



DEPARTEMENT DU FINISTERE



Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

PHASE 2 : CARACTERISATION DES ALEAS

RAPPORT

DIRECTION REGIONALE OUEST

Les Bureaux du Sillon
8 avenue des Thébaudières
CS 20232
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tel. : 02 28 09 18 00
Fax : 02 40 94 80 99

DATE : MARS 2021

REF : 4532512



Direction Régionale Ouest
Les Bureaux du Sillon
8 avenue des Thébaudières – CS 20232
44815 SAINT HERBLAIN CEDEX

Tél. : 02 28 09 18 00
Fax : 02 40 94 80 99

ARTELIA Direction Régionale Ouest Les Bureaux du Sillon 8 avenue des Thébaudières – CS 20232 44815 SAINT HERBLAIN CEDEX Tél. : 02 28 09 18 00 Fax : 02 40 94 80 99	N° Affaire	4532512	Etabli par	Vérifié par
	Date	MARS 2021	S. ROSTAN S. BAULIN	Y. GASOWSKI
	Indice	A	B	C

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

SOMMAIRE

1. PREAMBULE	7
1.1. RAPPELS	7
1.2. PHASAGE	8
2. PHASE 2 : CARACTERISATION DE L'ALEA INONDATION	9
2.1. INTRODUCTION	9
2.2. ETUDE HYDROLOGIQUE PRELIMINAIRE	10
2.2.1. DONNEES HYDROMETRIQUES DISPONIBLES	10
2.2.2. VALIDATION DE LA QUALITE DES STATIONS HYDROMETRIQUES	11
2.2.3. CORRELATION ENTRE BENODET ET LE CORNIGUEL	14
2.3. ETUDE HYDROLOGIQUE SUR LES DEBITS CARACTERISTIQUES	19
2.3.1. METHODES DE CALCUL	19
2.3.2. HISTORIQUE DES DEBITS CARACTERISTIQUES	21
2.3.3. METHODE SHYREG	25
2.3.4. CALCUL DES DEBITS CARACTERISTIQUES DES 3 STATIONS HYDROMETRIQUES	26
2.3.5. APPORTS DU FROUT	39
2.4. ETUDE HYDROLOGIQUE SUR LES CONCOMITANCES	43
2.4.1. CONCOMITANCE DES CRUES DES AFFLUENTS (STEÏR, JET ET ODET)	43
2.4.2. CONCOMITANCE DES PERIODES DE RETOUR DES AFFLUENTS	45
2.5. NIVEAUX MARINS ET ESTUARIENS	49
2.5.1. GENERALITES	49
2.5.2. NIVEAUX MARINS STATIQUES	51
2.5.3. SURELEVATION DU NIVEAU STATIQUE	53
2.6. MODELISATION HYDRAULIQUE	56
2.6.1. LOGICIEL HEC-RAS	56
2.6.2. CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE	56
2.6.3. CALAGE DU MODELE	62
2.7. EVENEMENTS DE REFERENCE	91
2.7.1. DEFINITION DES EVENEMENTS DE REFERENCE	91
2.7.2. OUVRAGES DE PROTECTION	91
2.7.3. CRUE CENTENNALE (SCENARIOS « F »)	92
2.7.4. NIVEAU MARITIME CENTENNAL (SCENARIOS « M »)	96
2.7.5. RUPTURE DES DIGUES DE PROTECTION	100
2.8. ALEAS DE REFERENCE	103
2.8.1. CARACTERISATION	103
2.8.2. CARTOGRAPHIE	106
2.9. ANALYSE DES RESULTATS DES ALEAS DE REFERENCE	107
2.9.1. ALEA	107
2.9.2. HAUTEUR D'EAU	109
2.9.3. CONCLUSION	112

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

ANNEXE 1 Données hydrométriques de la Banque Hydro (Décembre 2020)	113
ANNEXE 2 Arrêtés	115
ANNEXE 3 Cartographie des aléas	116

TABLEAUX

Tabl. 1 - Débits caractéristiques (étude de 2004, Gumbel) au niveau des stations	22
Tabl. 2 - Débits caractéristiques (étude de 2004, Gradex) au niveau des stations	22
Tabl. 3 - Débits caractéristiques (étude de 2004, Gradex) en amont des confluences	23
Tabl. 4 - Débits caractéristiques (étude de 2013, Gumbel) au niveau des 3 stations	23
Tabl. 5 - Valeurs utilisées pour le calcul du Gradex et du Gradex progressif (2013)	24
Tabl. 6 - Débits caractéristiques (étude de 2013, Gradex et Gradex progressif) au niveau des stations	24
Tabl. 7 - Débits caractéristiques utilisés pour l'étude du TRI (2013)	25
Tabl. 8 - Débits caractéristiques (méthode SHYREG)	25
Tabl. 9 - Débits caractéristiques pour l'Odét à Tréodet (Banque Hydro)	26
Tabl. 10 - Débits caractéristiques pour le Steïr à Ty-Planche (Banque Hydro)	27
Tabl. 11 - Débits caractéristiques pour le Jet à Kerjean (Banque Hydro)	28
Tabl. 12 - Débits caractéristiques pour le Jet à Kerjean	29
Tabl. 13 - Valeurs utilisées pour le calcul du Gradex (2020)	31
Tabl. 14 - Débits caractéristiques par Gradex (étude de 2020)	31
Tabl. 15 - Ensemble des débits caractéristiques pour la station de Tréodet (Odét)	33
Tabl. 16 - Ensemble des débits caractéristiques pour la station de Ty-Planche (Steïr)	34
Tabl. 17 - Ensemble des débits caractéristiques pour la station de Kerjean (Jet)	34
Tabl. 18 - Débits caractéristiques aux 3 stations hydrométriques	35
Tabl. 19 - Débits caractéristiques au niveau des confluences	36
Tabl. 20 - Impact de la modification du pic de crue de l'événement de 2000	36
Tabl. 21 - Analogie entre le Frouit et le Langelin	39
Tabl. 22 - Analyse de la concomitance sur plusieurs crues	43
Tabl. 23 - Heures d'arrivée des pics de crue	44
Tabl. 24 - Débits caractéristiques utilisés pour l'analyse de la concomitance	45
Tabl. 25 - Périodes de retour pour plusieurs crues	46
Tabl. 26 - Augmentation du niveau moyen des océans : hypothèses (source : Synthèse n°2 - 02/2010 - DGEC Service du climat et de l'efficacité énergétique / ONERC)	49
Tabl. 27 - Références altimétriques maritimes des marées (SHOM 2012)	50
Tabl. 28 - Niveaux extrêmes de pleine mer à Bénodet	51
Tabl. 29 - Caractéristiques des événements survenus depuis 1996 au regard de l'endiguement de l'Hippodrome (source : EDD de la digue de l'Hippodrome)	63
Tabl. 30 - Débits de crue pour les événements de calage	66
Tabl. 31 - Caractérisation des aléas, arrêté du 05 Juillet 2019	103
Tabl. 32 - Caractérisation des aléas	104
Tabl. 33 - Classement de l'aléa pour le PPRi de 2008	107
Tabl. 34 - Débit en amont aux confluences (PPRi 2008 et étude 2020)	109
Tabl. 35 - Niveau d'eau à plusieurs points stratégiques	111

