, n'ayant pas de mesures complètes sur le Frémur, nous nous appuyons sur la valeur du coefficient de pointe usitée en Bretagne, extrait de l'étude du barrage de Bois-Joli, ISL, 2012.

**On retiendra donc une valeur du Cp24h de 1.5 pour les 3 barrages, confirmé par quelques approches empiriques sur les données du bassin donnant des valeurs comprises entre 1.4 et 1.65.**

## 2.2 Elaboration d'hydrogrammes de crue pour différentes périodes de retour

### 2.2.1 Application de la méthode du Gradex

Le volume ruisselé est calculé pour différentes périodes de retour à partir du point pivot correspondant à la crue décennale, en appliquant le GRADEX des pluies calculé ci-dessus. De là est déduit directement le débit moyen pendant 24h pour ces durées de retour, puis le débit de pointe par application du ratio Q<sub>p</sub>/Q<sub>m24h</sub> (coefficient de pointe Cp24h) déterminé ci-dessus.

Cette approche plutôt maximaliste permet d'estimer les crues de faible occurrence au droit des barrages. Dans le cas de calcul de débit d'occurrence rare (centennale), les résultats constituent une valeur haute des estimations.

IRSTEA recommande d'utiliser une variante dite « Gradex esthétique » développée par le Cemagref (Michel, 1982 ; Margoum *et al.*, 1994) pour extrapoler progressivement la distribution des crues au-delà du point pivot (période de retour T<sub>g</sub>). Cela permet de ne pas surestimer inutilement les quantiles intermédiaires (période de retour entre 10 et 100 ans), tout en conditionnant l'extrapolation de la distribution des crues avec le gradex des pluies. La formule d'extrapolation est la suivante :

$$QIX(T) = QIX(T_g) + RX_d \cdot a^p(PX_d) \cdot Ln\left[\frac{(T + K_q)}{(T_g + K_q)}\right]$$

où :

- $K_q = [(a_p(PX_d) / a_q(QX_d)) - 1] \cdot T_g$  ;
- $a_p(PX_d)$  : gradex des pluies maximales  $PX_d$  sur la durée  $d$ , exprimé en  $m^3/s$  ;
- $a_q(QX_d)$  : gradex des débits maximaux  $QX_d$  sur la durée  $d$ , exprimé en  $m^3/s$ .

Lorsque la distribution des pluies ou des débits n'est pas une loi de Gumbel, le gradex correspond à la pente de la distribution des pluies d'une part et des débits d'autre part. Le gradex des débits est calculé pour le point pivot ( $T = T_g$ ).

La formule ci-dessus nécessite l'estimation du gradex des débits au point pivot  $T_g$ . Celui-ci a été pris à  $T_g = 10$  ans. Le gradex des débits de pointe  $a_q(QIX)(T=10$  ans) a été calculé sur la station de Pleslin-Trigavou (Tableau 7). Il a ensuite été converti en gradex des débits maxi journaliers  $a_q(QJX)(T=10$  ans) en utilisant le coefficient de pointe de 1.5.

## 2.2.2 Débits de crue de fréquences caractéristiques aux barrages

Les résultats obtenus sont rassemblés dans les tableaux suivants.

**Tableau 10 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour au barrage de Bois-Joli**

				Barrage de Bois-Joli		
Surface du bassin versant				46.2 km <sup>2</sup>		
Point pivot Qp10				10.4 m <sup>3</sup> /s		
Coefficient de pointe Cp24h				1.5		
Gradex des pluies 24h				12.7 mm		
Gradex des pluies 24h en débit				6.8 m <sup>3</sup> /s		
Gradex des débits				2.3 m <sup>3</sup> /s		
période de retour T (ans)	Lame précipitée mm	Lame ruissellée 24h (mm)	Coef de ruissellement	Qm24h (m <sup>3</sup> /s)	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Volume ruisselé (m <sup>3</sup> )
10	65.0	13.0	0.20	6.9	10.4	599040
20	74.6	16.7	0.22	8.9	13.4	771209
30	80.8	19.6	0.24	10.5	15.7	904062
50	89.2	23.9	0.27	12.8	19.2	1103531
100	101.5	30.8	0.30	16.5	24.7	1421575
300	113.4	43.2	0.38	23.1	34.7	1997742
1000	131.6	57.9	0.44	31.0	46.5	2676878

Les écarts avec l'étude ISL de 2012 sont retranscrits dans le tableau suivant :

**Tableau 11 : Ecart entre l'étude hydrologique ISL 2012 et l'étude actuelle pour Bois-Joli**

Variable	ISL 2012	CACG 2019
Débit de pointe décennal	10 m <sup>3</sup> /s	10.4 m <sup>3</sup> /s
Coefficient de pointe	1.5	1.5
Débit moyen journalier	6.7 m <sup>3</sup> /s	6.9 m <sup>3</sup> /s
Gradex 24h	8.8	12.7
Débit de pointe 100 ans	28 m <sup>3</sup> /s	24.7 m <sup>3</sup> /s
Débit de pointe 1000 ans	46 m <sup>3</sup> /s	46.5 m <sup>3</sup> /s

**Tableau 12 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour au barrage de Pont-Avet**

				Barrage de Pont-Avet		
Surface du bassin versant				54 km <sup>2</sup>		
Point pivot Qp10				11.8 m <sup>3</sup> /s		
Coefficient de pointe Cp24h				1.5		
Gradex des pluies 24h				12.7 mm		
Gradex des pluies 24h en débit				6.8 m <sup>3</sup> /s		
Gradex des débits				2.3 m <sup>3</sup> /s		
période de retour T (ans)	Lame précipitée mm	Lame ruissellée 24h (mm)	Coef de ruissellement	Qm24h (m <sup>3</sup> /s)	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Volume ruisselé (m <sup>3</sup> )
10	65.0	12.6	0.19	7.9	11.8	679680
20	74.6	15.8	0.21	9.9	14.8	855322
30	80.8	18.4	0.23	11.5	17.3	995028
50	89.2	22.4	0.25	14.0	21.0	1210227
100	101.5	28.9	0.29	18.1	27.1	1563285
300	113.4	41.1	0.36	25.7	38.6	2221089
1000	131.6	55.7	0.42	34.8	52.3	3009885

**Tableau 13 : Débits moyens et de pointe des crues pour différentes périodes de retour au bge de Roche-Goude**

				Barrage de Roche-Goude		
Surface du bassin versant				59.3 km <sup>2</sup>		
Point pivot Qp10				12.7 m <sup>3</sup> /s		
Coefficient de pointe Cp24h				1.5		
Gradex des pluies 24h				12.7 mm		
Gradex des pluies 24h en débit				6.8 m <sup>3</sup> /s		
Gradex des débits				2.3 m <sup>3</sup> /s		
période de retour T (ans)	Lame précipitée mm	Lame ruissellée 24h (mm)	Coef de ruissellement	Qm24h (m <sup>3</sup> /s)	Qp (m <sup>3</sup> /s)	Volume ruisselé (m <sup>3</sup> )
10	65.0	12.3	0.19	8.5	12.7	731520
20	74.6	15.3	0.21	10.5	15.8	909037
30	80.8	17.8	0.22	12.2	18.3	1052590
50	89.2	21.5	0.24	14.8	22.2	1276981
100	101.5	27.8	0.27	19.1	28.7	1651448
300	113.4	39.8	0.35	27.3	41.0	2361475
1000	131.6	54.3	0.41	37.3	55.9	3222388

### 2.2.3 Hydrogrammes de crue exceptionnelle

Les hydrogrammes de crue sont calculés de manière à respecter les débits de pointe et les débits moyens de 24h, évalués précédemment, en utilisant la formulation de SOCOSE sur la base d'un temps de montée équivalent au temps de concentration, soit 10 h. Cette formulation a été retenue en suivant les conseils du guide « Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi" (CFGB, 2002).

Les hydrogrammes de la crue de période de retour 100 et 1000 ans obtenus par cette approche sont représentés sur le graphique suivant.

