

maître d'ouvrage



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Préfecture du Finistère

PROJET

service instructeur

ministère de l'Équipement,
des Transports, du Logement
du Tourisme et de la Mer



direction
départementale
de l'Équipement
Finistère

PPR prescrit le 19 novembre 1997
Approuvé par arrêté préfectoral
du 21 juin 2000
Révision prescrite le 21 juin 2001
Arrêté préfectoral des mesures
par anticipation en date
du 04 avril 2002
Révision approuvée par arrêté
préfectoral du

Révision du Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles Inondation (PPRI)

Bassin de la rivière de Morlaix
Communes de Morlaix, Plourin lès Morlaix
et Saint Martin des Champs

A - Rapport d'étude

bureau d'études



1 av. du Bois l'Abbé
49070 BEAUCOUZÉ
tel : 02 41 36 01 77
fax : 02 41 48 04 14

mars 2004

SOMMAIRE

1. ... CONTEXTE - OBJECTIFS DE LA MISSION	3
2. ... MÉTHODOLOGIE	4
3. ... DONNÉES HYDROMÉTRIQUES ET CLIMATIQUES DISPONIBLES	5
3.1 LES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	5
3.2 LES STATIONS HYDROMÉTRIQUES	5
3.2.1 Le Queffleuth au lieu-dit "les trois Chênes"	5
3.2.2 Le Jarlot à l'Hermitage	6
3.2.3 Le Tromorgan à Plougonven	6
4. ... ANALYSE CLIMATIQUE	7
4.1 CONTEXTE ATMOSPHÉRIQUE GÉNÉRANT LES CRUES SUR MORLAIX	7
4.2 ANALYSE STATISTIQUE AUX STATIONS DE MESURES	7
4.3 LAMES D'EAU MAXIMALES ENREGISTRÉES SUR LA PÉRIODE NOVEMBRE-MARS	7
5. ... ANALYSE DES BASSINS VERSANTS	10
6. ... ANALYSE DES HYDROGRAMMES DE CRUE DÉBITS MAXIMA ET DURÉES CARACTÉRISTIQUES	11
6.1 JARLOT ET TROMORGAN EN AMONT DE LA CONFLUENCE :	11
6.2 JARLOT ET QUEFFLEUTH	11
6.3 ANALYSE DE LA CONCOMITANCE	12
7. ... CHOIX DU TYPE DE MODÉLISATION	13
7.1 CONSTRUCTION DU MODÈLE	13
7.1.1 Données topographiques utilisées	13
7.1.2 Condition limite	14
7.1.3 Calage du modèle	14
7.2 RÉSULTATS	16
7.2.1 Le Queffleuth	16
7.2.2 Le Jarlot	17
8. ... APPROCHE STATISTIQUE	18
8.1 AJUSTEMENT DES DÉBITS MAXIMA	18
8.2 APPROCHE DU DÉBIT CENTENNAL PAR LA THÉORIE DU GRADEX	18
8.2.1 Application au cas du Queffleuth	19
9. ... APPROCHE DU DÉBIT CENTENNAL PAR LA THÉORIE DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE	21

9.1 RAPPEL DU PRINCIPE	21
9.2 APPLICATION AU QUEFFLEUTH	21
9.2.1 Calage de la crue de décembre 2000	21
9.2.2 Temps caractéristiques de l'événement de décembre 2000	22
9.2.3 Validation sur la crue de janvier 1995	22
9.3 UTILISATION DU MODÈLE POUR L'ESTIMATION DU DÉBIT DÉCENNAL ET CENTENNAL	23
9.4 APPLICATION DE LA MÉTHODE DU GRADEX À L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT	23
10. APPROCHE GÉOMORPHOLOGIQUE ET HISTORIQUE	24
10.1 APPROCHE HISTORIQUE	24
10.2 APPROCHE GÉOLOGIQUE	25
10.2.1 Extension maximale des zones inondables	25
10.2.2 Estimation des débits pouvant transiter par la vallée	26
10.2.3 Conclusion	26
11. SYNTHÈSE	27
12. EFFET DE LA MARÉE-CARACTÉRISATION DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE	28
12.1 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE	28
12.2 CHOIX DE LA SUR-COTE ATMOSPHÉRIQUE	29
12.3 DÉTERMINATION DES DENSITÉS DE PROBABILITÉS DES HAUTEURS IMPOSÉES PAR LA MER ET DES DÉBITS	30
12.3.1 les hauteurs imposées par la mer	30
12.3.2 Les débits	31
12.4 DÉTERMINATION DE LA RELATION ENTRE HAUTEUR DE MARÉE ET DÉBIT À FIXER	31
13. CHOIX DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE	33

1. CONTEXTE - OBJECTIFS DE LA MISSION

Suite aux crues exceptionnelles de décembre 2000 et janvier 2001, une révision des Plans de Prévention des Risques "Inondation" approuvés sur les secteurs de Morlaix, Châteaulin, Quimper et Quimperlé a été décidée.

Sur la base des nouvelles données et à partir du diagnostic des PPR actuels, la Préfecture du Finistère a décidé de lancer une étude consistant en :

- L'analyse des données historiques et la cartographie des phénomènes naturels,
- La qualification et la cartographie des aléas,
- L'évaluation et la cartographie des enjeux,
- L'élaboration du dossier révisé des PPR « inondations ».

Le présent rapport est relatif à la révision du PPRI de Morlaix.

La difficulté majeure de l'établissement d'un PPR est la définition de l'aléa de référence. La mission d'expertise rappelle que "le niveau de l'aléa est fixé réglementairement à la "crue historique" ou à défaut centennale en considérant que ses caractéristiques devraient être à peu près bien connues". Cette définition implique :

- une recherche historique approfondie,
- une analyse hydrologique sérieuse.

Le présent rapport expose la méthode de définition de l'aléa de référence.

2. MÉTHODOLOGIE

Afin de déterminer l'aléa hydrologique de référence, plusieurs approches sont réalisées :

Une approche statistique : ajustement des débits maxima enregistrés sur les rivières,

Une approche hydrologique : calage d'un modèle hydrologique et utilisation de ce modèle pluie-débit pour déterminer l'événement centennal,

Une approche géomorphologique et historique.

3. DONNÉES HYDROMÉTRIQUES ET CLIMATIQUES DISPONIBLES

3.1 LES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Les pluies sur le bassin versant de Morlaix peuvent être connues à partir de plusieurs postes pluviométriques et pluviographiques :

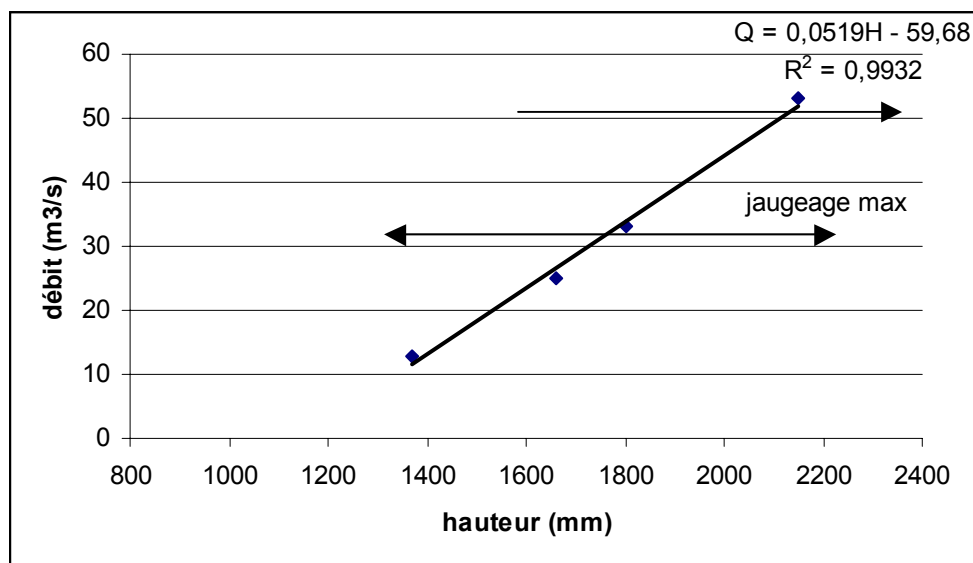
- le pluviomètre de Morlaix (enregistrements depuis 1969),
- le pluviomètre de Pleyber-Christ (enregistrements depuis 1950),
- le pluviomètre de Plougonven
- le pluviographe de Pleyber Christ (enregistrements à partir des années 90),
- le pluviographe de Le Plessis (enregistrements à partir des années 90),
- le pluviographe de Toulivinen (enregistrements à partir des années 90),

La répartition des pluviographes sur le bassin versant ne permet pas d'estimer avec précision une lame d'eau moyenne car les stations pluviographiques sont situées en altitude. Des différences notables apparaissent entre les moyennes journalières relevées à Morlaix et les moyennes journalières relevées aux pluviographes lors des événements de crue importants (en particulier en janvier 1995).