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

FIGURES

Fig. 1.	Emplacement des stations hydrométriques et limnimétriques	11
Fig. 2.	Relation Hauteur Débit à Kerjean (Jet)	12
Fig. 3.	Relation Hauteur Débit à Ty Planche (Steïr)	12
Fig. 4.	Relation Hauteur Débit à Tréodet(Odét)	13
Fig. 5.	Evènement de Décembre 2000	14
Fig. 6.	Emplacement des 2 stations limnimétriques	15
Fig. 7.	Emplacement de la station de Bénodet	16
Fig. 8.	Emplacement de la station de Corniguel	16
Fig. 9.	Niveaux d'eau à Corniguel et Bénodet (1997-2002 et Octobre 1999)	17
Fig. 10.	Différence de niveau d'eau entre Corniguel et Bénodet (1997-2002)	18
Fig. 11.	Evolution de la différence de niveau d'eau entre Corniguel et Bénodet (1997-2002)	18
Fig. 12.	Ajustement Gumbel pour la station hydrométrique de Tréodet sur l'Odét (49 années –Source : Hydro2)	26
Fig. 13.	Ajustement Gumbel pour la station hydrométrique de Ty-Planche sur le Steïr (41 années –Source : Hydro2)	27
Fig. 14.	Ajustement Gumbel pour la station hydrométrique de Kerjean sur le Jet (54 années –Source : Hydro2)	28
Fig. 15.	Ajustement de Gumbel à Kerjean sur le Jet (méthode des moments)	29
Fig. 16.	Ensemble des événements utilisés pour calculer l'hydrogramme normé	30
Fig. 17.	Hydrogramme normé de l'Odét à Tréodet	30
Fig. 18.	Evolution du débit en fonction des périodes de retour à Tréodet (Odét)	32
Fig. 19.	Evolution du débit en fonction des périodes de retour à Ty-Planche (Steïr)	32
Fig. 20.	Evolution du débit en fonction des périodes de retour à Kerjean (Jet)	33
Fig. 21.	Hydrogramme synthétique centennal aux trois stations hydrométriques	35
Fig. 22.	Pics de crue et débit caractéristiques (Odét/Steïr)	37
Fig. 23.	Pics de crue et débit caractéristiques (Odét/Jet)	38
Fig. 24.	Pics de crue et débit caractéristiques (Steïr/Jet)	38
Fig. 25.	Hydrogramme normé du Frouit	40
Fig. 26.	Emplacement de la retenue sur le Frouit	40
Fig. 27.	Fonctionnement schématique du bassin	41
Fig. 28.	Evolution du niveau d'eau dans la retenue	42
Fig. 29.	Frouit : comparaison des hydrogrammes d'entrée et de sortie de retenue	42
Fig. 30.	Corrélation entre le log de la période de retour de l'Odét et du Steïr	47
Fig. 31.	Corrélation entre le log de la période de retour de l'Odét et du Jet	47
Fig. 32.	Corrélation entre le log de la période de retour du Steïr et du Jet	48
Fig. 33.	Illustration des principaux mécanismes à l'origine de l'élévation du niveau marin dans le cas d'une tempête (Pedreros et al., 2010)	51
Fig. 34.	Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 10 ans (SHOM 2012)	51
Fig. 35.	Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 20 ans (SHOM 2012)	52
Fig. 36.	Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 50 ans (SHOM 2012)	52
Fig. 37.	Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 100 ans (SHOM 2012)	52
Fig. 38.	Distances maximales de fetch le long de l'estuaire de l'Odét	54
Fig. 39.	Rugosité appliquée au lit majeur (modèle 2D)	59
Fig. 40.	Emprise du modèle et zoom sur la partie 2D	61
Fig. 41.	Années d'aménagement des digues de l'Hippodrome (source : EDD de la digue de l'Hippodrome, 2015)	62
Fig. 42.	Enveloppe d'inondation au niveau de la digue de l'Hippodrome en décembre 2000 et janvier 2001 (source : EDD de la digue de l'Hippodrome)	63
Fig. 43.	Description des sections techniquement homogènes de la digue de l'Hippodrome (source : EDD de la digue de l'Hippodrome)	64
Fig. 44.	Comparaison de l'état entre 2005 (à droite) et 2018 (à gauche)	65
Fig. 45.	Conditions aux limites du modèle pour les événements de calage	68
Fig. 46.	Evènement de Décembre 2000 – Résultats de calage sur l'Odét et le Jet	70
Fig. 47.	Evènement de Décembre 2000 – Résultats de calage sur le Jet	71
Fig. 48.	Evènement de Décembre 2000 – Résultats de calage sur le Steïr	72
Fig. 49.	Evènement de Décembre 2000 – Cartographie sur l'Odét	73
Fig. 50.	Evènement de Décembre 2000 – Cartographie sur le Steïr	74
Fig. 51.	Evènement de Décembre 2000 – Laisses de crue et ligne d'eau en lit mineur sur le Steïr	75
Fig. 52.	Evènement de Janvier 2001 – Résultats de calage sur l'Odét	77
Fig. 53.	Evènement de Janvier 2001 – Résultats de calage sur le Jet	78
Fig. 54.	Evènement de Janvier 2001 – Résultats de calage sur le Steïr	79
Fig. 55.	Evènement de Décembre 2011 – Résultats de calage sur l'Odét	81
Fig. 56.	Evènement de Décembre 2011 – Résultats de calage sur le Jet	82
Fig. 57.	Evènement de Décembre 2011 – Résultats de calage sur le Steïr	83
Fig. 58.	Evènement de Février 2014 – Résultats de calage sur l'Odét	85
Fig. 59.	Evènement de Février 2014 – Résultats de calage sur le Jet	86

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Fig. 60.	Evénement de Février 2014 – Résultats de calage sur le Steïr	87
Fig. 61.	Evénement de Février 2014 – Cartographie des résultats sur le Steïr	88
Fig. 62.	Evénement de Février 2014 – Laisses de crue et ligne d'eau en lit mineur sur le Steïr	89
Fig. 63.	Murets le long du Frouit	92
Fig. 64.	Hydrogrammes des débits centennaux	93
Fig. 65.	Marégrammes à Bénodet – Coefficient max=95	95
Fig. 66.	Hydrogrammes des débits biennaux	97
Fig. 67.	Marégrammes à Bénodet – Niveau maritime centennal	99
Fig. 68.	Digue du halage	100
Fig. 69.	Digue de l'hippodrome	100
Fig. 70.	Localisation des ruptures simulées	102
Fig. 71.	Largeur de la bande de précaution (schéma de principe)	105
Fig. 72.	Largeur de la bande de précaution en fonction de la hauteur	106
Fig. 73.	Comparaison des aléas	108
Fig. 74.	Comparaison de l'état entre 2005 (à droite) et 2018 (à gauche)	111