Figure 4 : Hydrogramme des crues 100 et 1000 ans au barrage de Bois-Joli

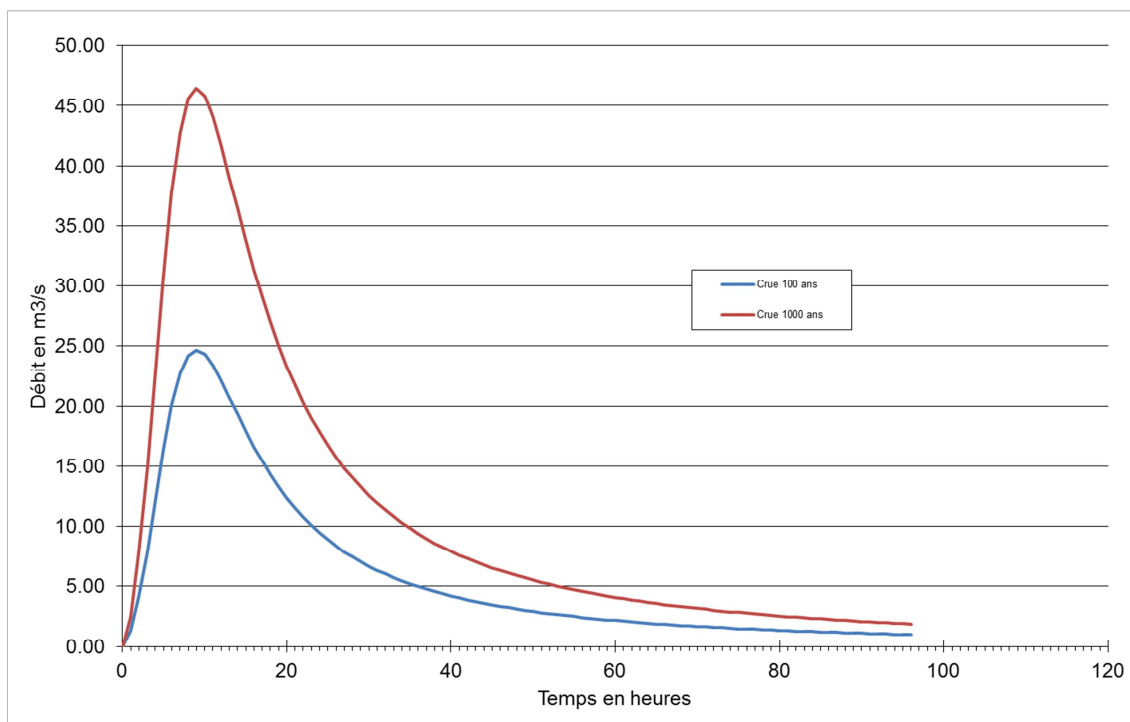


Figure 5 : Hydrogramme des crues 100 et 1000 ans au barrage de Pont-Avet

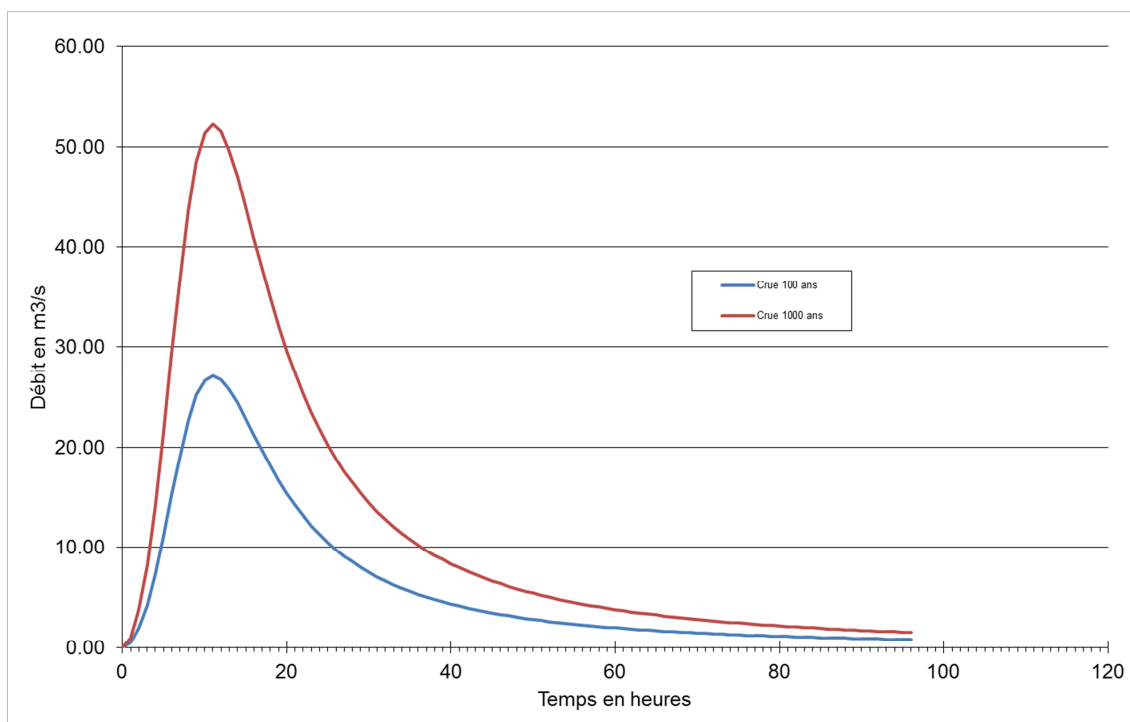
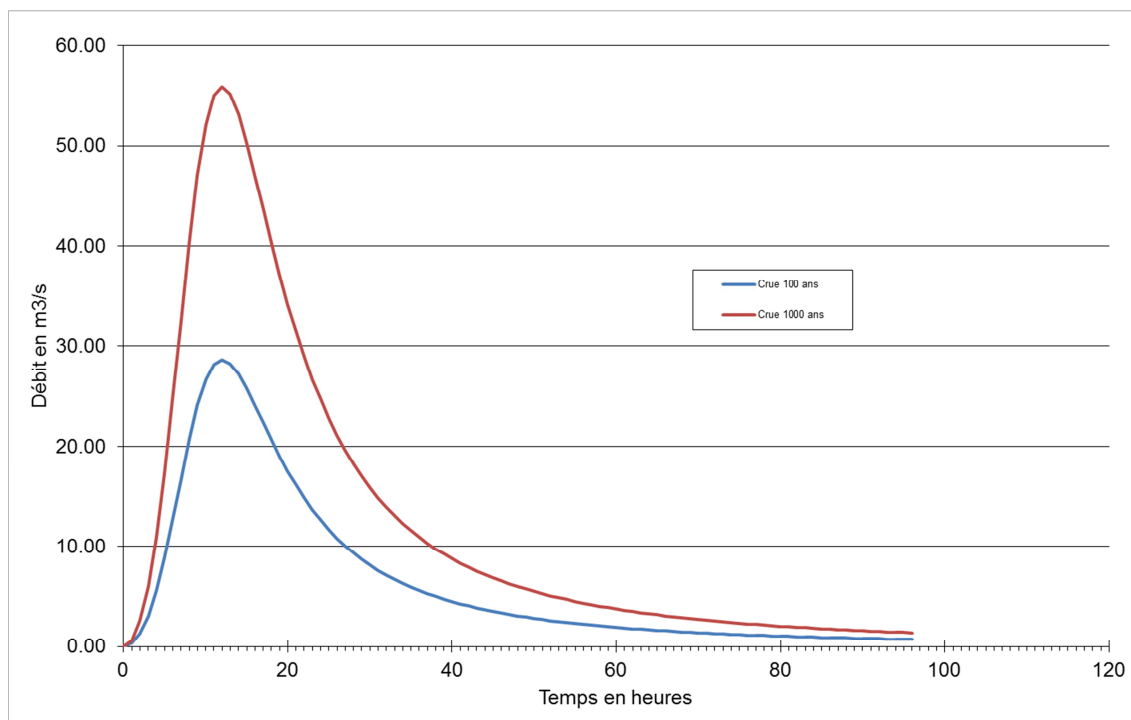




Figure 6 : Hydrogramme des crues 100 et 1000 ans au barrage de Roche-Goude



## 2.3 Analyse du laminage de crue par les barrages de Bois Joli et de Pont Avet

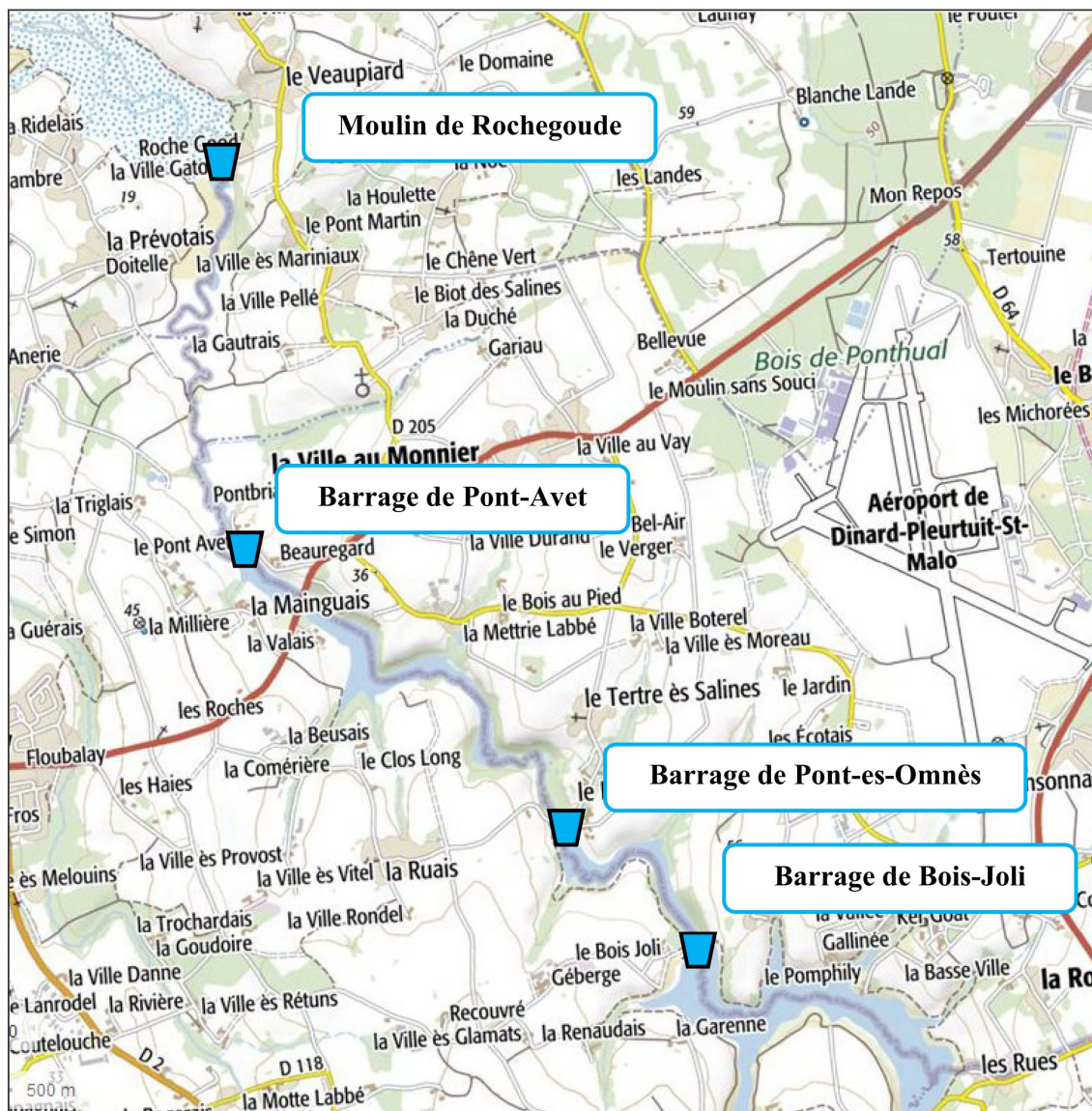
### 2.3.1 Généralités

L'étude hydrologique a conduit à des estimations de débit au droit des barrages sans tenir compte des aménagements en amont du barrage étudié, notamment pour Pont-Avet et Roche-Goude.