3.2 LES STATIONS HYDROMÉTRIQUES

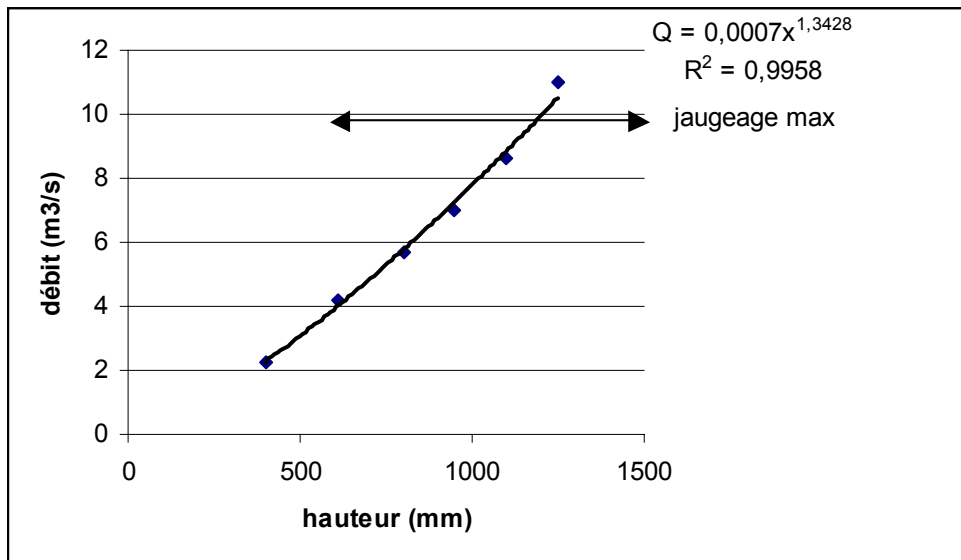
3.2.1 LE QUEFFLEUTH AU LIEU-DIT "LES TROIS CHÊNES"

La station hydrométrique contrôle un bassin versant de 96 km². Les services de la Diren, gestionnaire de la station, ont fourni la liste des jaugeages qui ont servi à établir la courbe de tarage. Le débit maximum jaugé depuis 1988 est de 31,7 m³/s (le 26 janvier 1995 à 15h20).. Le graphe ci-dessous présente la courbe de tarage de la station. Y est mentionné le débit maximum jaugé. Pour les débits supérieurs à 9 m³/s, les jaugeages suivent approximativement une relation linéaire avec la hauteur d'eau.



3.2.2 LE JARLOT À L'HERMITAGE

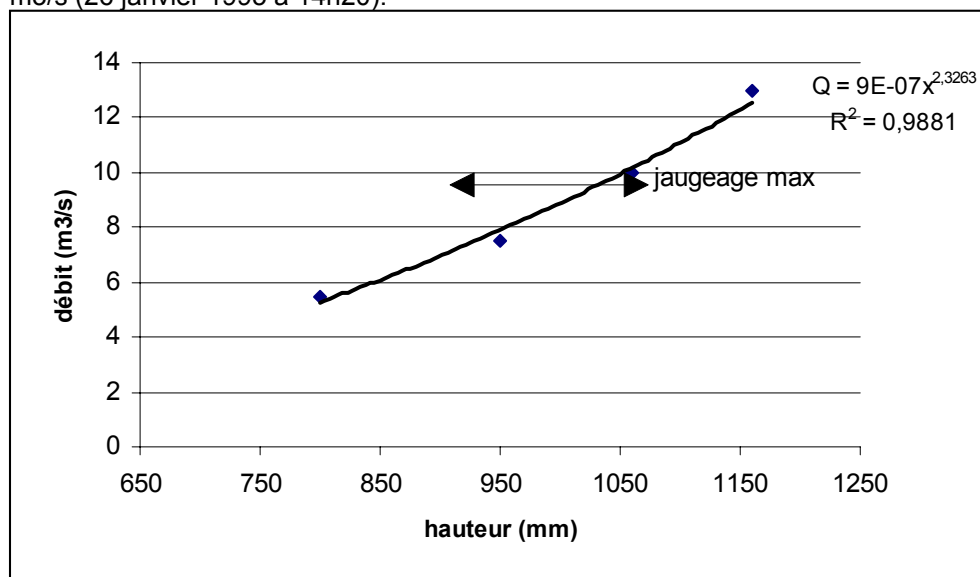
La station hydrométrique contrôle un bassin versant de 44 km². Le débit maximum jaugé est de 9,95 m³/s (26 janvier 1995 à 13h45).



Les débits évalués depuis 1967 ne dépassent pas 11 m³/s. Les débits de 1974, 1995 et 2000 sont de 11, 10 et 10,8 m³/s respectivement.

3.2.3 LE TROMORGAN À PLOUGONVEN

La station hydrométrique contrôle un bassin versant de 42,3 km². Le débit maximum jaugé est de 9,05 m³/s (26 janvier 1995 à 14h20).



Pour l'ensemble des stations, un jaugage a été réalisé lors de fortes crues depuis 1988. Les débits maxima estimés lors des crues de 1995 et 2000 sont un peu supérieurs mais restent assez voisins des valeurs jaugées.

4. ANALYSE CLIMATIQUE

4.1 CONTEXTE ATMOSPHÉRIQUE GÉNÉRANT LES CRUES SUR MORLAIX

Les crues sur le bassin versant de Morlaix sont issues pour la plupart d'entre elles des perturbations atlantiques hivernales. La trajectoire des perturbations varie selon l'importance relative des centres de hautes pressions des Açores et des basses pressions d'Islande. Les dépressions nord-atlantiques suivent généralement une trajectoire sud-ouest → nord-est.

Les deux épisodes de crue les plus importants de ces 50 dernières années (1995 et 2000) sont marqués par de fortes précipitations dans la période automnale précédant l'événement et une durée de l'épisode intense dépassant 24 heures. En ce qui concerne l'événement de 2000, ces durées sont liées à l'orientation nettement sud-ouest/nord-est de la série de perturbations.

4.2 ANALYSE STATISTIQUE AUX STATIONS DE MESURES

Le tableau ci-dessous présente les lames d'eau saisonnières (novembre à mars) non centrées de période de retour 10 et 100 ans aux stations de Pleyber-Christ et Morlaix :

Durée de la pluie	P10 Morlaix	P10 Pleyber	P100 Morlaix	P100 Pleyber
24 heures	44 mm	51 mm	63 mm	74 mm
48 heures	59 mm	65 mm	78 mm	86 mm

On constate une variation notable de la lame d'eau de référence entre les stations de Morlaix et Pleyber-Christ.

4.3 LAMES D'EAU MAXIMALES ENREGISTRÉES SUR LA PÉRIODE NOVEMBRE-MARS

Le tableau ci-dessous présente les lames d'eau sur 1 jour et 2 jours aux stations de Pleyber-Christ et Morlaix lors des événements de pluie marquants depuis 1959 :

	Pleyber 1jour	Morlaix 1jour	Pleyber 2 jours	Morlaix 2 jours
Février 1974	66,5	47,6	79	53
décembre 1979	54,5	30	73,7	40,5
janvier 1982	36,3	39	57,8	71,2
Février 1990	36,5	30	54,3	43,9
Janvier 93	42	25,2	70	43,3
Janvier 1995	41	20,2	59	52
décembre 1999	41	28,9	59	49,5
12 Décembre 2000	31	18,3	59	43,9

Lames d'eau comparées bassin versant de Morlaix (en mm)

Sur l'ensemble des événements marquants, la pluviométrie enregistrée à Pleyber-Christ peut dépasser notablement la pluviométrie à Morlaix. Cette différence spatiale constituera une contrainte dans le calage d'un modèle hydrologique pluie-débit.

Le tableau ci-dessous présente les maxima à Pleyber-Christ et les lames d'eau le même jour à Morlaix.

	Pleyber	Morlaix
10/02/1974	66,5	47,6
27/12/1979	54,5	29,8
07/11/1982	51,5	44,3
17/03/1988	42,3	38,2
26/01/1975	42	28
10/01/1993	42	25,2
21/01/1995	41	20,2
24/12/1999	41	28,9
26/12/1998	39	5,6
27/01/1978	37,5	35,2
09/01/1982	36,3	39
12/02/1972	35,8	
24/01/1977	35,7	44
31/12/2000	35	24,3
15/11/1975	34,5	
26/01/2002	33	7,2
11/12/2000	31	18,3
22/01/1986	31,3	
30/03/1985	30,3	
17/03/1971	30	
13/02/1990	29	27,5

Toutes les crues marquantes sont consécutives à une lame d'eau journalière tombée supérieure à 30 mm environ à Pleyber-Christ.

Le tableau ci-dessous présente un classement des événements pluvieux sur la base du maximum sur 2 jours consécutifs de la somme des pluies tombées à Pleyber-Christ et Morlaix.

		Morlaix (mm)	Pleyber (mm)
10/02/1974	11/02/1974	53	79
09/01/1982	10/01/1982	71	58
09/02/1974	10/02/1974	47	68
10/01/1993	11/01/1993	43	70
24/01/1995	25/01/1995	54	59
27/12/1994	28/12/1994	54	57,5
21/01/1995	22/01/1995	52	59
26/12/1979	27/12/1979	36	74
27/12/1979	28/12/1979	40	62
11/12/2000	12/12/2000	44	59
06/11/1982	07/11/1982	50	52
17/03/1988	18/03/1988	48	53,5
08/11/1979	09/11/1979	53	47
27/01/1978	28/01/1978	48,5	50
07/02/2001	08/02/2001	51	44,5
23/12/1999	24/12/1999	42	52
08/01/1991	09/01/1991	50	45
07/11/1979	08/11/1979	47	47
11/02/1972	12/02/1972	47	47

16/03/1988	17/03/1988	46	47
09/01/1993	10/01/1993	39	52
24/01/1977	25/01/1977	46	44
10/12/1999	11/12/1999	41	48
28/12/1994	29/12/1994	42	46
15/11/1972	16/11/1972	47	40

Ces séries de tableaux permettent de tirer quelques conclusions quant aux conditions de genèse d'une crue importante (en terme de dommages sur le secteur de Morlaix) ; les crues marquantes sont caractérisées par les conditions pluviométriques suivantes :

- **une intensité de pluie importante (30 mm sur une journée),**
- **une répartition spatiale des pluies relativement homogène,**
- **une durée de précipitations d'au moins 2 jours avec une lame d'eau cumulée de plus de 50 mm.**

5. ANALYSE DES BASSINS VERSANTS

Le rapport de présentation du PPR réalisé en 1998 par Alidade indiquait que sur des critères géologiques ou morphologiques, les bassins versants du Queffleuth et du Jarlot étaient semblables. Dans cette étude, la morphologie a été caractérisée par les coefficients usuels :

	Surface (km ²)	Périmètre (km)	chemin hydraulique (km)	compacité	facteur de forme	rayon de circularité	penne moyenne (mm/m)
Jarlot	91,45	47,15	19,38	1,39	0,24	0,52	10,3
Queffleuth	97,97	52,68	21,48	1,5	0,21	0,44	12,7
Bassin versant	201,04	90,15	25,53	1,79	0,31	0,31	11,0

Le temps de concentration t_c peut être déduit théoriquement de ces caractéristiques.