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

GLOSSAIRE ET ABREVIATIONS

Nom	Description
Aléa	Conséquence physique résultant d'un scénario d'événements. La transcription spatiale de l'aléa permet de le représenter et de le clarifier. L'aléa est caractérisé par son occurrence et son intensité. Il peut être qualifié par différents niveaux (faible, moyen, fort).
Aléa de référence	L'aléa de référence représente l'inondation de référence à prendre en compte réglementairement dans le PPRI : l'inondation centennale ou l'inondation historique si cette dernière est plus importante.
Aménagement hydraulique	un aménagement hydraulique participe à la protection d'une zone protégée contre les inondations ou les submersions, mais comprend des ouvrages qui ne protègent pas directement la zone protégée parce qu'ils sont situés en amont de cette zone (parfois à plusieurs kilomètres) : il s'agit principalement d'ouvrages de rétention d'une partie des crues, comme les barrages écrêteurs de crue ou les casiers de rétention de crue.
Banque Hydro	La Banque Hydro est un service français d'accès à des données hydrologiques fournies par des services de l'État (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement)
Bassin versant	Territoire qui draine l'ensemble de ses eaux (de ruissellement et d'infiltration) vers un exutoire commun, cours d'eau ou mer.
Bathymétrie	La bathymétrie est la science de la mesure des profondeurs et du relief de l'océan pour déterminer la topographie du sol de la mer.
Corine Land Cover	La base de données géographique CORINE Land Cover (CLC) est un inventaire biophysique de l'occupation des terres.
Crue	Augmentation importante et plus ou moins brutale du débit dans un cours d'eau ou, par extension, dans un réseau d'assainissement, due à une cause naturelle ou non.
Débit	Volume d'eau qui s'écoule en un point donné pendant une durée donnée à travers une section droite donnée d'un écoulement.
Enjeux	Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc. susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Les enjeux s'apprécient aussi bien pour le présent que pour le futur. Les biens et activités peuvent être évalués monétairement, les personnes exposées dénombrées, sans préjuger toutefois de leur capacité à résister à la manifestation du phénomène pour l'aléa retenu.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Estuaire hypersynchrone	Dans un estuaire hypersynchrone, l'amplitude du marnage augmente vers l'amont du fait de la convergence des rives et de la diminution de la profondeur
Exutoire	Issue (ou l'une des issues) d'un système physique (élémentaire ou complexe) traversé par un fluide en mouvement
Fetch	Etendue d'eau où se forment les vagues sous l'action du vent
GEMAPI	Compétence attribuée aux communes quant à la gestion des cours d'eau, de la qualité des eaux et la prévention des risques d'inondation.
Géomorphologie	Science qui a pour objet la description des formes du relief terrestre et l'explication des processus qui les façonnent.
Hydraulique	Branche appliquée de la Mécanique des fluides qui traite des écoulements d'eau dans les conduites, les rivières, les canaux ou dans des ouvrages divers.
Hydrogéomorphologie	L'hydrogéomorphologie est une approche géographique appliquée qui étudie le fonctionnement naturel des cours d'eau en analysant la structure des vallées.
Hydrogramme de crue	<u>Courbe d'évolution du débit de crue en fonction du temps en un point donné d'un réseau ou d'un cours d'eau.</u>
Hydrologie	Science qui s'intéresse aux différentes étapes du cycle de l'eau.
IGN69	Système de nivellement officiel en France métropolitaine. Le « niveau zéro » est déterminé par le marégraphe de Marseille.
Jaugeage	Détermination du volume écoulé par seconde d'un cours d'eau, d'un canal, d'une conduite.
Laisses de crue	Ce terme désigne toutes traces laissées par le niveau de l'eau lors d'un épisode hydro-météorologique remarquable
Laminage	Diminution du débit de pointe entre l'amont et l'aval lors du passage de l'hydrogramme dans un système hydraulique
LIDAR	Light Detection And Ranging. Système permettant de connaître. Technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière renvoyé vers son émetteur.
Limnimètre	Appareil permettant de mesurer un niveau d'eau
Lit d'étiage	Espace occupé aux plus basses eaux

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Lit majeur	Espace occupé temporairement par les rivières lors du débordement des eaux en période de crues.
Lit mineur	Espace occupé en permanence par une rivière.
Lit moyen	Espace occupé aux valeurs habituelles du débit.
Modèle Numérique de Terrain	Un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (le plus souvent exprimées en mètres par rapport au niveau de la mer), calées dans un repère géographique.
Modélisation hydraulique	C'est une méthode de simulation numérique des écoulements des cours d'eau, utilisant des logiciels spécialisés.
Niveau de protection	Ce niveau est défini par l'article R.214-119-1 du code de l'environnement. C'est la hauteur maximale définie par le gestionnaire que peut atteindre l'eau sans que la zone protégée soit inondée en raison du débordement, du contournement, ou de la rupture des ouvrages de protection quand l'inondation provient directement du cours d'eau ou de la mer. Le niveau de protection est apprécié au regard, soit d'un débit du cours d'eau en crue ou d'une cote de niveau atteinte par celui-ci, soit d'un niveau marin pour le risque de submersion marine.
Niveau marin à la côte	Niveau marin qui prend en compte les effets locaux de la cote, à la différence du niveau marin au large
Niveau marin à la côte associé à l'événement de référence	Niveau marin associé à l'événement de référence.
Ouvrage hydraulique	Un ouvrage hydraulique est un ouvrage permettant la gestion d'un écoulement.
Période de retour	Intervalle de temps moyen séparant deux occurrences d'un événement caractérisé par une variable aléatoire unique. La période de retour est l'inverse de la fréquence de dépassement d'une valeur particulière de la variable étudiée.
Plan de Prévention des Risques inondations	Plan de prévention des risques spécifique aux inondations, émanant de l'autorité publique. Il évalue les zones qui subissent des inondations et instaure des solutions techniques, juridiques et humaines pour remédier aux conséquences néfastes pour la population et les activités humaines exposées. C'est un document cartographique et réglementaire après enquête publique et arrêté préfectoral. Il aide à la stratégie d'aménagement de la commune sur laquelle il s'applique.
Relation QH	Relation entre la hauteur (H) et le débit (Q)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Réseau hydrographique	Ensemble des éléments naturels (rivières) ou artificiels (réseau), drainant un bassin versant.
Risque	Le risque est le résultat du croisement de l'aléa et d'un enjeu. Atteintes physiques potentielles à des personnes, des biens, activités, patrimoine, ..., consécutives à la survenue d'un aléa.
Rugosité	La rugosité d'un écoulement est caractérisée par le coefficient de Strickler intervenant dans la formule empirique de Manning-Strickler. Elle permet d'estimer la vitesse des écoulements.
Ruissellement	Écoulement sur le sol d'une partie de l'eau précipitée.
Run-up	Valeur maximale de la composant Set-up et Surcote atmosphérique
Set-up	Élévation de la surface libre, comptée à partir du niveau d'eau au repos et causée par le déferlement de la houle.
Submersion	Inondation ou invasion par la mer. La submersion peut être causée par plusieurs phénomènes tels que la surverse, la rupture d'ouvrage, le franchissement par paquets de mer.
Surcote atmosphérique	Le phénomène de surcote est une élévation temporaire et locale du niveau de la mer au niveau des côtes littorales. Ce phénomène est provoqué par les conditions météorologiques (dépression).
Système de protection	Système comprenant l'ensemble des ouvrages (les digues et les divers ouvrages contributifs à la protection contre les inondations), des dispositifs de régulation des écoulements (fossés de drainage, pompes...), des organes de manœuvre et des éléments du relief qui concourent à la protection. Il présente une continuité topographique permettant aux ouvrages de remplir leur fonction de protection des enjeux situés dans la zone protégée assignée. (« Etude de dangers de systèmes d'endiguement – Concepts et principes de réalisation des études » – Juin 2018, CEREMA – p.22)
TRI	Un Territoire à risque important d'inondation (TRI) est une zone où les enjeux potentiellement exposés aux inondations sont les plus importants (comparés à la situation du district hydrographique), ce qui justifie une action volontariste et à court terme de la part de l'État et des parties prenantes concernées devant aboutir à la mise en place obligatoire de stratégies locales de gestion des risques d'inondation.
Verrou hydraulique	Obstacle, anthropique (barrage, écluse, retenue...) ou naturel (seuil, rétrécissement soudain de la largeur du lit mineur, lithologie du lit du cours d'eau...), à l'écoulement d'un cours d'eau.