L'étude du laminage généré par les retenues de Bois Joli et de Pont Avet est effectuée à partir des résultats de l'étude hydrologique sur la base des caractéristiques des retenues, surface et volume en fonction de la cote du plan d'eau et de celles des barrages, dimensions des ouvrages (digue, vannes, déversoir, ...). Cette analyse permet d'estimer un éventuel impact de ces caractéristiques sur une éventuelle diminution du débit de pointe.

Si cet impact s'avère important, l'hydrogramme laminé (sortie des ouvrages) pourra être utilisé comme données d'entrée pour le laminage aval et pour le modèle hydraulique.

Figure 7 : Barrages sur le Frémur



### 2.3.2 Barrage de Bois-Joli

En amont du barrage de Pont-Avet sont implantés les barrages de Pont-es-Omnès et de Bois-Joli. Le barrage de Pont-es-Omnès peut être considéré comme transparent pour des épisodes de crues exceptionnelles.

Les caractéristiques principales du barrage de Bois-Joli sont les suivantes :

- Volume : 3 000 000 m<sup>3</sup>
- Hauteur : 27.5 m
- Surface au PEN : 0.450 km<sup>2</sup>
- Déversoir 1 : 3m à 28.10 mNGF
- Déversoir 2 : 38.4m à 28.20 mNGF
- Nombre de canalisations de vidange : 2 Ø800 mm sur 17.0 m

Figure 8 : Barrage de Bois-Joli



D'après l'analyse hydrologique et hydraulique du barrage de Pont-Avet réalisés par le MOA, des tests de laminage ont été effectués sur le barrage de Bois-Joli mais la réduction du débit de pointe par rapport aux débits considérés et aux incertitudes liées à la méthode d'évaluation ont conduit à abandonner cette hypothèse dans la détermination des hydrogrammes de crue au droit de Pont-Avet. En effet, la superficie du plan d'eau, relevée sur les photos satellitaires sous QGIS, moins de  $\frac{1}{2}$  km<sup>2</sup> est trop faible pour générer un quelconque effet de laminage.

### 2.3.3 Barrage de Pont-Avet

Le barrage de Pont-Avet est implanté sur les communes de Pleurtuit (35) et de Beaussais-sur-Mer (22). Il s'agit d'un barrage en remblai à masque amont en béton. Depuis la dépose des batardeaux en fin d'année 2018, le barrage dispose de 2 niveaux de déversement :

- Déversoirs amont : Cote de 10.30 mNGF avec 5 seuils de 4.75 m de longueur ;
- Déversoir aval : Cote de 10.88 mNGF avec 1 seuil de 25.3 m de longueur.

La cote de la crête de l'ouvrage varie entre 11.80 mNGF et 11.53 mNGF.

Les ouvrages de vidange sont constitués de 3 canalisations  $\varnothing 700$  mm d'une longueur approximative de 22,25 m. Les fils d'eau aval sont respectivement de 4,74, 4,78 et 4,79 mNGF.

La superficie du plan d'eau, relevée sur les photos satellitaires sous QGIS, de l'ordre de 0.17 km<sup>2</sup> est ici aussi trop faible pour générer un quelconque effet de laminage.

Nous considérerons que les barrages de Pont-Avet et de Bois-Joli sont transparents aux crues en ce qui concerne le laminage.



Figure 9 : Barrage de Pont-Avet



#### 2.3.4 Barrage de Roche-Goude

Un ancien moulin à marée, le moulin de Rochegoude, est implanté en aval. Il barre la rivière du Frémur à son débouché dans la Manche sur la commune de Saint-Briac sur Mer.

Ce moulin est composé d'un barrage en remblai ancien en rive gauche et d'un bâtiment en rive droite qui est équipé de passes vannées.

La côte de la crête de la digue varie de 7.55 à 7.90 mNGF avec un point bas à 7.15 mNGF remonté à 7.55 mNGF en 2012. Un seuil de 10 m de long est implanté sur la digue pour évacuer les crues. Il est nivelé à 6.75 mNGF. Il présente un coursier aval et un clapet de nez.

Le moulin a fait l'objet d'un diagnostic de sûreté en 2010 et de travaux en 2012.

Les ouvrages de régulation implantés en 2012 sont les suivants :

- Passe rive droite : 2 vannes en rive droite (0.9m x 2.8m, Cote radier : 1.32 mNGF) en acier inoxydable manœuvrées par deux boîtiers de crics et un motoréducteur programmé ;
- Passe rive gauche : 1 clapet de nez batardeau (1.3m x 2.0m, cote du radier : 1,32 mNGF) et 1 passage condamné.

Pour ce barrage, il est reconnu que l'effet laminant de la retenue est nul.

Figure 10 : Barrage de Roche-Goude





## **2.4 Analyse de la condition limite aval au niveau du moulin de Rochegoude pour chaque crue de référence en fonction du niveau de la mer**

Pour chacune des 4 crues étudiées, deux hypothèses différentes seront étudiées pour appréhender les conditions hydrauliques en amont du moulin de Rochegoude grâce à des lois de seuil adaptées :

- L'une correspondant au niveau de marée décennal avec une bonne gestion du moulin de Rochegoude : dans ce cas-là, l'ouvrage de Rochegoude permettra l'évacuation du débit de crue lors du jusant et bloquera la remontée de la marée lors du flot ;
- L'autre correspondant au niveau de marée décennal avec un défaut de gestion voire d'un abandon du moulin.

### 3 ANALYSE DE TERRAIN ET CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

#### 3.1 Analyse hydraulique de terrain

Afin de s'imprégner de la configuration hydraulique et géomorphologique de la zone d'étude (lits mineurs et moyens, ponts, seuils, ...), cette partie de l'étude basée sur l'observation et l'interprétation du terrain naturel, nous a permis d'identifier le réseau hydrographique existant du secteur d'étude et les différentes unités hydrogéomorphologiques à partir de témoignages, de documents et études existants afin d'appréhender le contexte local et l'historique des crues les plus récentes.

Dans le même temps, sur la base de rencontres avec les riverains de la zone d'étude, nous avons réalisé une enquête de crue afin :

- De recueillir des témoignages sur les conditions d'écoulement (entrées, itinéraires et sorties des écoulements, hauteurs, vitesses, obstacles, ...) lors des crues,
- de relever des repères de crues répertoriés ou non, et/ou d'éventuelles laisses de crue.

Pour chaque repère de crue identifié, nous avons dressé une fiche renseignant les caractéristiques principales du repère. Ces fiches sont données en annexe.

En résumé, la crue ayant le plus marqué les esprits des riverains est celle de 2010, alors que le propriétaire du moulin de Roche-Goude n'était pas présent et que ses vannes étaient fermées. Lors de cet épisode de crue, il a été nécessaire de faire intervenir des engins pour ouvrir la digue et évacuer la crue du Frémur.

Depuis, le moulin de Roche-Goude a changé de propriétaire et a été modernisé. Le propriétaire actuel a :

- installé des vannes automatiques sous le moulin qui se ferment lorsque le niveau de marée est supérieur au niveau du Frémur et se rouvrent à l'inverse. Le niveau de marée correspondant est atteint pour un niveau de 7.95,
- créé un déversoir de crue sur la digue afin d'éviter la mise en charge complète de la digue,
- rehaussé le muret de la terrasse du moulin, afin d'éviter l'entrée d'eau dans le moulin, en cas de montée des eaux équivalent à celui de Xynthia.

Figure 11 : Vannes et mur réhaussé du moulin de Roche-Goude



Le propriétaire du moulin est également actuellement en discussion avec les communes afin de restaurer la digue, qui voit certaines zones se détériorer.

Etant donné la localisation du moulin en fond de baie, le vent se fait peu ressentir. Peu de vagues de mer n'ont pour le moment atteint ce secteur et c'est seulement un clapot qui est ressenti. Du fait de cette gestion, les variations de marée se font peu ressentir sur le Frémur. Certains propriétaires sont finalement déçus de ne plus voir le Frémur soumis au marnage et ne plus voir les modifications quotidiennes de paysages.

Les repères de crue obtenus auprès des riverains se rapportent donc principalement à cet épisode de 2010. Des éléments du passage sont encore présents sur le secteur aval. En effet, en amont immédiat de la digue on peut observer des arbres morts des deux côtés de la zone d'expansion du Frémur. Ces arbres ont dépéri suite à leur inondation lors de la crue de 2010. Ils sont une marque des niveaux atteints lors de cet épisode.

Figure 12 : Peupliers dépérissant en bord du Frémur



Lors des épisodes de crue du Frémur, l'eau suit le chenal préférentiel du Frémur et suit également en cas d'épisode très important le passage par le jardin du moulin de Roche-Goude

**Figure 13 : Chemin préférentiel de l'eau en amont du moulin de Roche-Goude**



Au lieu-dit Doitelle, lors de l'épisode de 2010, l'eau a atteint l'atelier situé en contrebas de la maison. 80cm d'eau ont été répertoriés par les propriétaires dans la cour devant l'atelier. Avant et depuis cet épisode, l'eau n'a jamais atteint de tels niveaux.

En aval immédiat de l'ouvrage de Pont Avet, au Moulin aux Filles, les parcelles situées en rive droite et gauche sont annuellement mises en eau. Ce sont des zones humides, en eau quasiment tous les hivers. Elles sont utilisées en pâturage pour les bovins. Des secteurs d'abreuvement et de traversée du Frémur par les bovins ont été identifiés.