Physiquement, il correspond au temps mis par la goutte d'eau la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. L'estimation de ce temps de concentration est obtenue sur les différents sous bassins à partir des formules empiriques telles que les formules de Turraza et Ventura présentées ci-après.

$$\text{Turraza : } t_c = \frac{0,1 \cdot \sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{p}}$$

$$\text{Ventura : } t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{p}}$$

avec : S : surface du bassin versant en km²,
L : longueur du chemin hydraulique le plus long en km,
p : pente moyenne du bassin versant en m/m,

	L (km)	p (m/m)	S (km ²)	t_c Ventura (h)	t_c Turraza (h)
Jarlot	19,38	0,0103	91,45	11,98	11,92
Queffleuth	21,48	0,0127	97,97	11,17	11,37

Les temps de concentration des deux bassins sont voisins, égaux à 11 heures environ.

Le rapport de 1983 (Bceom-Brgm-Sogreah) analysait la répartition géologique des sous-bassins versants :

	formations briovériennes	formations sédimentaires paléozoïques	Granite
Queffleuth	26%	37%	37%
Jarlot	7%	20%	73%
Tromorgant	0%	35%	65%

Les formations sédimentaires paléozoïques se situent dans toute la moitié nord et à l'extrémité sud du bassin versant. Le débit d'étiage est plus soutenu sur le Jarlot compte tenu des réserves souterraines dans les terrains granitiques. En ce qui concerne les crues, cette différence de configuration peut engendrer des différences surtout notables pour les crues de moyenne importance.

Concernant les morphologies de vallée, l'étude de 1983 note que « la morphologie de la vallée du Queffleuth lui confère une forte capacité d'écrêtement et de ralentissement des crues débordantes, au moins tant que les hauteurs d'eau dans les zones inondables restent faibles ».

6. ANALYSE DES HYDROGRAMMES DE CRUE DÉBITS MAXIMA ET DURÉES CARACTÉRISTIQUES

Les débits maxima fournis par la banque de données hydrométrique du Ministère de l'Environnement sont les suivants :

	débits maxima Queffleuth (m3/s)	débits maxima Jarlot à Morlaix (m3/s)	débits maxima Tromorgant (m3/s)	débits maxima Jarlot (m3/s)
déc-00	49,3	19,8	8,8	10,8
févr-74	-	-	-	11
janv-95	32,4	10	9,8	10
janv 82	-	-	12,3	8,1
févr-90	27,9	-	7,5	8,8

Les temps de montée et temps de décrue sur le Queffleuth et le Jarlot sont donnés dans les tableaux suivants :

6.1 JARLOT ET TROMORGAN EN AMONT DE LA CONFLUENCE :

	temps de montée		temps de décrue	
	Jarlot	Tromorgant	Jarlot	Tromorgant
février 1974	19 heures	-	30 heures	-
Janvier 1982	15 heures	19 heures	48 heures	48 heures
février 1990	36 heures	36 heures	-	-
Janvier 1995	20 heures	20 heures	-	-
décembre 2000	17 heures	15 heures	30 heures	30 heures
février 2001	10 heures	12 heures	20 heures	20 heures

Tromorgant et Jarlot en amont de la confluence ont des comportements semblables. Les temps de montée sont variables et dépendent des intensités pluviométriques. Les événements de 1974 et 2000 marqués par une intensité des pluies importante et une répartition spatiale homogène mettent en évidence la réponse du bassin versant. Le temps de montée d'une quinzaine d'heures et une décrue d'une trentaine d'heures sont caractéristiques de ces événements.

6.2 JARLOT ET QUEFFLEUTH

	temps de montée		temps de décrue	
	Jarlot à Morlaix	Queffleuth	Jarlot à Morlaix	Queffleuth
février 1974	-	24 heures	-	-
Janvier 1982	-	40 heures	-	-
février 1990	-	40 heures	-	-
Janvier 1995	24 heures (4ème pic)	15-24 heures (suivant pics)	-	30 heures
décembre 2000	24 heures	20 heures	24 heures	24 heures
février 2001	15 heures	-	24 heures	-

(-) : MANQUANT OU DIFFICILE À DÉTERMINER

Les temps caractéristiques des rivières Jarlot et Queffleuth pour des événements de forte intensité de courte durée sont les suivants :

**temps de montée : 20-24 heures,
durée de la décrue : 24-30 heures.**

6.3 ANALYSE DE LA CONCOMITANCE

Pour les forts débits, les débits de pointe du Jarlot et du Queffleuth sont en concomitance. Les études de 1983 puis de 1998 ont mis en évidence cet état de fait démontrant par ailleurs un fonctionnement hydrologique assez semblable des deux bassins versants du Queffleuth et du Jarlot.

7. CHOIX DU TYPE DE MODÉLISATION

Le logiciel employé pour la modélisation est CARIMA/SOGREAH distribué par le LHF. Ce logiciel permet la simulation des écoulements transitoires à surface libre en rivières et canaux.

Le programme traite deux régimes de base des écoulements en crue : l'écoulement unidimensionnel (1-D), suivant le ou les lits mineurs de la rivière, représenté par des équations complètes qui tiennent compte de l'inertie, et l'écoulement bidimensionnel (2-D), représenté par des équations sans inertie et des équations pour l'écoulement sur les déversoirs.

Les principaux types d'éléments de modélisation utilisés dans cette étude sont des éléments unidimensionnels :

- les points 1-D : point de calcul représenté par un profil en travers de la rivière, et des coefficients de Strickler.
- les tronçons 1-D fluvial, liant deux points 1-D, caractérisé par sa longueur,
- les nœuds, liant trois tronçons fluvial 1-D en cas de confluence,
- les déversoirs, caractérisés par une cote, une largeur, et un coefficient de débit,
- les orifices, caractérisés par une cote plancher, une cote plafond, une largeur, et un coefficient de débit, les d'orifices sont utilisés pour modéliser les ponts,
- les galeries, simulées par une section avec une fente de faible largeur qui permet le calcul quand l'écoulement se met en charge,
- les points d'extrémité particuliers ; ils peuvent comporter une loi $Q(t)$, débit en fonction du temps, pour un point amont, une loi $Q(y)$, débit en fonction du niveau d'eau ou une loi $Y(t)$, niveau d'eau imposé en fonction du temps, pour un point aval,

La rivière de Morlaix et ses deux affluents le Queffleuth et le Jarlot sont modélisé à partir d'un modèle filaire en régime permanent : ce type de modèle, comprend une succession de profils en travers d'axe parallèle au lit majeur qui incluent chacun l'ensemble du lit majeur et des lits mineurs ; chaque profil est alors divisé en plusieurs parties pour tenir compte en particulier de différents coefficients de Strickler.

7.1 CONSTRUCTION DU MODÈLE

7.1.1 DONNÉES TOPOGRAPHIQUES UTILISÉES

Les données topographiques et bathymétriques utilisées pour la construction du modèle sont les suivantes :

les profils en travers du lit mineur et du lit majeur et les élévations des ouvrages relevés par le cabinet BETI dans le cadre de cette étude,

le nivellement du Jarlot et du Queffleuth réalisé par le cabinet Cocheril en 1975,

l'ensemble des plans des réseaux souterrains relevés par les services municipaux de Morlaix.

On trouvera en annexe les profils en travers supplémentaires levés dans le cadre de l'étude.

Les éléments concernant le réseau d'écoulement sont les suivants :

Le Queffleuth aérien

profils en lit mineur et ouvrages (Cocheril 1975),

6 profils en lits mineur et majeur (BETI 2002),

relevé de 6 ouvrages (BETI 2002).

Le Jarlot aérien

17 profils en lit mineur et ouvrages (Cocheril, 1975),

7 profils en lit mineur (BETI 2002)

3 profils en lit majeur (BETI 2002),

3 ouvrages (BETI 2002).

Le Queffleuth souterrain

1 profil aérien en travers de la zone inondable (BETI 2002),

profils en long et en travers (étude de la ZAC de Morlaix, 1994),

profils type (1975).

Le Jarlot souterrain (300 mètres)

Plans de projet datés de 1986 : mur divisoir, entonnement, continuité du toit de la galerie sous le magasin « les Morlaises », travaux rue de l'Auditoire,
Plans de 1975 : sections courantes.

L'aval de la confluence

un profil en long (dans le cadre de l'étude de 1976)
une section type,
les plans de l'Ecluse,
la bathymétrie du port.

7.1.2 CONDITION LIMITE

Les conditions limites nécessaires sont :

- le débit amont,
- le niveau à l'aval de l'Ecluse.

7.1.3 CALAGE DU MODÈLE

Le modèle est calé sur la crue de décembre 2000. Divers repères de crue ont été réalisés suite à cette épisode :

- 39 points de repères ont été nivelés par la société BETI ; une carte figurant les cotes atteintes a été émise puis modifiée suite aux remarques de la ville de Morlaix,
- carte des niveaux d'eau réalisée par les services techniques municipaux.

Cotes relevées sur le Queffleuth

Le tableau ci-dessous présente les cotes relevées :

Queffleuth	Point kilométrique	lieu	niveaux d'eau relevés sur une section (BETI)	niveaux d'eau services techniques
Q16	1,97	pisciculture		
Q15	2,05			
Q14	2,16	amont immédiat rocade		
Q13	2,36	aval immédiat rocade		
Q12	2,53			
Q11	2,64			
Q10	2,78	Barrage entrepôts		
Q10B	2,87	pont venelle du Queffleuth (ouvrage n°7)		
Q9B	2,87			
Q9	2,97			
Q8	3,12	chaufferie de l'Hôpital		
Q7	3,27			
Q6	3,41			
Q5	3,57			
Q4A	3,71	amont 2 ponts	point 1 : 9,91 point 2 : 10,05 point 4 : 9,22	9,44
Q4B	3,71	2 ponts		
Q4C	3,73		point 3 : 9,04 point 5 : 8,72 point 9 : 9,12	9,0
Q4d	3,73			
Q3A	3,86		Point 10 : 8,79 Point 16 : 9,02	9,1

Queffleuth	Point kilométrique	lieu	niveaux d'eau relevés sur une section (BETI)	niveaux d'eau services techniques
Q3B	3,86			
Q2A	4,02	pont de l'Hôpital	Point 12 : 10,38	
Q2B	4,02		Point 14 : 10,39 Point 17 : 8,88 Point 18 : 9,13	9,0
Q1	4,18	entrée galerie8,2	Point 20 : 8,25 Point 22 : 8,2 Point 23 : 8,56	8,1
Q1A	4,18			
Q1B	4,18			
QC1	4,2			
QC15	4,55	place des otages	6,05-6,1	6,1

On constate des différences parfois notables entre les cotes relevées. En particulier, au droit des deux ponts, des différences d'une cinquantaine de centimètres apparaissent. Cette différence peut être liée à des incertitudes concernant le repère et à la dynamique des écoulements au droit des différentes zones (une différence de vitesse de 3 m/s produit une différence de hauteur d'eau de 40 à 50 centimètres).