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Vulnérabilité	La vulnérabilité est la mesure des dommages de toutes sortes (humains, matériels, etc.) rapportés à l'intensité de l'aléa.
Zone basse littorale	Zone dont la topographie est située à une altitude inférieure à un niveau marin de référence.
Zone d'expansion de crue	C'est un lieu privilégié où la crue d'un cours d'eau peut s'étendre rapidement avec un très faible risque pour les personnes et pour les biens.
Zone protégée	Aire géographique que le gestionnaire GEMAPI souhaite protéger contre les crues et/ou les submersions marines.

SIGLES UTILISES

CM	Cote Marine
GEMAPI	Gestion de l'Eau, des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations.
MNT	Modèle Numérique de Terrain
PPR i	Plan de Prévention des Risques inondations
PPR l	Plan de Prévention des Risques littoraux
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SPC	Service de Prévision des Crues
TRI	Un Territoire à risque important d'inondation

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

1. PREAMBULE

1.1. RAPPELS

Les communes de QUIMPER, GUENGAT et ERGUÉ GABÉRIC sont couvertes par un PPRi, basé sur une crue centennale¹, approuvé le 10 Octobre 1997. Ce PPR a subi deux révisions :

- la première, prescrite le 29 juin 2001, a été approuvée le 17 décembre 2004, par l'arrêté préfectoral n° 2004-1657.
- la deuxième prescrite le 29 octobre 2007, a été approuvée le 10 juillet 2008 par l'arrêté préfectoral n° 2008-1282.

L'objet du présent document est la réalisation des études de l'aléa inondation concernant la pertinence d'une révision éventuelle du Plan de Prévention des Risques d'inondation de Quimper - Guengat - Ergué Gabéric.

Ce document intègre les nouveaux aspects réglementaires. Le Décret n°2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine » et l'Arrêté du 5 juillet 2019 relatif à la détermination, qualification et représentation cartographique de l'aléa de référence et de l'aléa à échéance 100 ans s'agissant de la submersion marine, dans le cadre de l'élaboration ou de la révision des plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine » sont parus au journal officiel en date du 7 juillet 2019.

L'objectif de l'étude est de permettre aux services de l'Etat de décider ou non de :

- prescrire un nouveau PPRi ;
- prescrire une révision totale du PPRi ;
- prescrire une révision partielle sur un secteur bien défini ;
- ou de ne pas prescrire de révision.

Ce PPRi porte sur les phénomènes naturels d'inondation par :

- débordement de cours d'eau lors d'un événement fluvial et/ou marin ;
- éventuelle concomitance (crue, forte marées, fort ruissellement ...)

¹ Une crue centennale est une crue qui a une probabilité de 1 sur 100 de se produire dans l'année

1.2. PHASAGE

La mission se décompose en 5 phases :

- Phase 1 : Analyse du site
- Phase 2 : Caractérisation des aléas
- Phase 3 : Définition et cartographie des enjeux et de la vulnérabilité
- Phase 4 : Cartographie réglementaire - Elaboration du PPRi avant enquête publique
- Phase 5 : Dossier réglementaire
- Phase 6 : Assistance au maître d'ouvrage pendant l'enquête publique

Le présent document traite de la phase 2.

2. PHASE 2 : CARACTERISATION DE L'ALEA INONDATION

2.1. INTRODUCTION

L'objectif de cette phase est d'établir une cartographie de l'aléa inondation par le biais d'une modélisation hydraulique sur les trois cours d'eau étudiés. La comparaison du périmètre inondable et des profils issus de cette nouvelle modélisation avec le périmètre et les profils de la crue centennale du PPRI actuel permettra, selon le cas :

- de prescrire un nouveau PPRI,
- de prescrire une révision partielle ou totale,
- de pérenniser le PPRI actuel.

Cette phase est décomposée en plusieurs parties :

- Dans un premier temps, l'hydrologie est présentée. Cette hydrologie définit les débits qui sont utilisés en amont du modèle hydraulique ;
- La construction du modèle est ensuite précisée (limite du modèle 1D et du modèle 1D/2D) ;
- La vérification de la qualité du modèle est réalisée lors de l'étape du calage ;
- Les cartes d'aléas sont alors produites.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.2. ETUDE HYDROLOGIQUE PRELIMINAIRE

Dans cette partie, les données de débits sont analysées. Ceci permet de savoir si elles sont cohérentes et donc si elles peuvent être utilisées pour la suite de l'étude.

2.2.1. DONNEES HYDROMETRIQUES DISPONIBLES

Plusieurs données sont disponibles sur le secteur d'étude et ont été présentées en Phase 1. Ainsi, les stations hydrométriques suivantes ont été utilisées.

Nom du site	Cours d'eau	Code Banque Hydro	Code SPC
Kersaviou	Odét	J420192001	O_KSAV
Ergué-Gabéric [Tréodet]		J4211910	O_TREO
Quimper [Kervir virtuelle]		J4231910	O_KVIR
		J4231911	
Palais de Justice		J440191002	O_JUST
Corniguel			O_CORN
Bénodet		J442191001	O_PLAI
Ergué-Gabéric [Kerjean]	Jet	J4224010	O_KJEAN
Guengat [Ty Planche]	Steïr	J4313010	O_TYPL
		J4313011	
		J4313020	
Moulin Vert		J41303001	O_VERT

La station de Kervir est une station virtuelle et correspond à la somme des stations de Tréodet et de Kerjean. Celle-ci n'a donc pas été utilisée pour la vérification des débits.