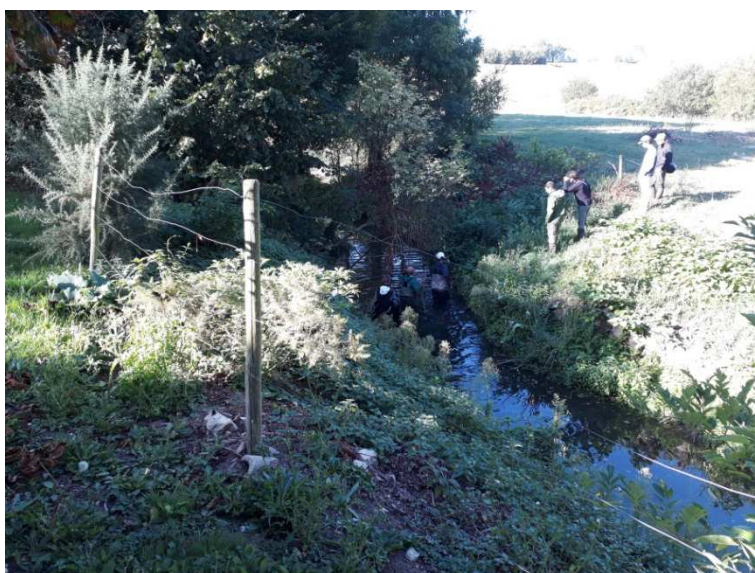
**Figure 14 : Secteurs humides en aval du Moulin aux Filles**





Lors de la phase de terrain, des personnes de l'AFB, de l'Observatoire des migrateurs de Bretagne et de la Communauté de Communes ont été rencontrées en train de mener le suivi anguilles sur le Frémur. Ils nous ont informés de l'état d'encombrement du lit dans ce secteur au pied de l'ouvrage de Pont Avet. Cette année, un nettoyage avait été effectué et facilité leur intervention, cependant on pouvait encore trouver de nombreux embâcles et un embroussaillage du lit important.

**Figure 15 : Embâcles dans le Frémur en aval immédiat du Pont Avet et secteur entretenu cette année avec pêche de comptage des anguilles**



Dans la partie médiane du secteur peu de problématiques d'inondation ont été remontées. En effet, les habitations sont situées plus en hauteur et en retrait du Frémur. On retrouve seulement un chemin carrossable qui coupe le Frémur. C'est peu avant ce pont que le Frémur est de plus en plus encaissé et s'embroussaille.

Le secteur de la Triglais est quant à lui soumis à des inondations mais provenant du ruissellement le long de la route. Le Frémur n'a pas d'impact sur ce secteur.

**Figure 16 : Evolution des formes du Frémur du Moulin de Roche-Goude au barrage de Pont Avet**

Le Frémur est donc très différent selon la zone où l'on se trouve dans le secteur concerné par l'étude. La partie amont du secteur est très encombré et ralentit l'avancement de l'eau contrairement à la partie aval, beaucoup plus ouverte.

### 3.2 Campagne topographique

Les reconnaissances de terrain ont permis d'identifier les secteurs nécessitant d'être précisés par levé topographique. On a accordé une attention particulière aux ouvrages hydrauliques de franchissement sur le Frémur.

La réalisation des levés topographiques a pour but de compléter les données existantes afin de réaliser un modèle hydraulique fiable et au plus près de la réalité. Le LIDAR est disponible sur la zone d'étude. Le lit mineur et les ouvrages de franchissement ou en travers ont toutefois été précisés par des levés spécifiques.

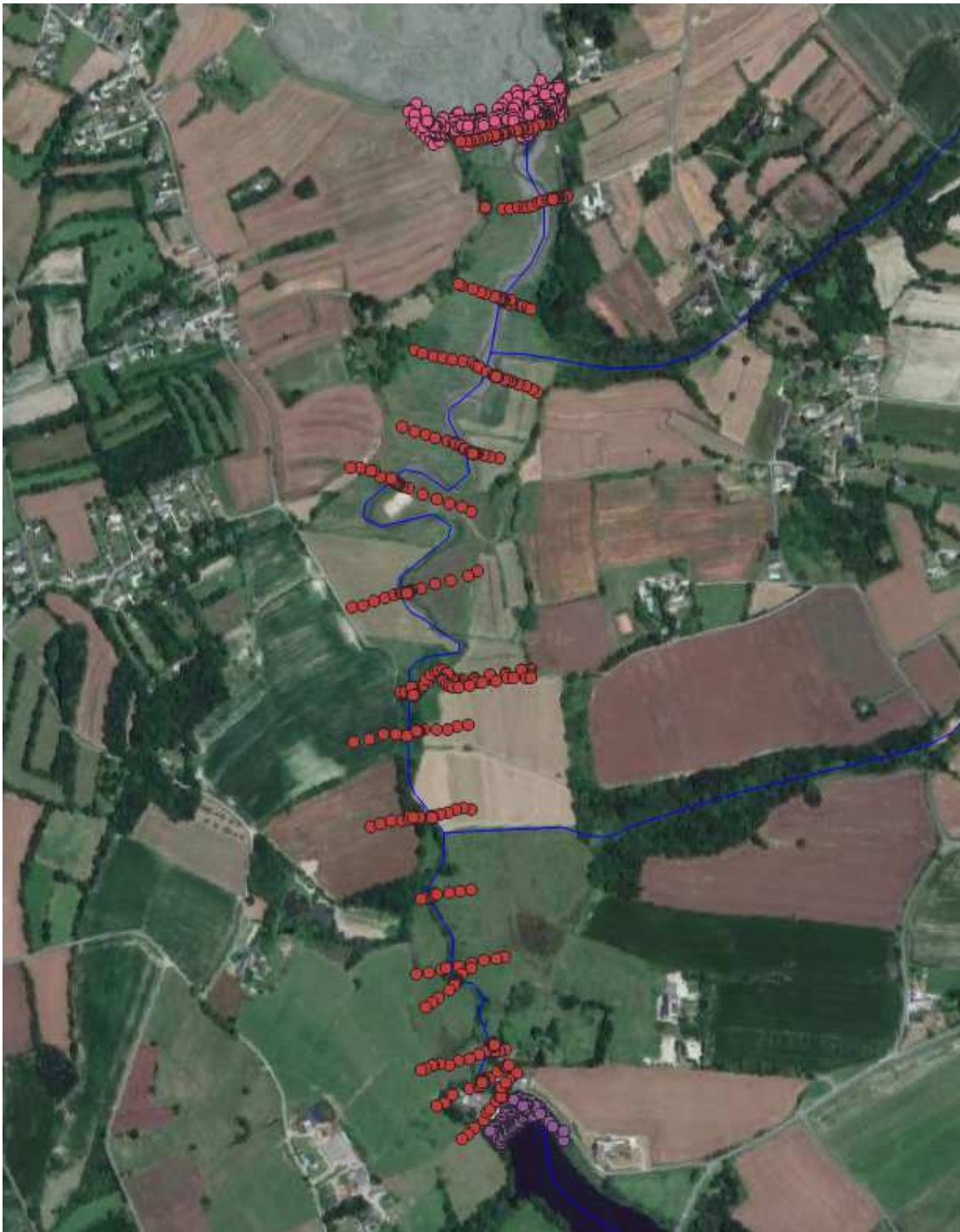
Les données existantes sont :

- Plan topographique du barrage de Pont-Avet
- Plan topographique du barrage de Rochegoude

La figure suivante donne les 1370 points (dont 381 points levés pour l'étude) sur le secteur étudié.



Figure 17 : Topographie terrestre disponible

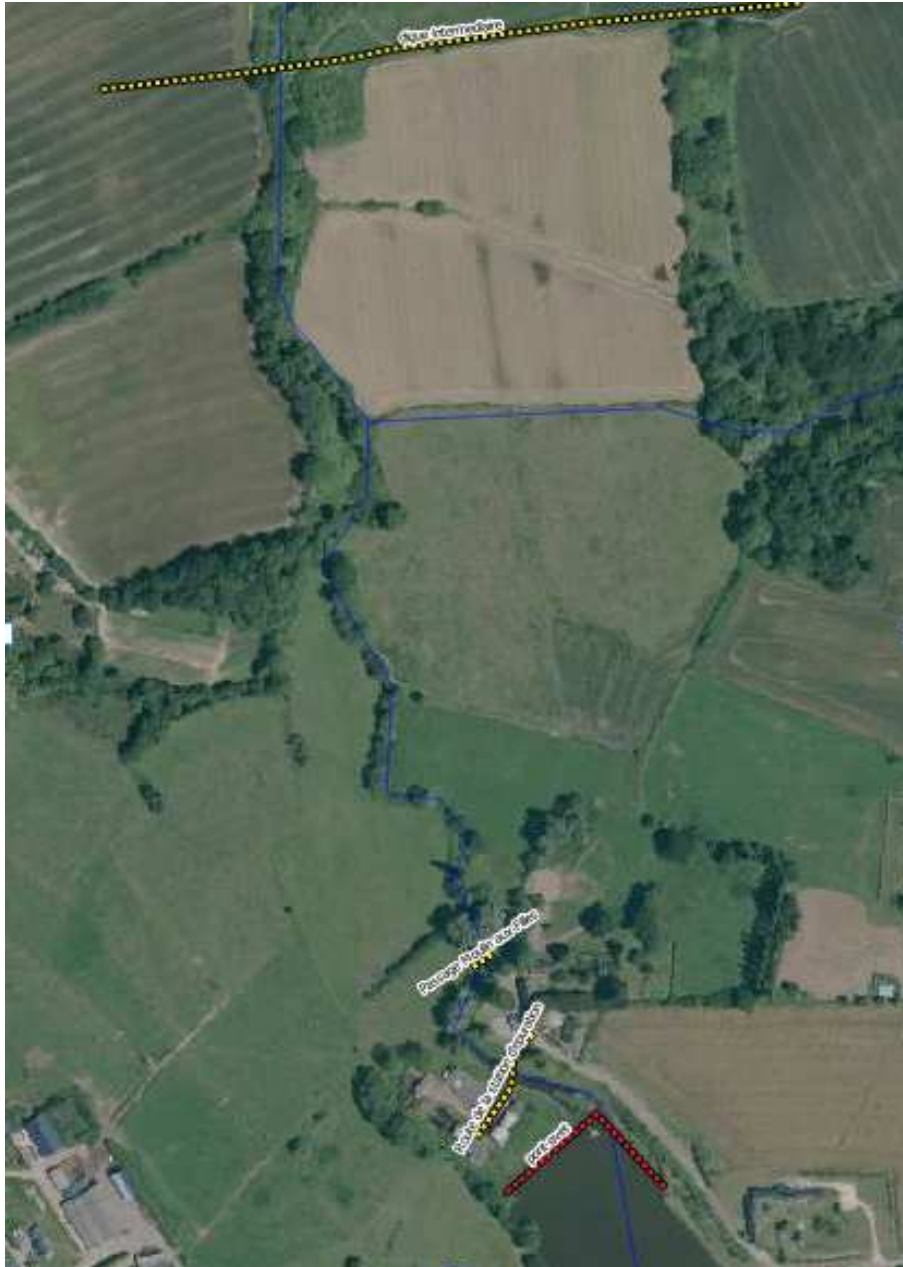


Les différents ouvrages susceptibles d'impacter l'écoulement de ces fortes crues en aval de l'ouvrage n'apparaissant pas dans les données IGN (digue transversale située 750 m en aval de Pont-Avet) et susceptibles d'avoir un impact sur l'écoulement de ces fortes crues ont été levés.