Cotes relevées sur le Jarlot

Le tableau ci-dessous présente les cotes relevées :

		lieu	niveaux d'eau relevés sur une section (BETI)	niveaux d'eau services techniques	niveaux 1974
J17	0,001				
J16	0,15				
J15	0,27				
J14	0,47				
J13	0,59				
J12	0,74				
J11	0,92				
J10B	0,98	aval piscine de Lannidy		13,8	
J11B	0,98				
J10	1,05				
J9A	1,2			12,6	
J9B	1,2				
J9C	1,21				
J9d	1,21				
J8	1,38	amont bras du moulin de la Chèvre		11,57	
J7	1,42				
J7B	1,44				
J8B	1,44				
J6	1,64				
J5A	1,8				
J5B	1,8				
J4A	1,98				
J4B	1,98				

J3A	2,11				
J3B	2,11				11,1
J2A	2,28				
J2B	2,28				10,1
J1	2,4	amont place des jacobins		9,61	
JC37	2,51				9,8
C18A	2,52	place des Jacobins			
C18B	2,52				
JC26	2,55	entrée rue des lavoirs	7		
JC32	2,58	rue des lavoirs		7,2	
JC56	2,61	place des Viarmes	<7,5	7,65	
JC73	2,64				

Crue de février 1974

Pour cette crue, sont disponibles les éléments suivants :

- profil des Plus Hautes Eaux le 11/2/1974,
- plan de la zone inondée le 11/2/1974,
- plan de la zone inondée le 15/2/1974.

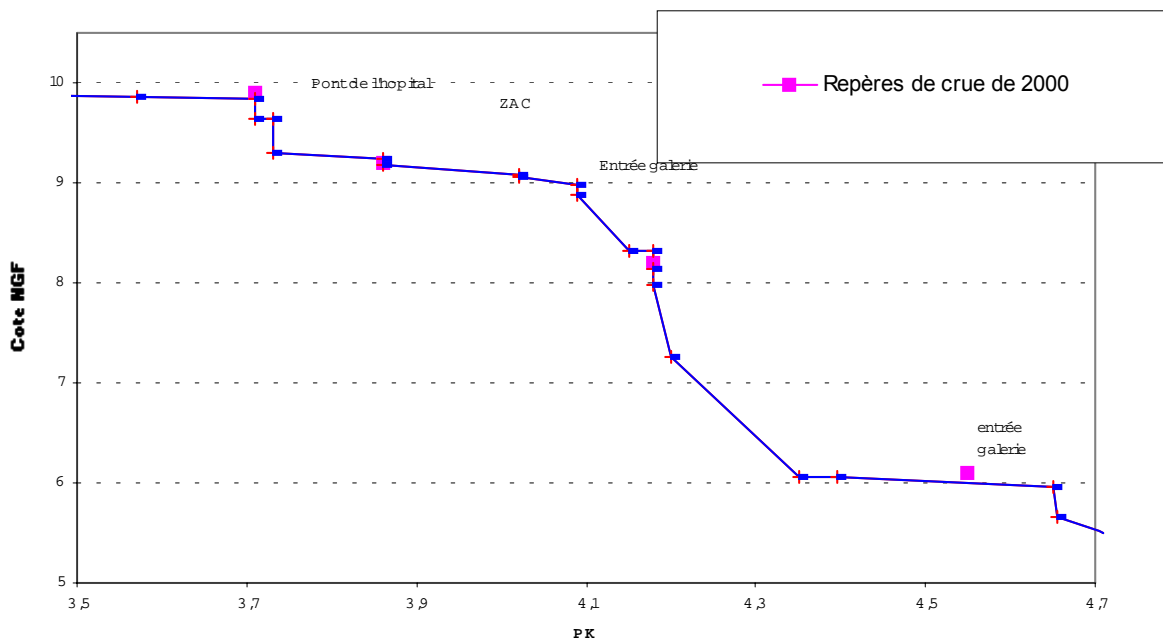
Cependant, deux obstacles à l'utilisation de l'information concernant cette crue existent :

- une forte incertitude sur les débits,
- la modification des conditions hydrauliques depuis cette date ;

7.2 RÉSULTATS

7.2.1 LE QUEFFLEUTH

Les résultats du calage du modèle sont satisfaisants. Le graphe suivant présente le profil en long de la crue de décembre 2000 sur le Queffleuth :

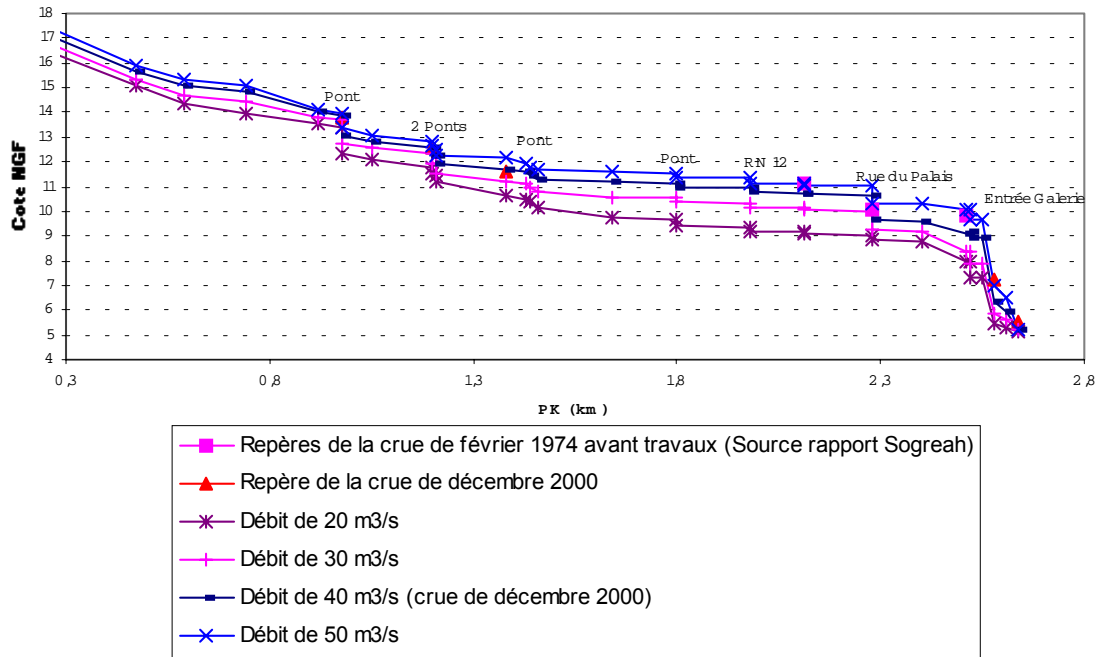


On remarque la forte perte de charge liée à la succession des deux ouvrages au PK 3,7. Les deux ouvrages ont des sections de 20 et 12 m² environ. A partir de la cote 8.4, leur contournement est effectif. Le modèle simule un contournement par un lit majeur de strickler égal à 10.

Les coefficients de strickler des lits mineur sont compris entre 25 et 30. Le lit majeur a un coefficient de strickler compris entre 5 et 10.

7.2.2 LE JARLOT

Le graphe ci-dessous présente la ligne d'eau sur le Jarlot pour différents débits :



8. APPROCHE STATISTIQUE

8.1 AJUSTEMENT DES DÉBITS MAXIMA

La banque de données du Ministère de l'Environnement propose des ajustements statistiques sur une loi de Gumbel de l'échantillon des maxima annuels de débits instantanés aux stations de l'Hermitage sur le Jarlot, de Tromorgan et du Queffleuth à Morlaix. Les résultats sont les suivants :

	Q10 (m3/s)	Q50 (m3/s)	taille échantillon
Jarlot à l'Hermitage	8,3	11	33 débits
Tromorgan	9,2	13	23 débits
Queffleuth à Lesquifiou	15	19	22 débits
Queffleuth "les Trois Chênes"	34	~50	12 débits

On constate un rapport faible entre débits décennaux et débits cinquantennaux pour les stations sur le Jarlot et le Tromorgan et la station de Lesquifiou. La station des Trois Chênes présente un rapport plus standard. La taille de l'échantillon est cependant très réduite pour cette station.

En ce qui concerne les ajustements statistiques des débits maxima sur le Jarlot et le Tromorgan, on constate que les valeurs supérieures à 5-6 m3/s s'ajustent très mal.

8.2 APPROCHE DU DÉBIT CENTENAL PAR LA THÉORIE DU GRADEX

Rappel du principe

La méthode du gradex est une approche hydropluviométrique probabiliste du calcul des débits de crues extrêmes d'une rivière pour des fréquences de dépassement comprises entre 10^{-2} et 10^{-4} (durée de retour comprise entre 100 et 10000 ans).

La méthode s'applique à des bassins pour lesquels le phénomène prépondérant dans la genèse des crues est la transformation de la pluie en ruissellement direct de surface. La méthode repose sur 3 hypothèses fortes :

- les pluies maxima s'ajustent à une loi de Gumbel,
- le volume de ruissellement direct des crues extrêmes annuelles suit une fonction de répartition identique à celle des précipitations maximales annuelles (la rétention sur le bassin versant d'une partie de la lame d'eau tend vers une limite supérieure),
- la forme de l'hydrogramme est caractérisée par un coefficient de forme invariant qui permet de passer du débit moyen au débit maximum instantané.