Les stations de Tréodet, Kerjean et Ty-Planche sont situées en entrée de Quimper et avant la confluence avec les autres cours d'eau. A ce titre, ces stations **ont été les plus utilisées dans l'analyse hydrologique**. Elles sont importantes car les débits provenant de ces stations sont utilisés comme valeurs d'entrée dans les modèles hydrauliques.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

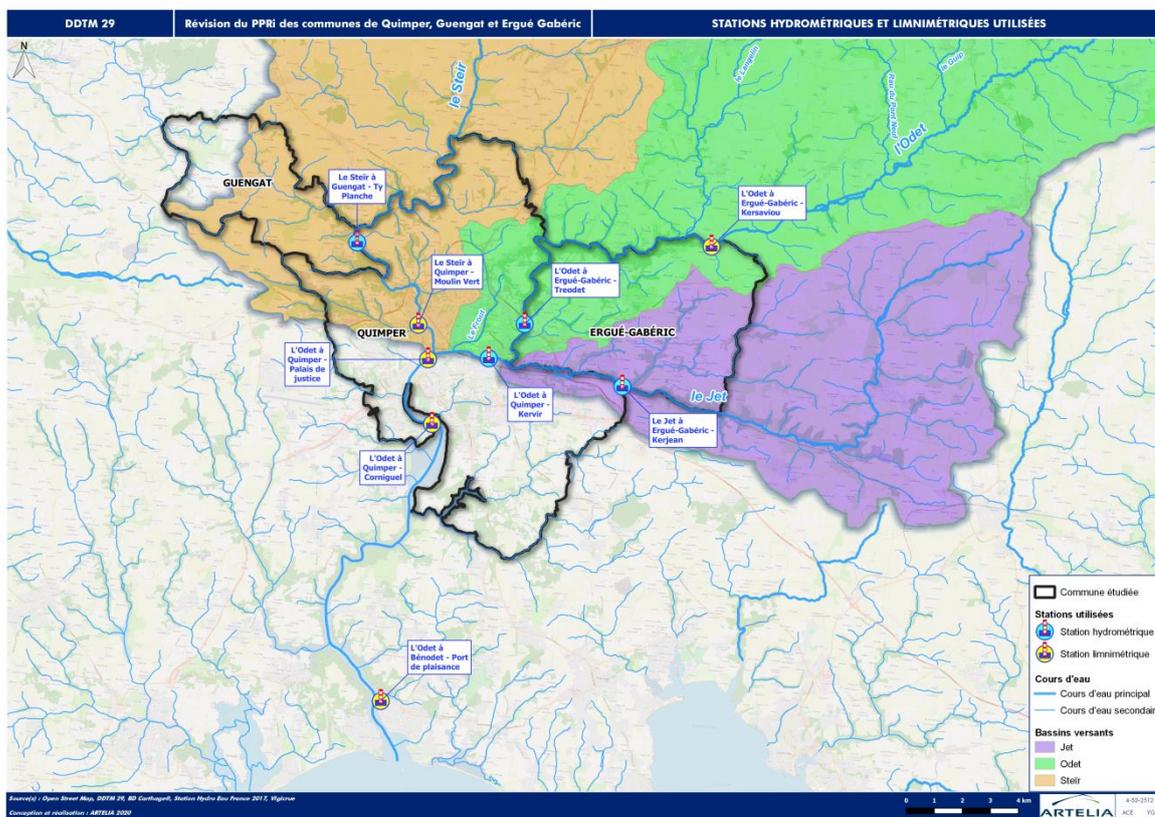


Fig. 1. Emplacement des stations hydrométriques et limnimétriques

2.2.2. VALIDATION DE LA QUALITE DES STATIONS HYDROMETRIQUES

Les débits sont issus des courbes de tarage (relation entre hauteur d'eau et débit) aux stations hydrométriques. Des jaugeages (mesures de débit) ont été effectués sur ces stations. En fonction de ces données de jaugeage, une analyse est réalisée pour vérifier si ces données sont cohérentes.

Les figures suivantes présentent des relations QH (Hauteur/Débit).

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

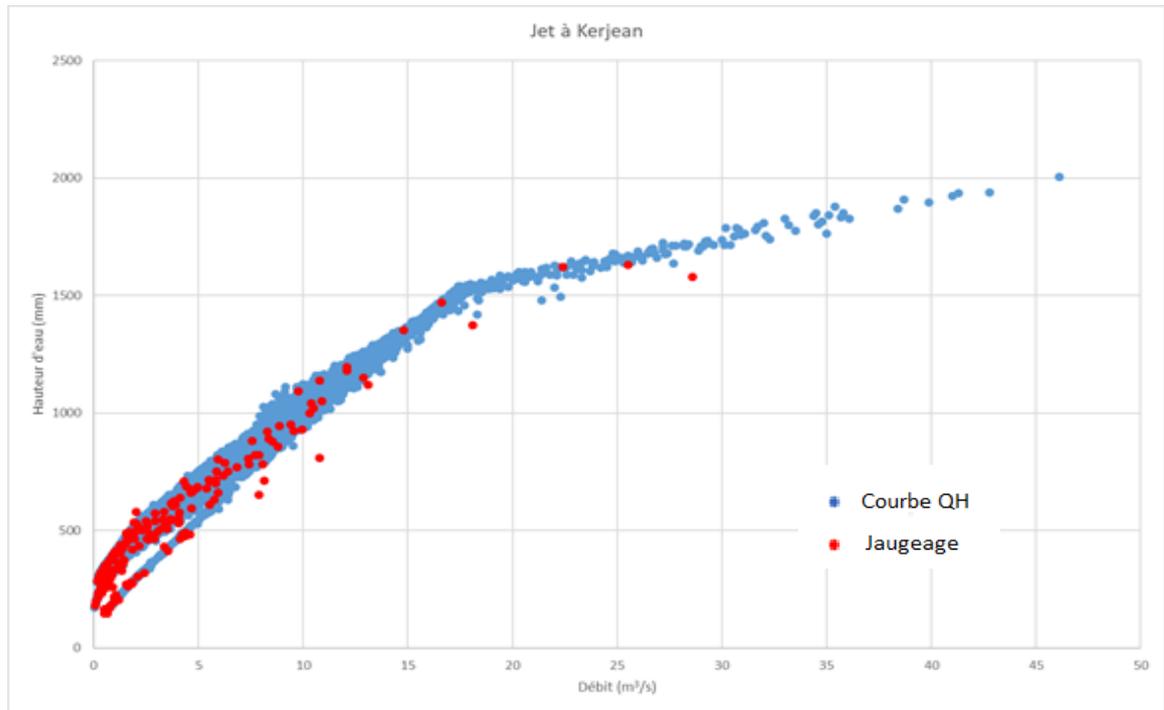


Fig. 2. Relation Hauteur Débit à Kerjean (Jet)