On a pu recenser trois ouvrages traversant le Frémur sur ce secteur :

- La digue du chemin carrossable traversant le Frémur,
- Un ouvrage de franchissement dans le jardin du Moulin aux Filles,
- La route d'accès à l'ancienne station d'épuration à l'aval immédiat du barrage de Pont Avet.

Figure 18 : Localisation des ouvrages recensés



## 4 MODELISATION HYDRAULIQUE

### 4.1 Remarques préliminaires

Au cours de la phase terrain, une analyse complémentaire a été assurée en vue :

- de s'imprégner de la configuration hydraulique de la zone à modéliser (lits, ponts, seuils, chenaux potentiels d'écoulement, réseaux d'assainissement, ...),
- de vérifier chaque profil dans son contexte,
- de prendre en compte dans la modélisation des ouvrages existants en berges ou dans le lit mineur jouant un rôle dans l'écoulement (ponts, passerelles, seuils transversaux, canalisations etc.),
- d'intégrer les chenaux d'écoulement identifiés par la géomorphologie dans le modèle.

Ainsi, cette analyse hydraulique a permis de dresser la topologie du modèle local sur le secteur d'étude. Les différents éléments des barrages de Pont-Avet et de Rochegoude sont intégrés au modèle.

Les écoulements sont simulés sous le logiciel de calculs hydrauliques HEC-RAS Version 5.0.6 développé par le Centre d'Ingénierie Hydrologique de l'armée américaine ([www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)). Ce logiciel permet de simuler des écoulements graduellement variés fluviaux, torrentiels ou mixtes en régime permanent ou transitoire à partir de géométries filaires (1D), mixtes 1D en lit mineur et 2D dans les zones de débordements ou totalement 2D. Résolvant les équations de St-Venant, il inclut le calcul des ressauts hydrauliques, des écoulements sous les ponts, sur les seuils et aux confluences de rivières.

Les conditions d'entrée dans le modèle seront les débits de crues à modéliser en sortie du barrage de Bois-Joli. Les conditions aval seront prises à l'aval du modèle sur le barrage de Roche Good avec la prise en compte des marées tel que définies dans le CCTP.

Après le montage et le calage du modèle, nous simulerons les débits de :

- la crue décennale Q10,
- la crue centennale Q100,
- la crue tricentennale Q300,
- la crue millénaire Q1000.

pour deux configurations du moulin de Rochegoude :

- Gestion normale des ouvrages,
- Fonctionnement dégradé du moulin.

### 4.2 Modélisation du secteur d'étude

#### 4.2.1 Montage du modèle hydraulique

Le LIDAR IGN (RGEALTI) sur le secteur d'étude permet de mieux modéliser le lit majeur. Ce modèle permet d'affiner les limites des différentes zones inondables et de donner les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement du cours d'eau pour les crues simulées par comparaison



entre la ligne d'eau modélisée et l'altitude du terrain naturel en chaque point.

Le montage du modèle numérique consiste à décrire la géométrie du cours d'eau. Le lit mineur du cours d'eau est issu des points bathymétriques extrait de la campagne de mesure 2019 qui sont directement intégrés dans le MNT. Tous les ouvrages en travers de la zone d'étude sont simulés.

Le modèle est donc exclusivement en deux dimensions, et il possède les caractéristiques suivantes :

**Tableau 14 : Caractéristiques physiques du secteur d'étude**

<b>Modèle : Pont-Avet</b>	
Nombres de mailles	20 132
Taille des mailles	20m x 20m
Aire moyenne des mailles	400 m <sup>2</sup>

**Figure 19 : Maillage du modèle 2D du secteur**



#### 4.2.2 Calage du modèle hydraulique

Le calage du modèle consiste à l'estimation des divers coefficients (ouvrages et frottement) par la comparaison entre la réalité (appréhendée par des événements connus en niveaux et débit) et les résultats du modèle.

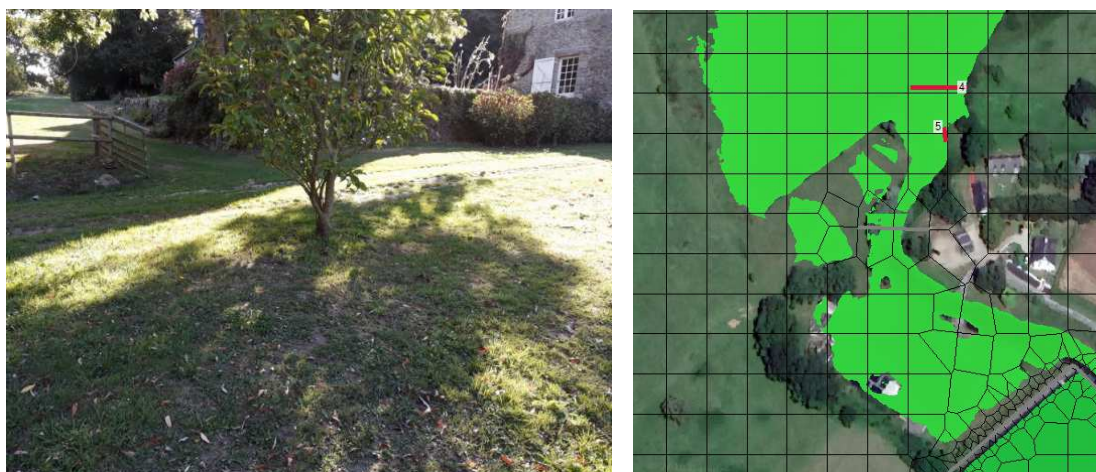
Ce calage est réalisé à partir des repères de crue et témoignages recueillis lors de l'enquête de terrain (cf annexe 2) et des estimations de débit données par l'analyse hydrologique.

La crue la plus marquante sur le secteur fut la crue de 2010, en effet lors de cette crue un dysfonctionnement des vannes du moulin ont rendu impossible l'ouverture des vannes pour laisser l'eau s'évacuer. Le plan d'eau en amont du moulin de Rochegoude a donc atteint des niveaux élevés dont certains témoignages ont permis d'en avoir une valeur approchée. En exemple, le RC à Doitelle ci-dessous.

**Table 1 : Comparaison terrain/modèle numérique pour le calage du modèle**

Lieu	X	Y	Z réel	Z modélisé	écart
Lieu-dit Doitelle	322235.88	6845676.47	+ 80 cm	+ 65 cm	- 15 cm

**Figure 20 : Hauteur maximale atteinte lors de la crue de 2010**



A ce stade, on peut considérer le modèle comme bien calé pour les simulations des crues caractéristiques à cartographier au niveau de la zone d'étude entre le barrage de Pont-Avet et le barrage de Rochegoude.

#### 4.2.3 Simulations des crues du Frémur

Comme précisé plus haut, les simulations sont menées sur 4 débits (10, 100, 300 et 1000 ans) et deux configurations du fonctionnement du moulin de Rochegoude (normal et dégradé).

Dans ces deux configurations, la condition de sortie en aval de Rochegoude reste une marée de type décennale pris avec une côte de 7.20 m NGF.

L'objectif de cette modélisation est donc d'obtenir les différentes valeurs des niveaux d'eau atteints pour tous les scénarios (crue et configuration). Le tableau suivant récapitule les résultats de chaque modélisation au droit du barrage de Pont-Avet.

**Tableau 15 : Résultats synthétiques des simulations en cotes d'altitude pour un fonctionnement normal du moulin de Rochegoude**

	Période de retour des crues			
	10 ans	100 ans	300 ans	1000 ans
Côte du plan d'eau en aval immédiat du barrage (m NGF)	7.44	7.93	8.14	8.36

**Tableau 16 : Résultats synthétiques des simulations en cotes d'altitude pour un fonctionnement dégradé du moulin de Rochegoude**

	Période de retour des crues			
	10 ans	100 ans	300 ans	1000 ans
Côte du plan d'eau en aval immédiat du barrage (m NGF)	7.34	7.92	8.13	8.37

Lors d'un dysfonctionnement du moulin, pas d'ouverture des vannes et de l'évacuateur de crue, le niveau d'eau pour les crues décennale et centennale en aval immédiat du barrage de Pont-Avet est légèrement plus bas que lors d'un fonctionnement normal. Ceci peut s'expliquer par le fait que la marée (côte mer à 7.20m NGF) ne remonte pas en amont du barrage laissant ainsi une plus grande zone d'expansion dans la retenue de Pont-Avet.

Les résultats des simulations sont représentés sur les profils en long de la rivière donnés en annexe 3.