8.2.1 APPLICATION AU CAS DU QUEFFLEUTH

Estimation de la rétention limite

Afin d'approcher la valeur de la rétention limite, on a analysé les réponses des épisodes de janvier 1995 et décembre 2000.

Janvier 1995

Du 21 janvier 1995 à 7 heures au 26 janvier 1995 à 21 heures, la lame d'eau moyenne peut être estimée à 120 mm. Rappelons que la détermination de la lame d'eau tombée présente quelques difficultés compte tenu de la variabilité spatiale de la pluie.

Le volume de la crue, en considérant un débit de base égal à 5 m³/s, est de 6 millions de m³ soit une lame d'eau équivalente de 67 mm. En considérant une lame d'eau de 120 mm, la rétention est donc de 50 mm environ.

Décembre 2000

Du 11 décembre 2000 à 9 heures au 13 décembre 2000 à 11h, la lame d'eau a été de 66 mm.

Le volume de la crue a été de 2,1 millions de m³ environ, soit une lame d'eau équivalente de 23 mm. La rétention est de 40 à 45 mm environ.

Conclusion sur la rétention limite

L'analyse des relations entre la pluie et le débit sur les 2 événements majeurs pour lesquels il existe des données horaires en pluie et débit montrent que la rétention limite est de l'ordre de 40 à 50 mm.

Application de la méthode

On considère une durée caractéristique de 24 heures. Les épisodes de crue sur le bassin versant de Morlaix sont engendrés par des pluies océaniques de novembre à mars. Le gradex des pluies journalières sur cette saison est de 10 mm environ. Le point pivot, débit à partir duquel la rétention atteint une limite supérieure, est supposé correspondre à la crue décennale.

Le passage du débit journalier au débit de pointe s'effectue en appliquant un coefficient de 1.5 (d'après les coefficients réels lors des événements de crue majeurs).

La relation s'écrit :

$$Q_g \text{ (m}^3\text{/s)} = a \text{ (mm)} * S \text{ (km}^2\text{)} / (3.6 * 24)$$

avec :

$$a = 10 \text{ mm, gradex des pluies journalières}$$

$$S : 90 \text{ km}^2$$

Le débit est de 10,4 m³/s par unité de Gumbel.

Le débit de pointe de période de retour 100 ans est donné par la relation suivante :

$$Q_{100} = Q_{10} + r * 2.35 Q_g = Q_{10} + (1.5 * 2.35 * 10,4)$$

Le débit centennal est d'environ 70 m³/s. Ce débit correspond à une rétention limite de 30 mm environ. Cette rétention paraît faible. Aussi, allons nous tester la méthode en faisant l'hypothèse que la rétention limite est obtenue à partir de la crue de période de retour 20 ans.

Le débit de pointe de période de retour 100 ans est donné par la relation suivante :

$Q_{100}=Q_{20}+r^*(4,6-2,97)$ $Q_g=Q_{20}+(1,5*1,63*10,4)$
 $Q_{20}=41$ m³/s (d'après l'ajustement de Gumbel).

Le débit centennal est de 65 m³/s environ. La rétention limite est de 35 mm environ.

Application de la méthode au Jarlot à l'Hermitage

Le passage du débit journalier au débit de pointe s'effectue en appliquant un coefficient de 1.6 (rapport constaté lors des plus fortes crues).

La relation s'écrit :

$$Q_g \text{ (m}^3\text{/s)} = a(\text{mm}) * S(\text{km}^2) / (3.6 * 24)$$

avec :

a=10 mm, gradex des pluies journalières

S : 44 km²

Le débit est de 5,1 m³/s par unité de Gumbel.

Le débit de pointe de période de retour 100 ans est donné par la relation suivante :

$$Q_{100}=Q_{20}+r^*(4,6-2,97)$$
 $Q_g=Q_{20}+(1,6*1,63*5,1)$

$Q_{20}=9,4$ m³/s (d'après l'ajustement de Gumbel).

Le débit centennal est de 25 m³/s environ.

9. APPROCHE DU DÉBIT CENTENNAL PAR LA THÉORIE DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE

9.1 RAPPEL DU PRINCIPE

Le modèle de l'hydrogramme unitaire formulé par le Soil Conservation Service aux Etats Unis est basé sur l'hypothèse que la forme de la réponse d'un bassin versant est déterminée par les caractéristiques permanentes de ce bassin, c'est à dire de sa géométrie, sa dimension, sa pente, la longueur du cours d'eau, etc... Ce modèle est bien adapté aux bassins versants granitiques ou/et schisteux et est d'autant meilleur que la pluie est forte. Par ailleurs, la théorie est d'autant mieux satisfaite que l'averse donnant lieu à ruissellement est homogène dans l'espace et le temps.

L'hydrogramme est défini par deux paramètres :

le paramètre de production J du modèle SCS, correspondant à la capacité de rétention maximale du sol, qui permet de calculer le ruissellement R en mm à partir de la pluie P par l'intermédiaire de la formule :

$$R = (P - 0,2J)^2 / (P + 0,8J)$$

avec : R ruissellement (mm),

J paramètre de production (mm),

P pluie (mm),

(on remarque que $R \rightarrow (P - 1,2J)$ quand $P \rightarrow \infty$)

Le paramètre de production J est relié au Curve Number (index CN), par la formule suivante :

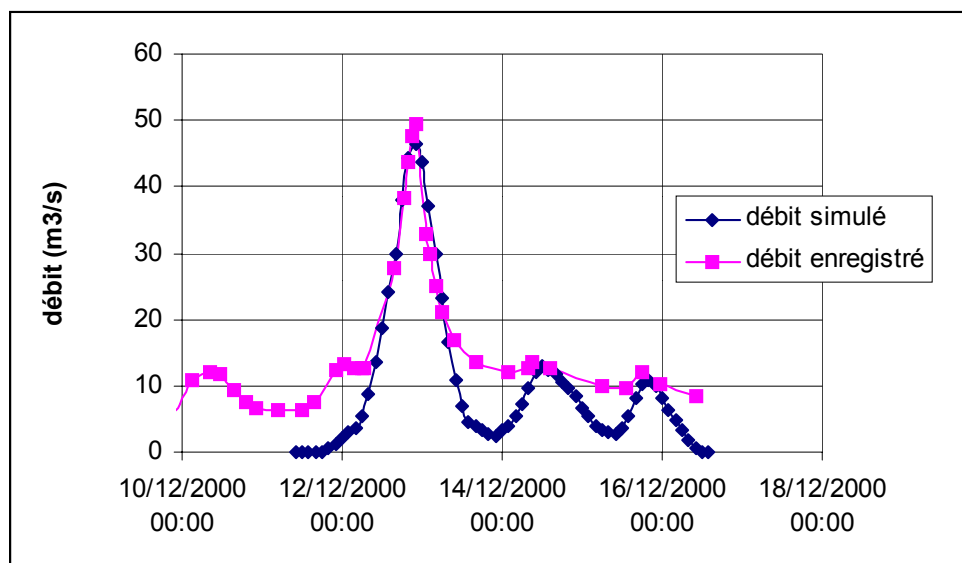
$$J = 25,4 \cdot (1000 / CN - 10)$$

le temps de concentration t_c du bassin considéré, qui a lui seul définit la fonction de transfert du volume écoulé R en débit.

9.2 APPLICATION AU QUEFFLEUTH

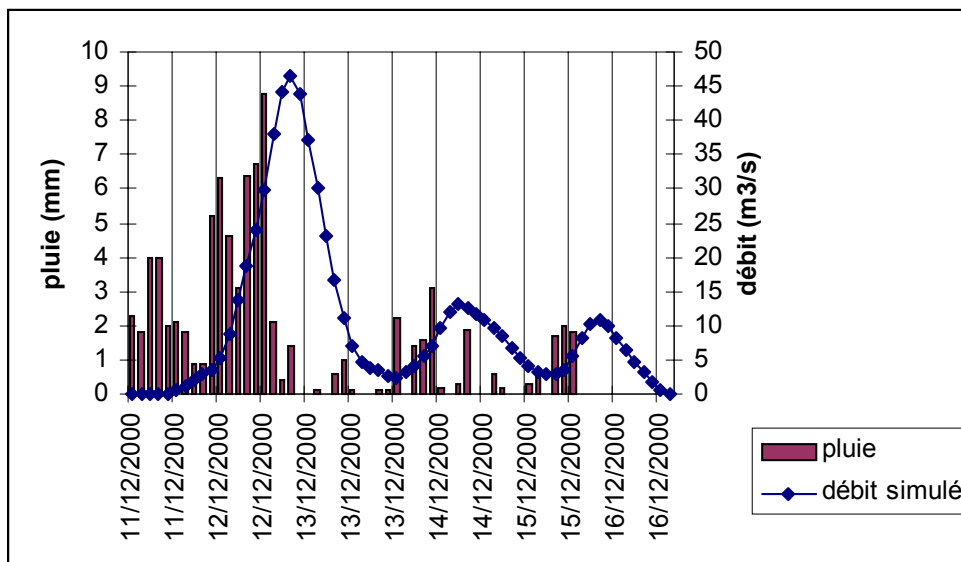
9.2.1 CALAGE DE LA CRUE DE DÉCEMBRE 2000

Le graphe ci-dessous présente l'hydrogramme enregistré et l'hydrogramme simulé en décembre 2000. Le temps de concentration du bassin versant du Queffleuth a été pris égal à 10 heures :



9.2.2 TEMPS CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉVÉNEMENT DE DÉCEMBRE 2000

Le graphe ci-dessous présente la lame d'eau tombée et l'hydrogramme résultant issu du modèle :