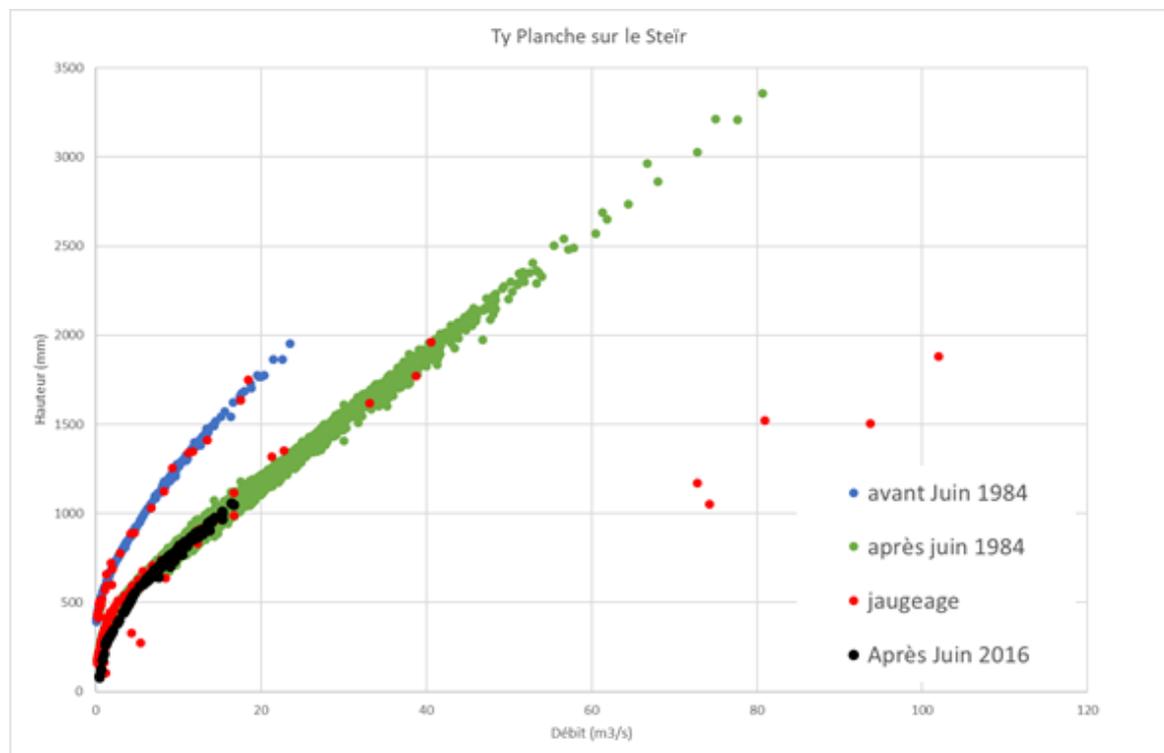


Fig. 3. Relation Hauteur Débit à Ty Planche (Steir)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

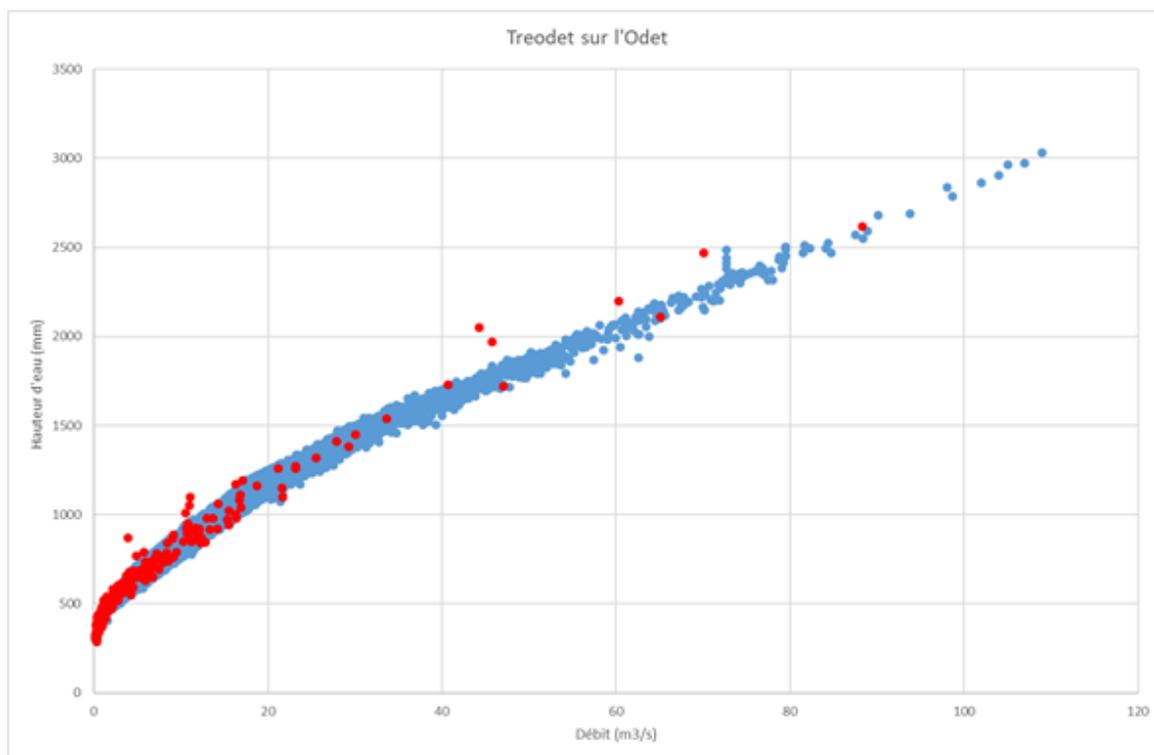


Fig. 4. Relation Hauteur Débit à Tréodet(Odet)

Il apparaît que les points de jaugeage correspondent bien aux valeurs données par la courbe de tarage sur Kerjean et sur Tréodet. En revanche, sur Ty Planche, deux courbes de tarage sont données.

Après avoir échangés avec le SPC (Service de Prévision des Crues de Rennes), il apparaît ainsi qu'il y a eu un déplacement de la station le 20 Septembre 1984 avec un nouvel ouvrage utilisé pour la courbe de tarage. Ceci correspond bien à la rupture observée dans la Fig. 3.

Le SPC nous a également informés que la station a été à nouveau déplacée en 2016 à environ 80 m à l'aval du seuil béton précédent. La relation QH (Hauteur/Débit) est presque identique car seul le zéro de l'échelle a été modifié. En effet, sachant que la largeur du chenal est relativement constante entre ces 2 positions, il est donc normal que la relation QH soit similaire.

Quelques points de débits de jaugeage figurant sur les graphiques sont éloignés des 2 relations QH. Après vérification, par le SPC, ces points de jaugeage ont été corrigés (erreur dans le dépouillement des résultats) et restent cohérents avec les relations QH.

Ainsi, il apparaît après vérification des données, que les relations QH sont bien adaptées aux stations hydrométriques et donc que les chroniques de débit utilisées pour l'estimation des débits caractéristiques sont réalistes.

Seul l'événement de Décembre 2000, pour le Steïr, posait des interrogations quant à la valeur du pic de débit. En effet, cette valeur était de 100m³/s lors de l'étude réalisée par le Bureau d'études EGIS (Ouvrages de ralentissement pour le SIVALODET, Analyse hydrologique, 2013) et celle d'ARTELIA pour l'étude de danger (2013).