Les deux figures suivantes donnent les valeurs des niveaux d'eau en pied de barrage de Pont-Avet :

**Figure 21 : Hauteur d'eau dans le cas où le moulin fonctionne correctement**

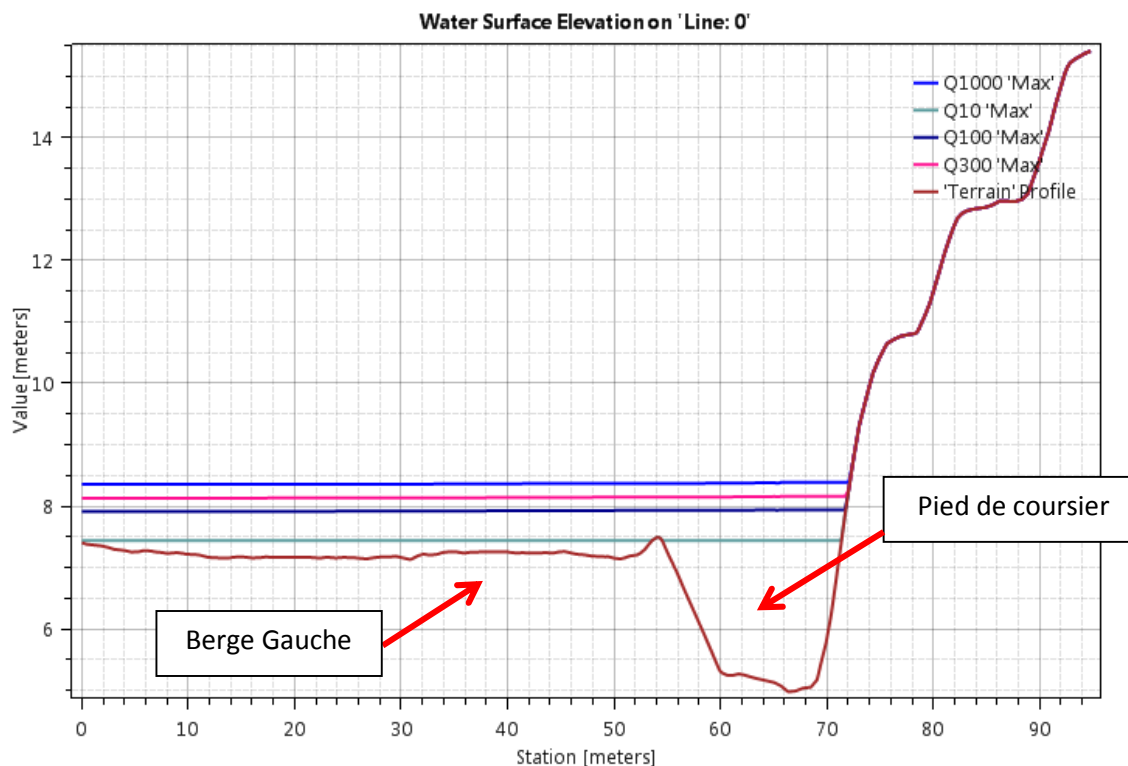
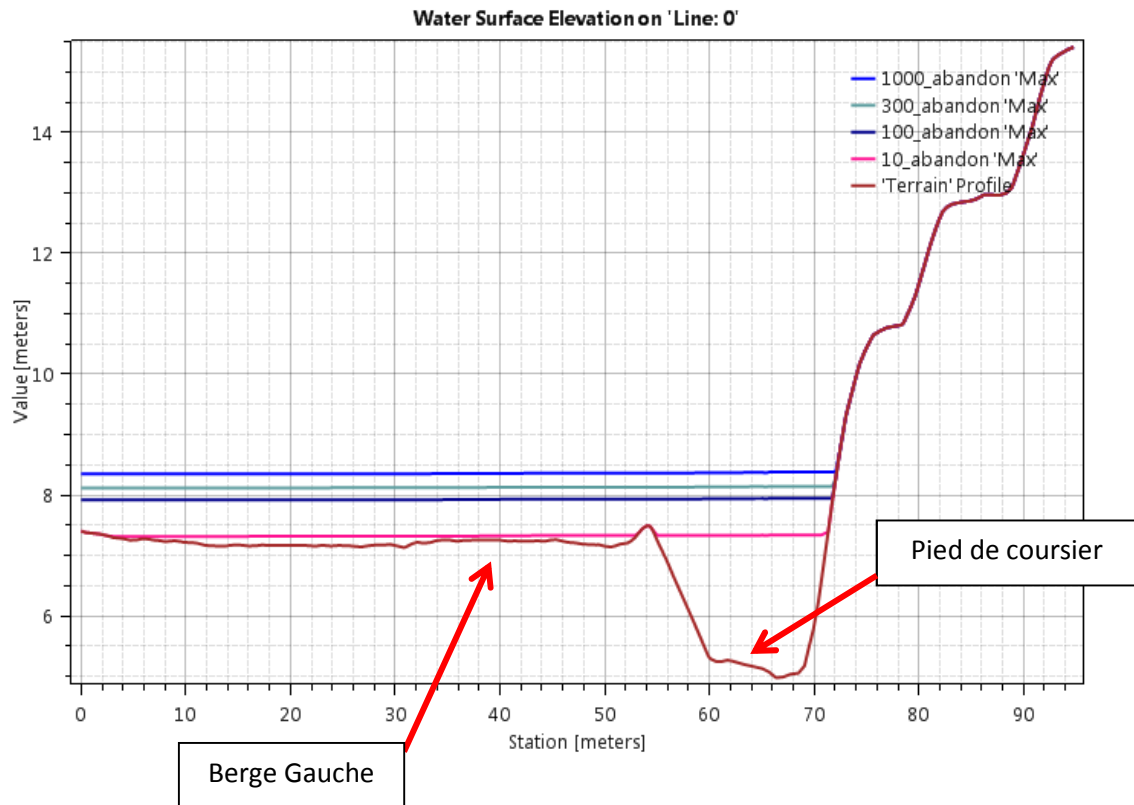




Figure 22 : Hauteur d'eau dans le cas où le moulin ne fonctionne pas



L'annexe 4 donne la cartographie des zones inondées pour la crue centennale.

-O-O-O-



## ANNEXES

1. Durées de retour de fortes précipitations à Dinard (35)
2. Fiches de repère de crues
3. Profils en long
4. Cartographie des zones inondables



## ANNEXE 1

### DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS DINARD (35)







## DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode GEV Locale-Régionale

Statistiques sur la période 1960-2016

### DINARD (35)

Indicatif : 35228001, alt : 65 m., lat : 48°35'05"N, lon : 2°04'34"O

L'échantillon des fortes pluies ayant servi à ajuster les paramètres de la loi Locale-Régionale GEV :

- contient 988 valeurs maximales annuelles
- provient également des 34 stations : 22190002 (PLESLIN-TRIGAVO), 35299002 (ST-MELOIR), 22282001 (SAINT-CAST-LE-G), 22048001 (CORSEUL), 22118001 (LANVALLAY), 35224001 (PLERGUER), 22201002 (PLEVENON), 35225001 (PLESDER), 22104001 (LANGUEDIAS), 22261002 (QUINTENIC), 22263001 (LE QUIOU), 35078002 (CHERRUEIX), 22193001 (PLESTAN), 22369001 (TREMEUR), 22020002 (BROONS), 22032002 (CAULNES-EDF), 35085003 (COMBOURG), 22186004 (PLENEUF\_VA), 35044001 (BROUALAN), 22093001 (LAMBALLE), 35307001 (ST-PERN), 50218003 (ILE\_DE\_CHAUSEY), 35270002 (ST-GEORGES), 22114003 (LANRELAS-EDF), 35023001 (BEDEE), 22015001 (BREHAND), 22081001 (HILLION), 50410003 (PONTORSON), 35027001 (BOISGERVILLY), 35110003 (FEINS\_SA), 22371001 (TREMORL), 35303002 (SAINT\_OUEN\_LA\_R), 22278005 (SAINT\_BRIEUC), 35173001 (MELESSE) situées sur un rayon de 49.8 km

Durée de retour	Hauteur estimée	Intervalle de confiance à 70 %	
5 ans	39.9 mm	38.2 mm	41.6 mm
10 ans	46.4 mm	44.4 mm	48.6 mm
20 ans	53.3 mm	51.3 mm	56.3 mm
30 ans	57.7 mm	55.6 mm	61.3 mm
50 ans	63.7 mm	61.4 mm	68.1 mm
75 ans	68.7 mm	66.3 mm	74.1 mm
100 ans	72.5 mm	70.0 mm	78.7 mm

Paramètre de forme  $k = -0.16$

Paramètre d'échelle = 6.35 Paramètre de localisation = 29.12

VALEURS MAXIMALES DE L'ECHANTILLON TRAITE

Station	Hauteur observée	Date
22015001 (BREHAND)	124.3 mm	04/07/1973
35228001 (DINARD)	108.6 mm	25/05/2010
22015001 (BREHAND)	93.2 mm	29/06/1992
22186004 (PLENEUF_VA)	80.7 mm	12/09/2008
35023001 (BEDEE)	80.0 mm	04/07/1973

\* Les statistiques sont établies à partir de valeurs quotidiennes relevées entre 6 heures et 6 heures UTC\*\* (le lendemain)

\*\* heure légale = heure UTC + 1 (hiver) ou heure UTC + 2 (été)

Page 1/2

Edité le : 12/09/2019

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Météo-France  
73 avenue de Paris 94165 SAINT MANDE  
Tél. : 0 890 71 14 15 – Email : contactmail@meteo.fr





## DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS

Episode : 1 jour – Méthode GEV Locale-Régionale

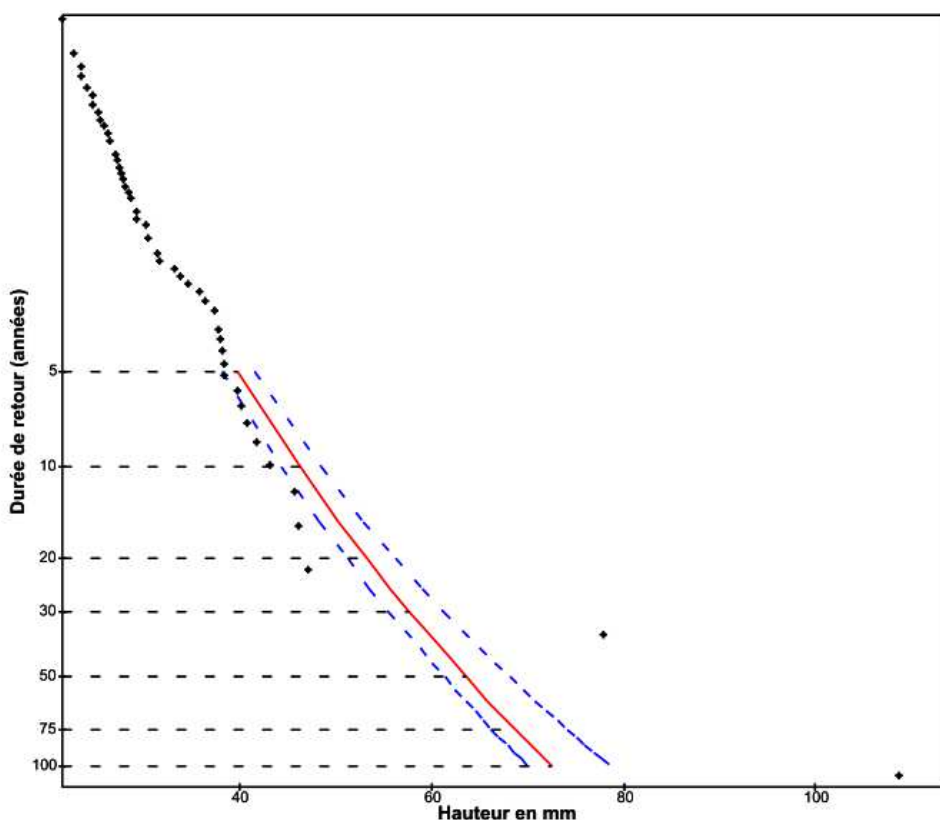
Statistiques sur la période 1960-2016

**DINARD (35)**

Indicatif : 35228001, alt : 65 m., lat : 48°35'05"N, lon : 2°04'34"O

GRAPHIQUE D'AJUSTEMENT

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



Page 2/2

Edité le : 12/09/2019

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Météo-France  
73 avenue de Paris 94165 SAINT MANDE  
Tél. : 0 890 71 14 15 – Email : contactmail@meteo.fr



## ANNEXE 2

### FICHES DE LAISSES DE CRUES



Cliquez ici pour ajouter un en-tête

<b>Fiche de relevés de laisses / repères de crues</b>	<b>N° 1</b>
---	-------------



<b>Cours d'eau</b> : Frémur	<b>Commune</b> : Saint-Briac-sur-Mer
<b>Date de la crue</b> : Xynthia	

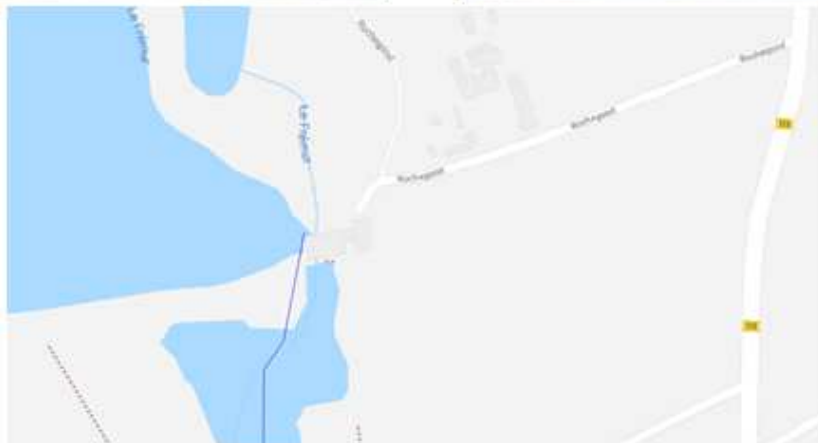
**Adresse** : Moulin de Rochegoude

**Description / Commentaire :**

Xynthia : phénomène concomittent de la mer et du fleuve, lâchers d'eau depuis Pont Avet  
L'eau a atteint 7,7m en amont du moulin

**Source** : Propriétaire du moulin de Rochegoude

**Fiabilité** : Bonne



**Coordonnées Lambert 93 / Nivellement**

X = 322492.3    Y = 6846055.7    Z = +7.7 m    Zsol =

Etude hydraulique pour la construction d'un pont à Aubert  
pour la desserte de la marbrière "Grand Antique d'Aubert"



Cliquez ici pour ajouter un en-tête

<b>Fiche de relevés de laisses / repères de crues</b>	<b>N° 2</b>
---	-------------



<b>Cours d'eau</b> : Frémur	<b>Commune</b> : Saint-Briac-sur-Mer
<b>Date de la crue</b> : environ 15 ans	

**Adresse** : Au pied de la Ville Pelée

**Description / Commentaire** :

Limite de montée des eaux lorsque la digue a été ouverte. L'ensemble des peupliers présents sont morts. On en retrouve encore quelques uns.

**Source** : Riverains

**Fiabilité** : Bonne



Etude hydraulique pour la construction d'un pont à Aubert pour la desserte de la marbrière "Grand Antique d'Aubert"



Cliquez ici pour ajouter un en-tête

<b>Fiche de relevés de laisses / repères de crues</b>	<b>N° 3</b>
---	-------------



<b>Cours d'eau :</b> Frémur	<b>Commune</b> Saint-Briac-sur-Mer
<b>Date de la crue : environ 15 ans</b>	

**Adresse :** Doitelle

**Description / Commentaire :**

80cm d'eau dans la cours de la maison la plus basse du lieu-dit Doitelle

**Photo du propriétaire ?**

**Source :** Riverain

**Fiabilité :** Bonne



**Coordonnées Lambert 93 / Nivellement**

**X =** 322235.88    **Y =** 6845676.47    **Z =** +80cm    **Zsol =**

Etude hydraulique pour la construction d'un pont à Aubert pour la desserte de la marbrière "Grand Antique d'Aubert"



Cliquez ici pour ajouter un en-tête

<b>Fiche de relevés de laisses / repères de crues</b>	<b>N° 4</b>
---	-------------



<b>Cours d'eau :</b> Frémur	<b>Commune :</b> Saint-Briac-sur-Mer
<b>Date de la crue : environ 15 ans</b>	

**Adresse :** Pont Avet - Moulin aux filles

**Description / Commentaire :**

L'eau est montée dans le jardin au pied de l'arbuste avant que la digue soit ouverte

**Source :** Riverain

**Fiabilité :** Bonne



**Coordonnées Lambert 93 / Nivellement**

X = 322410.8      Y = 6844476.28      Z =      Zsol =

Etude hydraulique pour la construction d'un pont à Aubert pour la desserte de la marbrière "Grand Antique d'Aubert"

Cliquez ici pour ajouter un en-tête

<b>Fiche de relevés de laisses / repères de crues</b>	<b>N° 5</b>
---	-------------



<b>Cours d'eau :</b> Frémur	<b>Commune :</b> Saint-Briac-sur-Mer
<b>Date de la crue : crues hivernales fréquentes</b>	

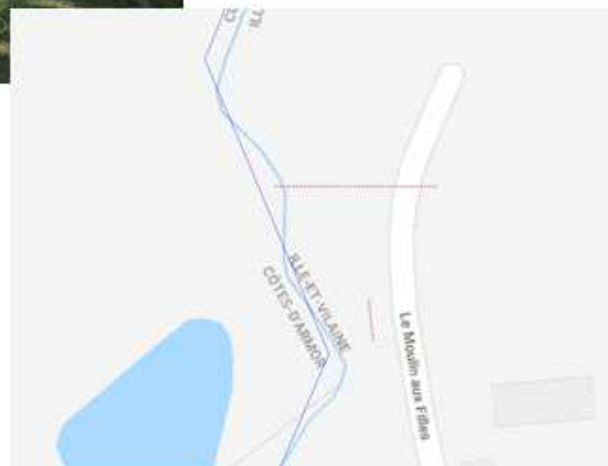
**Adresse :** Pont Avet - Moulin aux filles

**Description / Commentaire :**

Lors des épisodes de crues hivernales du Frémur le secteur rive droite en aval du moulin aux filles est entièrement inondé. L'eau s'arrête au niveau de la barrière.

**Source :** Riverain

**Fiabilité :** Bonne



**Coordonnées Lambert 93 / Nivellement**

X = 322405.7    Y = #####    Z =    Zsol =

Etude hydraulique pour la construction d'un pont à Aubert pour la desserte de la marbrière "Grand Antique d'Aubert"



## ANNEXE 3

### PROFILS EN LONG





Figure 23 : Profil en long Dans le cas d'un bon fonctionnement du moulin de Rochegoude