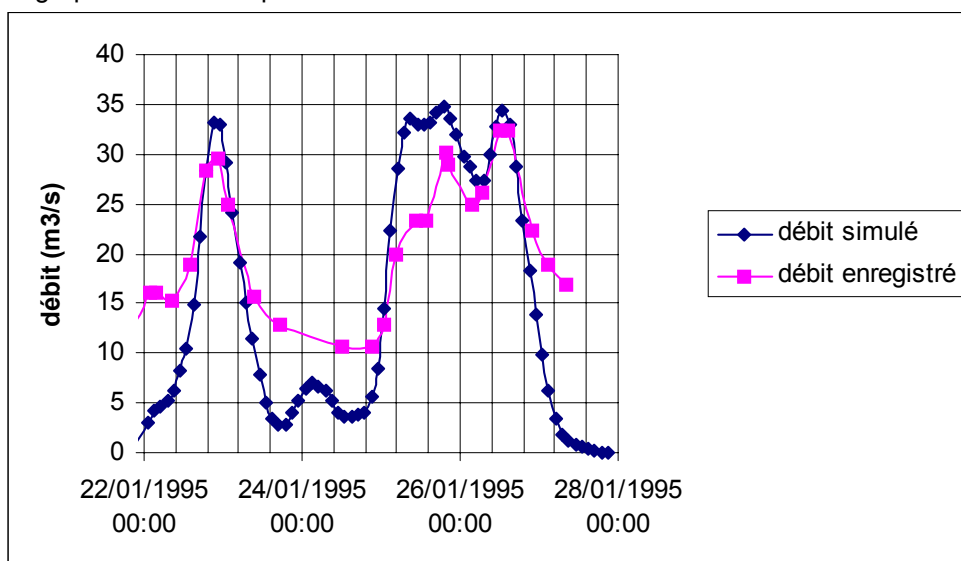


les temps caractéristiques concernant l'événement de décembre 2000 sont les suivants :

- temps de réponse du bassin (temps qui sépare le centre de gravité de la pluie utile au centre de gravité de l'hydrogramme) : 10 heures,
- durée pendant laquelle la moitié du débit de pointe est dépassé : 15 heures,
- durée entre la fin de la pluie efficace et la fin de l'écoulement superficiel : 12-15 heures,
- durée comprise entre la fin de la pluie efficace et la pointe de débit : ~2-4 heures.

9.2.3 VALIDATION SUR LA CRUE DE JANVIER 1995

L'utilisation du modèle pour la crue de janvier 1995 présente une difficulté puisque les pluies ne sont pas homogènes. Une pondération a été réalisée en fonction des rapports des pluies journalières à Morlaix et Pleyber-Christ ; ceci conduit à diminuer de 25% les pluies tombées les 21, 25 et 26 janvier. Le graphe ci-dessous présente les résultats :



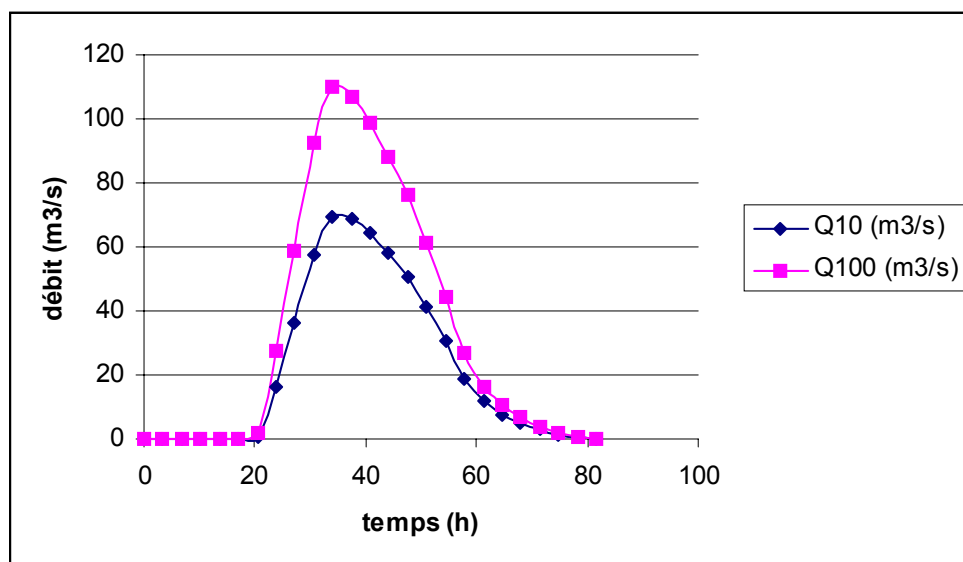
On observe une plus grande amplitude de l'hydrogramme. Le débit de base de début de simulation est mal représenté. Les pics sont de même intensité et interviennent au même instant. Le choix d'un temps de concentration de 10 heures est conforté.

9.3 UTILISATION DU MODÈLE POUR L'ESTIMATION DU DÉBIT DÉCENNAL ET CENTENNAL

Une pluie décennale est appliquée sur le bassin versant. Différentes durées de pluie sont testées. Une pluie d'une durée de 48 heures génère le débit de pointe maximum. On retrouve ici les conditions de genèse des fortes crues sur le bassin versant : forte intensité journalière, durée de la pluie de deux jours. La lame d'eau centennale est de 90 mm (valeur centrée de la pluie de période de retour 100 ans). La pluie est fractionnée en averses unitaires de durée voisine de $T_c/5$ (T_c : temps de concentration du bassin versant total (17 heures)).

Le graphe ci-après présente le résultat. Les hydrogrammes ont les caractéristiques suivantes :

- temps de montée : 20 heures,
- décru : 30 heures,
- volume décennal : 6,7 millions de m³
- volume centennal : 10,5 millions de m³
- rétenion limite : 40 mm,
- débit centennal : 110 m³/s.



9.4 APPLICATION DE LA MÉTHODE DU GRADEX À L'ENSEMBLE DU BASSIN VERSANT

La théorie de l'hydrogramme unitaire fournit le débit vingtennal correspondant à l'ensemble du bassin versant (82 m³/s). La théorie du gradex peut être utilisée pour estimer le débit centennal à partir du débit vingtennal.

La relation s'écrit :

$$Q_g \text{ (m}^3\text{/s)} = a \text{ (mm)} \cdot S \text{ (km}^2\text{)} / (3.6 \cdot 24)$$

avec :

- a = 10 mm, gradex des pluies journalières
- S : 201 km²

Le débit est de 23,2 m³/s par unité de Gumbel.

Le débit de pointe de période de retour 100 ans est donné par la relation suivante :

$$Q_{100} = Q_{20} + r \cdot 1,63 Q_g = Q_{20} + (1.2 \cdot 1,63 \cdot 23,2)$$

Le débit centennal est d'environ 125 m³/s.

10. APPROCHE GÉOMORPHOLOGIQUE ET HISTORIQUE

10.1 APPROCHE HISTORIQUE

Les grandes inondations qui ont marqué le 19^{ème} siècle sont les suivantes :

crue du 3 octobre 1880 – la hauteur d'eau a atteint par endroit la hauteur de 2 mètres,
 la tempête de 1865 : le 31 décembre 1865, la basse-ville se retrouve sous un mètre d'eau :
 « la place de Viarmes, la rue Notre-Dame, la rue de l'Aiguillon, la Grand Place ne forment plus qu'une vaste étendue d'eau, sillonnés par des courants rapides. Près de la mairie, les pavés enlevés sur une longueur de plus de trente mètres, ont été charriés à une distance prodigieuse. depuis 1824, notre ville n'avait été aussi maltraitée par la crue des eaux ; maisons et commerces sont ennoyés sous plus d'1 mètre d'eau»,
 1824 : au moins 1 mètre d'eau dans la basse-ville.

Les grandes inondations du 20^{ème} siècle ont été apparemment plus nombreuses. Après 1974, des travaux importants ont été entrepris.

La période où intervient la crue correspond le plus souvent à la période novembre-février :

2001 : février,
 2000 : 13 décembre,
 1995 : 22-26 janvier,
 1990 : 14 février,
 1974 : 15 février,
 1925 : 3-4 janvier,
 1865 : 31 décembre,
 1883 : février,
 1861 : novembre.

On note des exceptions :

la crue de 1880 a eu lieu en octobre,
 la crue de 1886 a eu lieu en juin,

Le tableau ci-dessous présente les cotes approximatives atteintes lors des crues en basse-ville :

année	hauteur d'eau basse ville-place des otages	cote rue de Brest
1824	>1 m	-
1865	1 m	-
1880	>1 m	-
1925		-
1972	>0,50 m	-
1974	1,50 m	8,6 IGN 69
1979	0,30 m	--
1981	0,30 m	-
1995	0,50 m	8,5 IGN 69
2000	0,80 m	8,9 IGN 69

On retiendra de cette analyse historique 3 points importants :

- les travaux réalisés dans les années 70 et 80 ne permettent pas une comparaison des cotes atteintes et une approche probabiliste des événements de crue,
- si l'on s'en réfère aux cotes atteintes place des otages, l'événement de décembre 2000 est l'événement le plus important ayant eu lieu dans les 150 dernières années,

- **les inondations ont touché de tous temps les maisons en bordure des quais jusqu'à la mairie.**

10.2 APPROCHE GÉOLOGIQUE

10.2.1 EXTENSION MAXIMALE DES ZONES INONDABLES

Deux formations superficielles permettent de caractériser l'emprise des vallées :

les alluvions fluviales sur le Queffleuth et le Jarlot,

les alluvions marines dans la rivière de Morlaix immédiatement à la confluence du Jarlot et du Queffleuth.

Le Jarlot

La délimitation de l'emprise des alluvions sur le Jarlot permet d'estimer l'extension maximale de la zone inondable. Cette extension est de 100 à 150 mètres. Des levés topographiques de points particuliers ont permis de caractériser les cotes des limites d'emprise. La limite d'extension correspond également aux cassures topographiques mis en évidence par des levés de profils en travers. Le tableau ci-dessous présente les différentes cotes de références :

distance par rapport à la confluence	cote de référence	source de données
1500 mètres	18	fiches n°54 et 55
1100 mètres	11,7	fiche n°52 (un peu en retrait de la limite)
900 mètres	13,4 14,6	fiche n°51 fiche n°50
650 mètres	14,4	cassure profil 5
550 mètres	17 12,5	fiche n°58 cassure profil 6
50 mètres	9	porche de l'Eglise des Jacobins

Par rapport aux cotes atteintes en 2000 si l'on se réfère au profil 7, une différence d'1 mètre est notée. Dans la partie amont, il est possible de comparer la limite de la zone inondée de 1995 et 2000 et la limite de la zone d'extension de la vallée alluviale. Une différence pouvant excéder 1 mètre est constatée entre les cotes atteintes en 2000 et la cote représentative de la limite de la vallée alluviale.