En revanche la valeur donnée, en Janvier 2020, par la Banque Hydro indique un débit de 80 m³/s.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

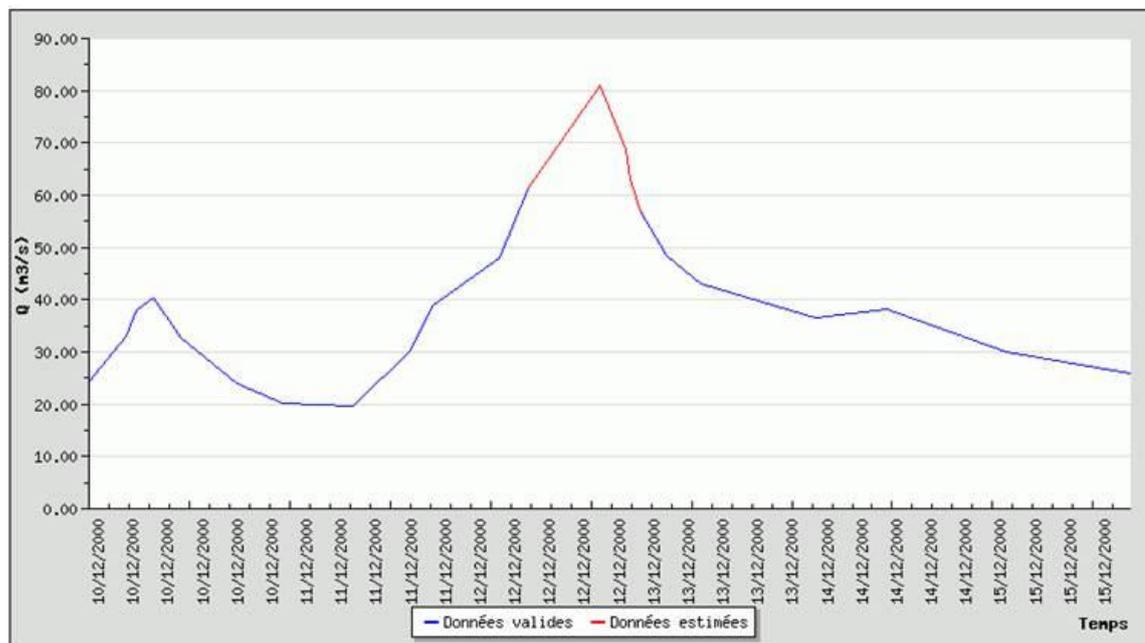


Fig. 5. Evènement de Décembre 2000

La valeur de la Banque Hydro en Octobre 2020 indique une valeur supérieure d'environ 90 m³/s. Après échange avec le SPC et sachant qu'il n'y a pas de jaugeage sur les très hauts débits, une incertitude, avec un ordre de grandeur de 20 % semble raisonnable. Un débit de crue de 95 m³/s en 2000 est donc réaliste et cohérent avec les autres études. Ce débit de 95 m³/s est ainsi utilisé dans l'analyse hydraulique.

2.2.3. CORRELATION ENTRE BENODET ET LE CORNIGUEL

Une vérification de la variation du niveau d'eau entre le fond et l'aval de l'estuaire est également réalisée. Les deux limnimètres sur l'Odet situés Bénodet et Le Corniguel sont essentiellement soumis à l'effet maritime.

2.2.3.1. EMPLACEMENT DES STATIONS LIMNIMETRIQUES

Les stations ont les caractéristiques suivantes :

Site	Code SPC	Adresse	Coordonnées X,Y de la Banque Hydro		Zéro de l'échelle (m IGN69)
Bénodet	O_PLAI	Port de plaisance de Bénodet	117860	2339930	-2.56
Corniguel	O_CORN	Corniguel	119708	2349899	-1.32

L'emplacement des stations est donné dans les figures suivantes.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

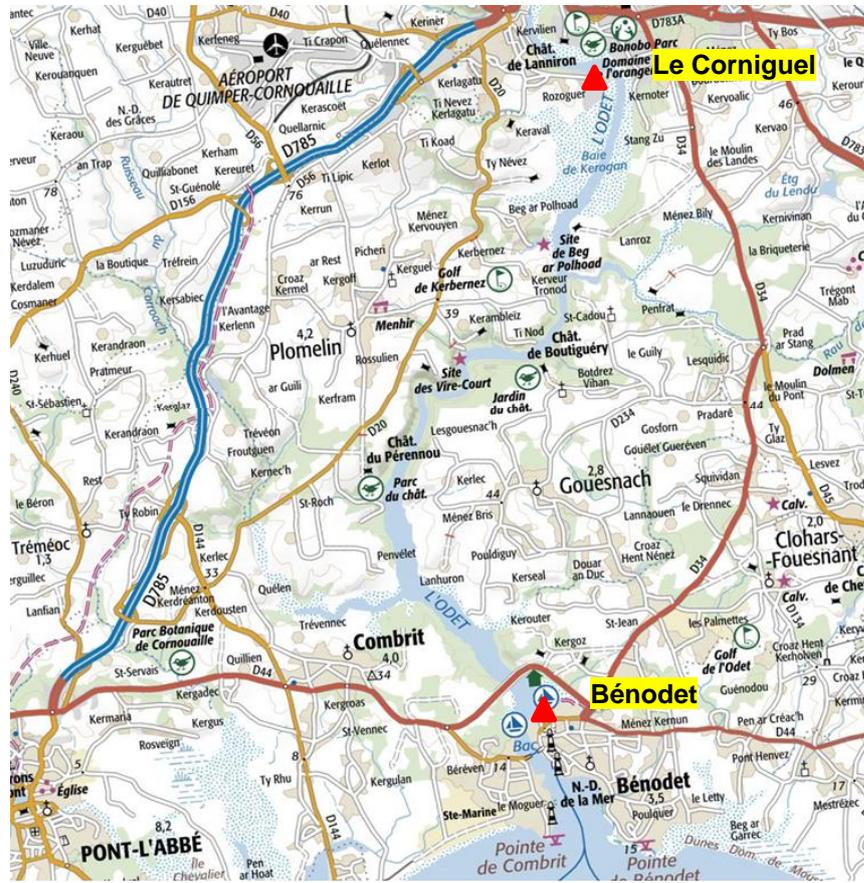


Fig. 6. Emplacement des 2 stations limnimétriques

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT



Fig. 7. Emplacement de la station de Bénédet



Fig. 8. Emplacement de la station de Corniguel

2.2.3.2. ANALYSE DES CHRONIQUES

L'analyse est basée sur les chroniques fournies par le SPC entre le 01/01/1997 et le 31/12/2002 (période en commun des 2 stations). Le pas de temps de la chronique est de 6 mn, ce qui permet de connaître précisément la valeur maximale atteinte lors du pic de marée.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