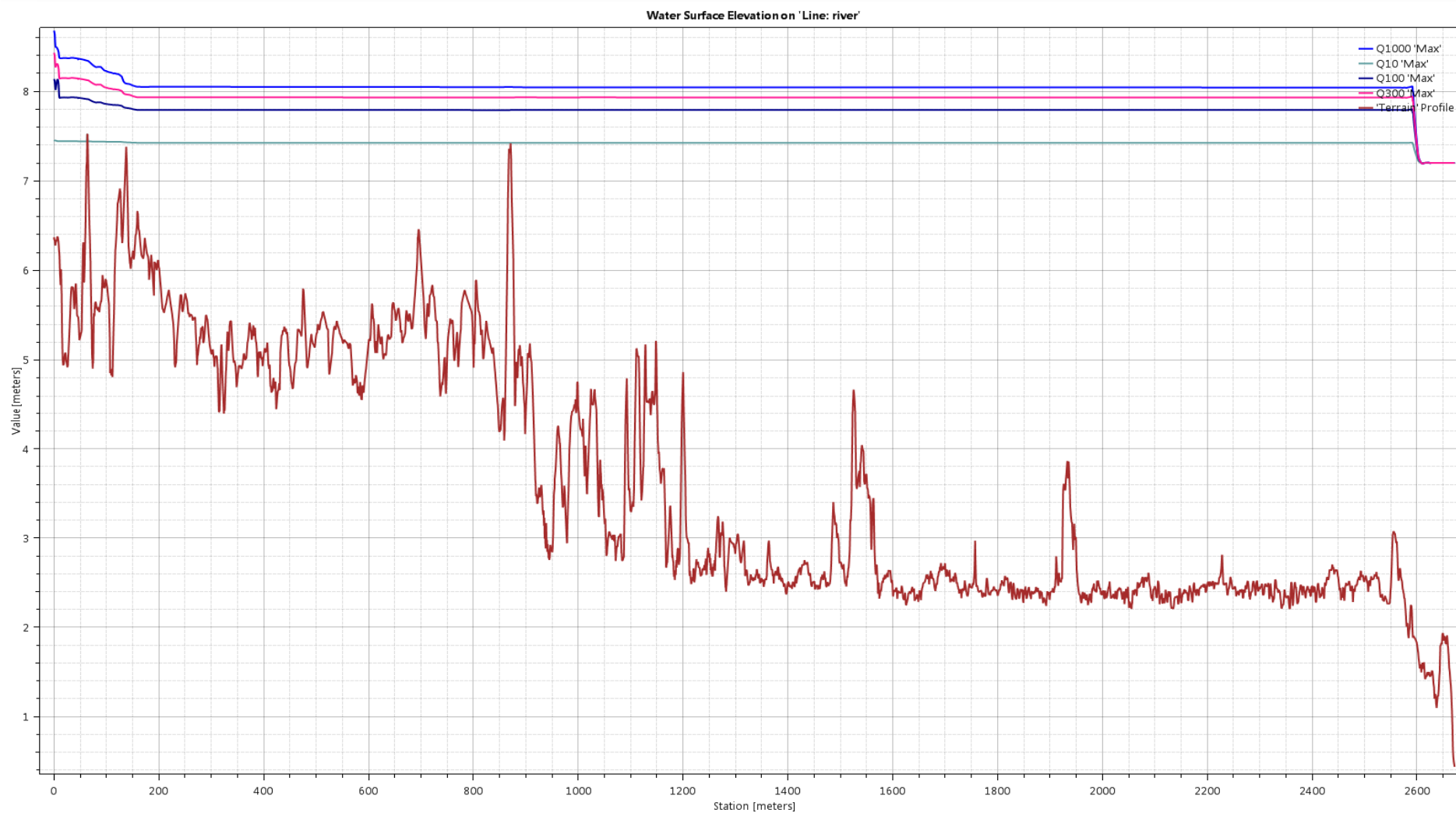
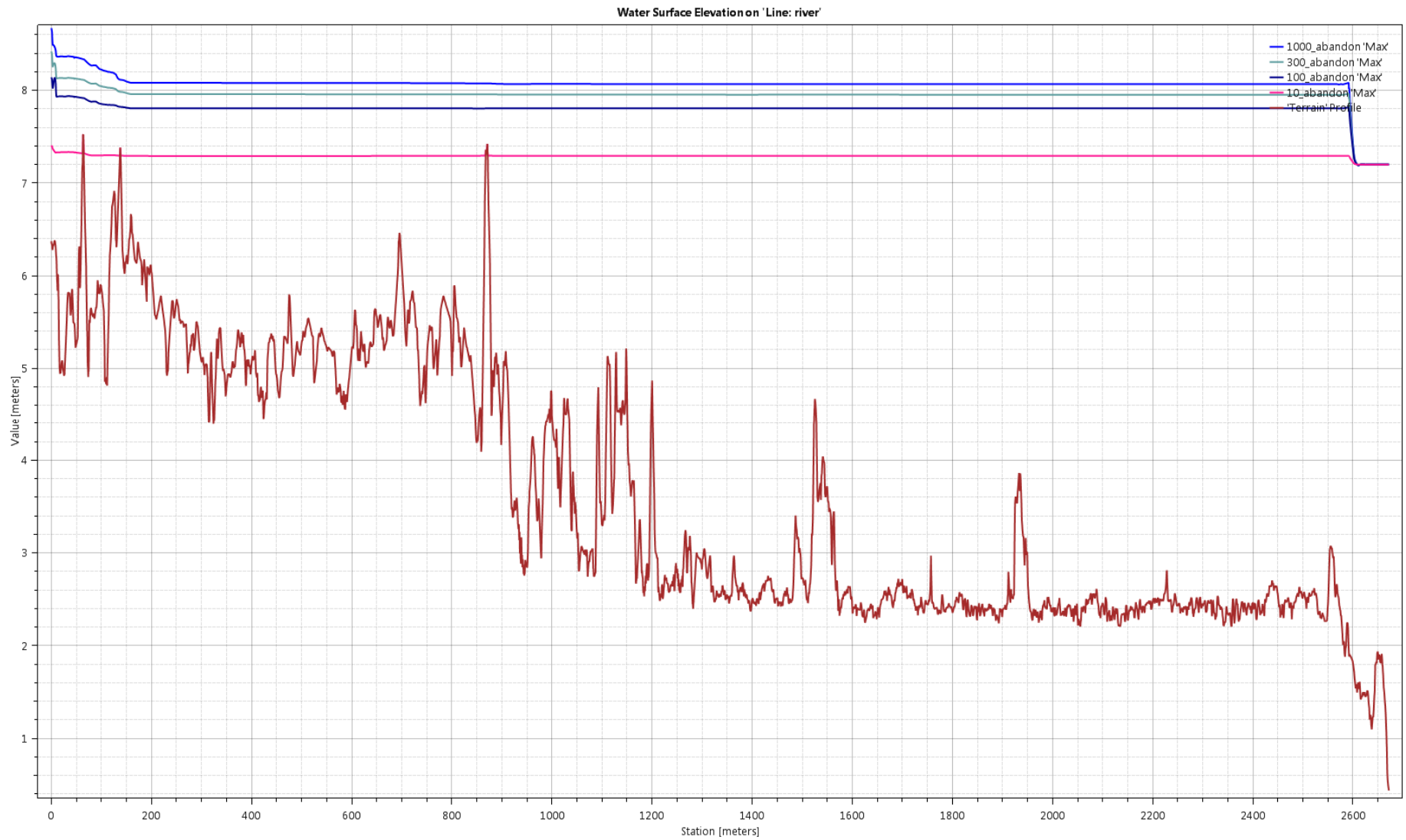


Figure 24 : Profil en long sans le cas d'un dysfonctionnement du moulin de Rochegoude

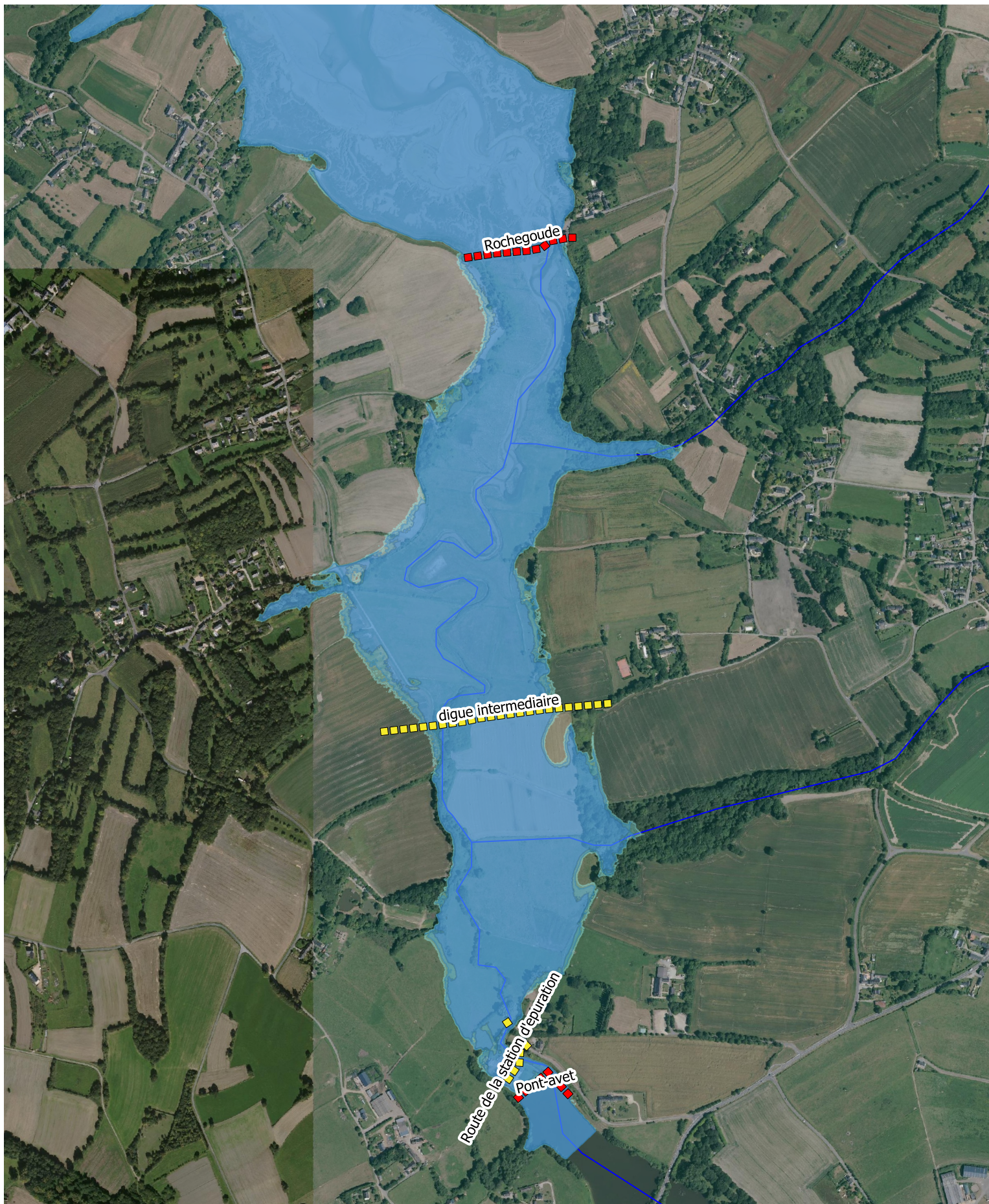


## ANNEXE 4

### CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES





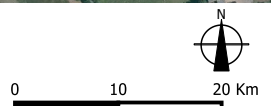


### Légende :

Cours d'eau (BD CARTHAGE)

### Hauteur d'eau

- $H > 0,5 \text{ m}$
- $0,2 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$
- $0 \text{ m} < H < 0.2 \text{ m}$



Sources : IGN@2013, CACG

Réalisation : CACG FH261 - Octobre 2019

Projection : RGF - Lambert 93