Le Queffleuth

L'extension de la zone d'alluvions varie de 100 à 250 mètres. Le tableau ci-dessous présente les différentes cotes de références :

distance par rapport à la confluence	cote de référence	source des données
1500 mètres	14,88	profil 16 (bourrelet)
1300 mètres	15,46 15,56	profil 15 fiche n°69
1000 mètres	13 14	profil 13 fiches 66 et 67
900 mètres	12,70 15	profil n°12 fiche n°62
700 mètres	12,09 – bourrelet à 14,38 13,76	profil 11 fiche n°61
500 mètres	10,3	fiche n°59
150 mètres	10,13 9,44	profil 10 profil 9

En comparant les cotes correspondant aux limites de la vallée alluviale et celles de la crue de décembre 2000, une différence de hauteur d'environ 1 mètre est notée.

10.2.2 ESTIMATION DES DÉBITS POUVANT TRANSITER PAR LA VALLÉE

10.2.2.1 LE JARLOT

On peut estimer les débits transitant par une section de référence. Si l'on considère le profil 6 à la cote 12,56, les sections des lits sont les suivantes :

- lit mineur : 25 m²,
- lit moyen : 100 m²

Le modèle hydraulique réalisé sur le Jarlot estime à 1,5 m/s la vitesse moyenne dans le lit mineur et à 0,30 m/s dans le lit moyen ; en considérant ces valeurs, on obtient un débit d'environ 70 m³/s.

10.2.2.2 LE QUEFFLEUTH

La même méthode peut être utilisée en considérant les profils 16 et 11. Le profil 16 à la cote 14,8 présente les caractéristiques suivantes :

- section de lit mineur : 39 m²
- section lit moyen : 46 m²

Le débit pouvant transiter est de 75 m³/s environ.

Le profil 11 est caractérisé par les section suivantes :

- section de lit mineur : 50 m²
- section lit moyen : 28 m²

Le débit pouvant transiter est de 85 m³/s.

10.2.3 CONCLUSION

L'approche géomorphologique conduit aux conclusions suivantes :

- **l'extension des alluvions dépasse l'extension de la zone inondée en 2000,**
- **les cotes correspondant à la limite de cette zone dépasse de plus d'un mètre les cotes atteintes en 2000,**
- **les débits évacuables par les vallées alluviales du Jarlot et du Queffleuth sont quasi identiques de l'ordre de 80 m³/s.**

11. SYNTHÈSE

Le tableau ci-dessous présente les débits de références issus des différentes approches :

	Q10 Jarlot	Q10 Queffleuth (m3/s)	Q100 Jarlot Hermitage (m3/s)	Q100 Queffleuth (m3/s)	Q100 confluence (m3/s)
données Sogreah 94 (*)				54	
ajustement Gumbel	8,3	34	12	57	-
méthode du gradex	-	-	25	65	125
hydrogramme unitaire	-	38	-	58	110
géomorphologie					160

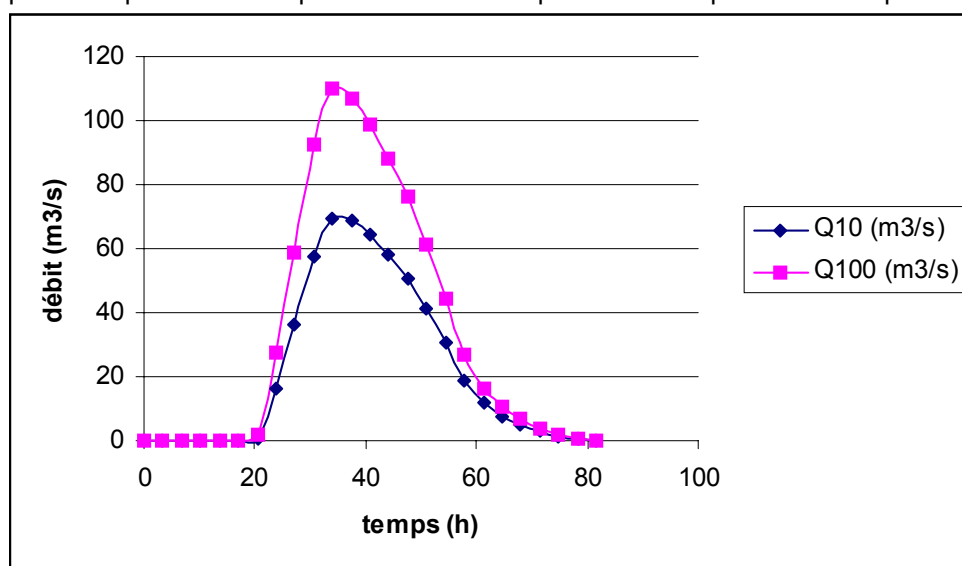
(*) : ZAC de la rue de Brest – ouvrage sur le Queffleuth – SEMAEB – Étude Europe-Gecti

12. EFFET DE LA MARÉE-CARACTÉRISATION DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE

12.1 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE

La hauteur d'eau atteinte à Morlaix dépend de deux facteurs :
 le niveau de la mer,
 le débit des rivières.

On fait l'hypothèse réaliste que le niveau de pleine mer coïncide avec le débit de pointe de la crue. En effet, les graphes ci-dessous présentant les hydrogrammes de crue décennal et centennal montrent que le temps caractéristique de la crue est supérieur au temps caractéristique de la marée :



La définition d'une hauteur « centennale » demande donc de combiner les probabilités d'apparition de niveaux imposés à l'aval de l'Ecluse et de débits.

Si l'on considère que les variables niveau imposé à l'écluse et débit sont des variables indépendantes, la probabilité d'obtenir à Morlaix un niveau supérieur à H peut se définir ainsi :

$$\text{Prob}(X>H) = \int_{h_{\min}}^{h_{\max}} f(x) \int_{q(h)} g(q) dq dx \quad (1)$$

où
 $f(x)$: densité de probabilité attachée au niveau de la mer,
 $g(q)$: densité de probabilité attachée au débit
 h_{\min} : niveau de la mer minimal
 h_{\max} : niveau de la mer maximal
 $q(h)$: relation entre Q et h à H fixé.

Le caractère d'indépendance des deux variables n'est cependant pas démontrée et est à remettre en question. En effet, le niveau d'eau à l'aval de l'écluse dépend de 3 paramètres :

- la marée
- la sur-cote liée aux conditions atmosphériques,
- le débit de la rivière.

La sur-cote est liée aux conditions atmosphériques et aux débits de crues des rivières. La corrélation n'est pas définie à l'heure actuelle. Le débit de la rivière influe peu sur le niveau à l'aval de l'écluse compte tenu de la section de la rivière de Morlaix (largeur de 70 mètres, hauteurs mouillées comprises entre 3 et 8 mètres). Cette influence ne peut s'établir que pour de faibles hauteurs de marée.

La méthode que nous proposons d'utiliser faute de davantage de données est de rajouter une même sur-cote à toutes les hauteurs d'eau de marée. En considérant ce nouvel échantillon de valeurs de niveau d'eau, il est alors possible d'appliquer la relation (1) pour en déduire la probabilité d'obtenir un niveau supérieur à H dans Morlaix.

12.2 CHOIX DE LA SUR-COTE ATMOSPHERIQUE

La valeur de la sur-cote constitue une hypothèse forte de la méthode. Le Mémento du prévisionniste (DDE, février 2002) fait le constat suivant :

« Les hauteurs de marée sont prédites par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine au niveau du port de référence de Roscoff. Dans l'annuaire de marée, un tableau permet de corriger les hauteurs prédites à Roscoff pour obtenir les hauteurs prédites à Morlaix. Il s'agit là des hauteurs théoriques calculées. Les hauteurs de marée réellement observées peuvent être sensiblement différentes, notamment en période de dépression atmosphériques et de vents forts. Les sur-cotes de marée peuvent atteindre facilement 40 à 50 cm par rapport aux hauteurs théoriques, voire 80 cm ou plus en cas de tempête ».

Les surcotes constatées lors des principales crues récentes sont les suivantes :

- février 1974 : +40 centimètres (*),
- 12 décembre 2000 : +50 centimètres,
- 1^{er} janvier 2001 : + 50 centimètres,
- 5 janvier 2001 : +40 centimètres,
- 22 janvier 1995 : +20 centimètres.

(*) en 1974, la cote à l'aval de l'écluse n'était pas connue. On a supposé une perte de charge de 20 centimètres entre l'amont et l'aval de l'écluse, perte de charge constatée en 2000 pour des niveaux atteints similaires.

Sans autres éléments sur le sujet, nous retiendrons une sur-cote égale à 50 centimètres. Cette sur-cote de 50 centimètres peut s'apprécier par ailleurs qualitativement de la manière suivante :

- elle correspond à une sur-cote de marée d'origine barométrique relative à une dépression de 963 hPa (valeur du centre de la dépression de décembre 1999),
- Si l'on se réfère à l'analyse des sur-cotes au Château du taureau (cf chapitre suivant), et en considérant une augmentation de 50 centimètres des niveaux de marée entre le Château du Taureau et l'écluse de Morlaix, la cote centennale à l'écluse est de 6 IGN 69 environ soit, si l'on considère une sur-cote atmosphérique de 50 centimètres, une marée de coefficient 118.

12.3 DÉTERMINATION DES DENSITÉS DE PROBABILITÉS DES HAUTEURS IMPOSÉES PAR LA MER ET DES DÉBITS

12.3.1 LES HAUTEURS IMPOSÉES PAR LA MER

Probabilités d'obtention d'une hauteur donnée à l'écluse à partir de la statistique des hauteurs d'eau observées au Château du Taureau

Le Service Hydrographique de la Marine a réalisé en 1994 une analyse des probabilités d'occurrence des hauteurs d'eau au Château du Taureau (Rapport d'étude n°001/94, statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France – Bernard Simon). L'échantillon de données est constitué des maxima de hauteurs combinant sur-cotes et marée à pleine mer.

L'échantillon s'ajuste à une loi de Gumbel :

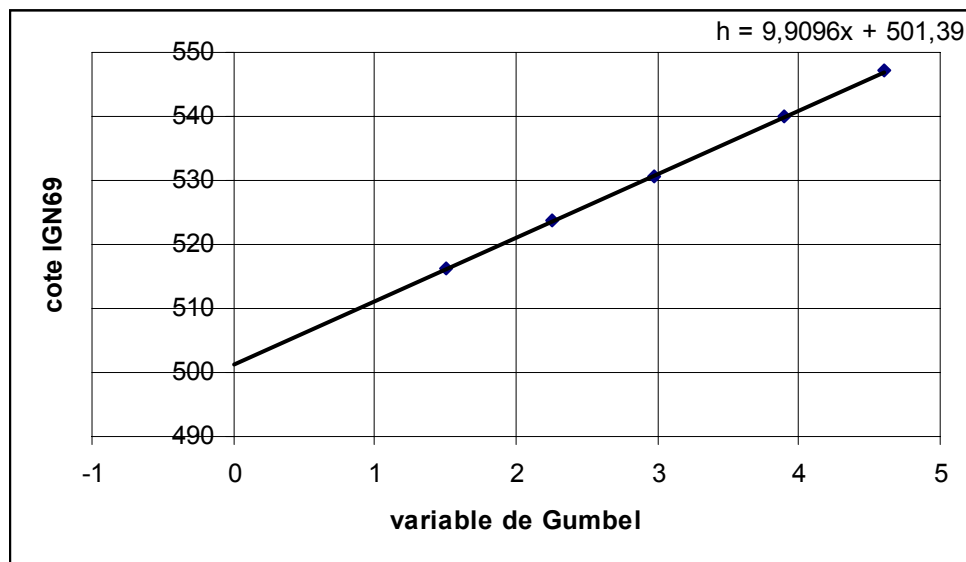
$$Q_m(T) = Q_{m_{10}} - G_p * \ln \left(\ln \left(1 - \frac{1}{T-10} \right) \right)$$

avec : G gradex cm,

X₀ mode en cm,

T période de retour en année.

Gradex	X ₀
9,9096	501,39



Au Château du Taureau, la hauteur décennale est ainsi de 5,236 mIGN69 tandis que la hauteur centennale est de 5,471 mIGN69.

Le SHOM propose par ailleurs une correction entre les niveaux de marée enregistrés au Château du Taureau et les niveaux de marée à l'écluse de Morlaix. Cette correction est de 50 centimètres (cette correction est reprise dans le mémento du prévisionniste (Centre d'Annonce des Crues de la Rivière de Morlaix)).

Estimation des hauteurs imposées par la mer à partir des statistiques sur les niveaux de marée

La loi de probabilité des niveaux de marée à Morlaix peut s'obtenir à partir de la fréquence d'apparition des coefficients de marée durant la période d'apparition des crues (novembre à mars).

coefficient	fréquence de dépassement	hauteur associée (écluse) (*)
60	65%	2,90 m IGN69
70	50%	3,60 m IGN69
90	20%	4,60 m IGN69
100	8%	4,90 m IGN 69
110-119	2%	5,40 m IGN 69

(*) hauteur de marée au Château du Taureau+50 centimètres

La loi de probabilité des hauteurs à l'écluse est obtenue en ajoutant à toutes les cotes une sur-cote atmosphérique de 50 centimètres :

cote IGN69	probabilité
3,4	0,65
4,1	0,5
4,6	0,4
5,1	0,2
5,4	0,08
5,9	0,02

La densité de probabilité s'obtient en dérivant la fonction de répartition ainsi obtenue.

12.3.2 LES DÉBITS

On fait l'hypothèse que les débits peuvent s'ajuster à une loi de Gumbel.

en posant :

Q10=70 m³/s

Q100=110 m³/s

On en déduit le gradex et le mode de la fonction de répartition :

X0=31,702 m³/s

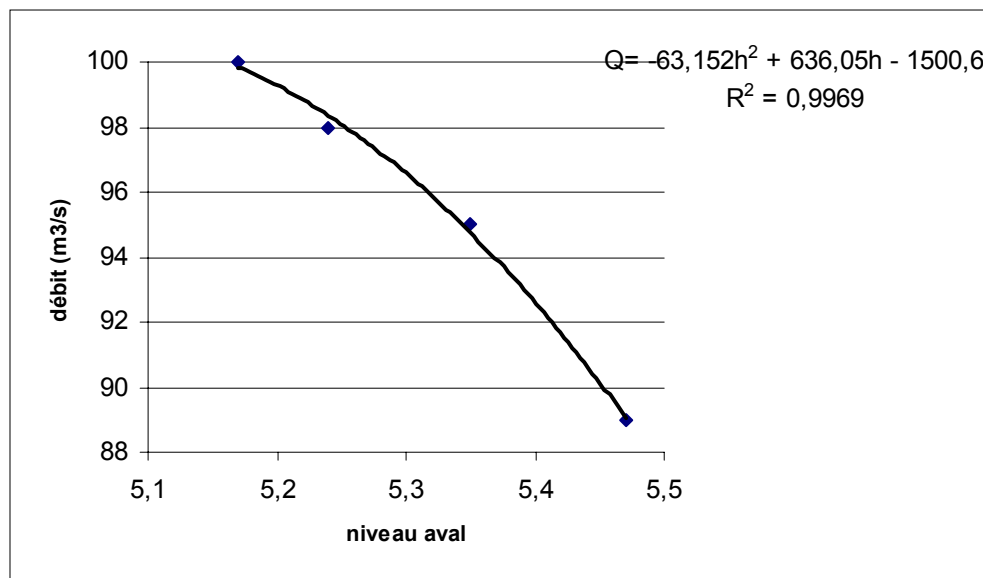
Gq=17,021

12.4 DÉTERMINATION DE LA RELATION ENTRE HAUTEUR DE MARÉE ET DÉBIT À FIXER

Place des otages

On s'intéresse à la hauteur atteinte place des otages. Un modèle hydraulique a été réalisé afin de tester différents scénarios combinant hauteur de marée et débit, scénarios pour lesquels une même hauteur H est obtenue place des otages. La hauteur H qui a été considérée est celle réellement atteinte en décembre 2000, à savoir 6,05 IGN69.

Le graphe ci-dessous présente la relation entre débit et niveau de la mer à H fixé :



En appliquant la relation (1), on obtient comme probabilité d'apparition d'une cote 6,05 IGN69 place des otages la valeur de 0,027 soit une période de retour de 40 ans environ.

Des tests à l'aide du modèle hydraulique calé sur décembre 2000 permet d'estimer le niveau correspondant à un événement centennal à la place des otages. Ce niveau est de 6,15 IGN69 environ.

ZAC de la rue de Brest

Cette même méthodologie peut être appliquée sur le Queffleuth dans la partie en lien avec la courbe de remous du niveau de la mer.

Le tableau ci-dessous présente la relation débit/niveau de la mer à cote fixée à 9,15 IGN69 à la ZAC de la rue de Brest :

Niveau aval (IGN69)	Débit Queffleuth (m3/s)	Débit total (m3/s)
6,25	55	101
5,4	56,5	104
4,7	58	107

La probabilité d'obtenir un niveau 9,15 est voisine de 0,01 soit une période de retour de 100 ans.

On remarque que sur la ZAC de la rue de Brest, la cote correspondant à l'événement hydrologique centennal non influencé par l'aval est somme toute peu différente de la cote centennale issue de la combinaison des événements hydrologiques et de marée.

On peut réaliser ces tests de proche en proche. Au niveau des deux ponts successifs sur le Queffleuth, les différents tests sur modèle hydraulique montrent que l'influence en débit centennal de la marée est peu importante.

En ce qui concerne le Jarlot, on constate que le niveau centennal correspond au niveau imposé par un débit centennal sans influence aval.

13. CHOIX DE L'ALÉA DE RÉFÉRENCE

Les différentes approches réalisées pour définir un événement hydrologique centennal donnent des résultats concordants. On peut retenir les points suivants :

- les crues marquantes sont caractérisées par les conditions pluviométriques suivantes :
 - ⇒ une intensité de pluie importante (30 mm sur une journée),
 - ⇒ une répartition spatiale des pluies relativement homogène,
 - ⇒ une durée de précipitations d'au moins 2 jours (50 mm sur 2 jours).
- L'analyse des relations entre la pluie et le débit sur les 2 événements majeurs montrent que la rétention limite est de l'ordre de 40 à 50 mm environ.
- l'analyse historique et géomorphologique vient corroborer les analyses hydrologiques :
 - ⇒ une vallée alluviale dont la section serait en rapport avec un débit de l'ordre de 80 m³/s,
 - ⇒ un historique qui suggère que l'événement de décembre 2000 est l'événement le plus important connu depuis 150 ans du moins sur la partie aval (rivière de Morlaix).

D'après les différentes approches, on peut retenir les débits de référence suivants :

- débit centennal sur la rivière de Morlaix : 110 m³/s,
- contribution centennale du Queffleuth : 60 m³/s,
- contribution centennale du Jarlot : 50 m³/s.

L'aléa de référence sur Morlaix dépend des conditions hydrologiques et des niveaux de la mer. Une analyse probabiliste simplifiée permet d'approcher la probabilité d'occurrence d'une cote en un lieu donné.

Trois secteurs peuvent être définis :

- entre l'écluse et la confluence Jarlot/Queffleuth : le niveau centennal varie entre 6 m IGN 69 à l'écluse et 6,15 m IGN 69 à la place des otages,
- dans la partie influencée du Queffleuth, le niveau est donné par le résultat du produit de convolution des probabilités. Une cote de 9,15 m IGN 69 est par exemple estimée au droit de la ZAC de la rue de Brest,
- environ à 300 mètres en amont de la confluence du Queffleuth et sur le Jarlot, où les niveaux sont très peu influencés par le niveau de la mer.