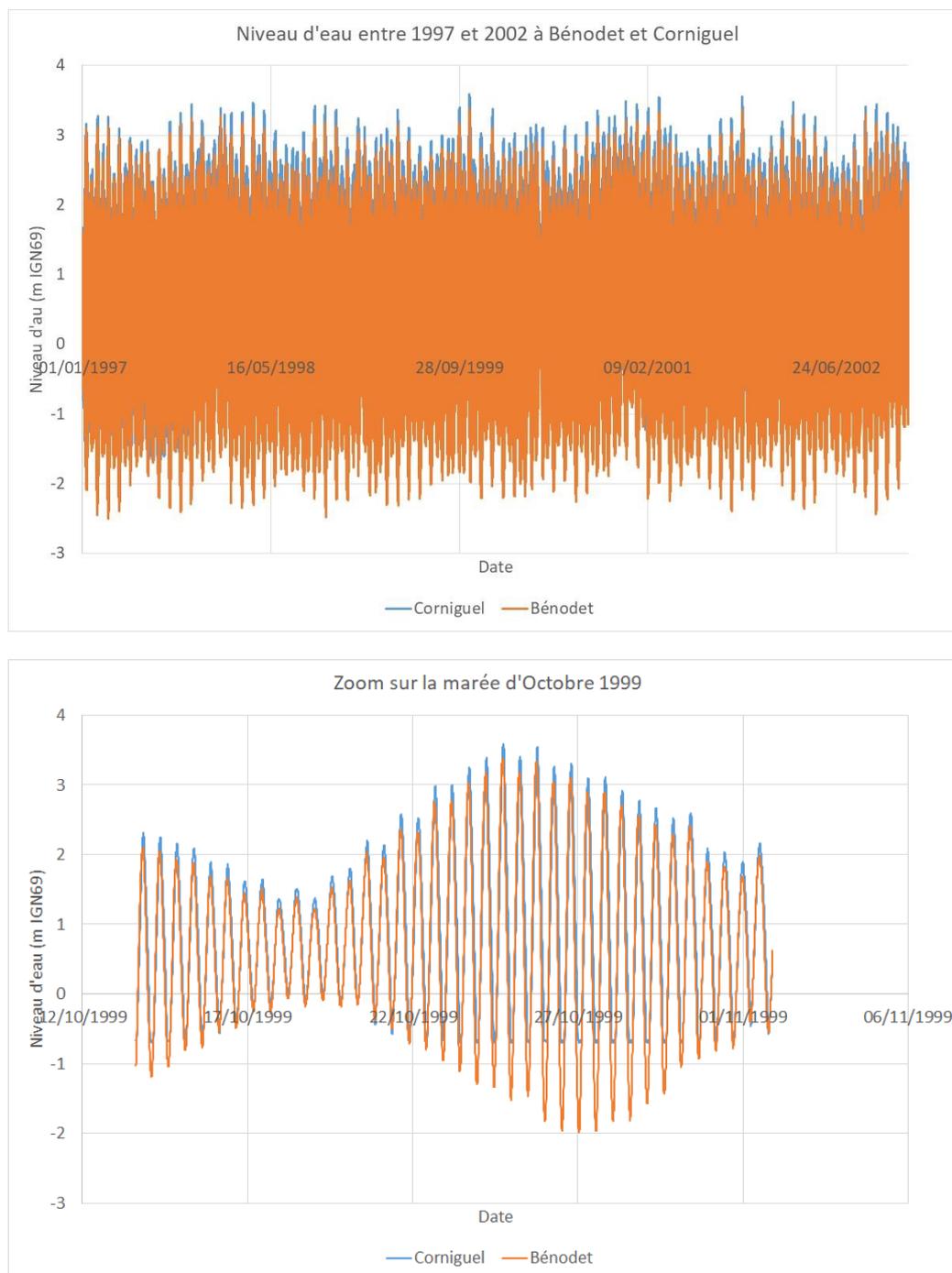


Fig. 9. Niveaux d'eau à Corniguel et Bénodet (1997-2002 et Octobre 1999)

En zoomant sur une période plus courte, on peut apercevoir un décalage entre les deux niveaux d'eau.

L'analyse a donc consisté à comparer le niveau d'eau maximum lors d'une même marée entre Corniguel et Bénodet. La différence de niveau d'eau pour un même événement a alors pu être estimée.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

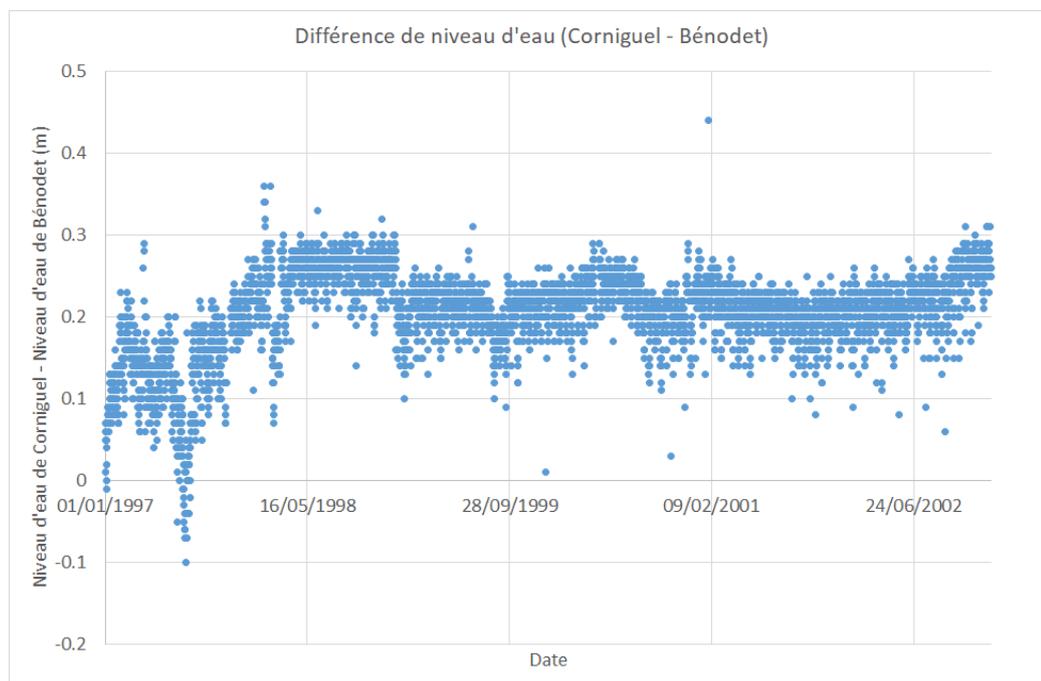


Fig. 10. Différence de niveau d'eau entre Corniguel et Bénodet (1997-2002)

On remarque ainsi une variation comprise entre 10 et 30 cm en moyenne. Cette analyse n'indique cependant pas si cette différence apparaît lors des niveaux d'eau élevés ou faibles or les analyses sur le risque d'inondation sont basées sur des niveaux d'eau élevés.

Une autre analyse a donc été réalisée en comparant cette différence avec le niveau d'eau observé à Bénodet.

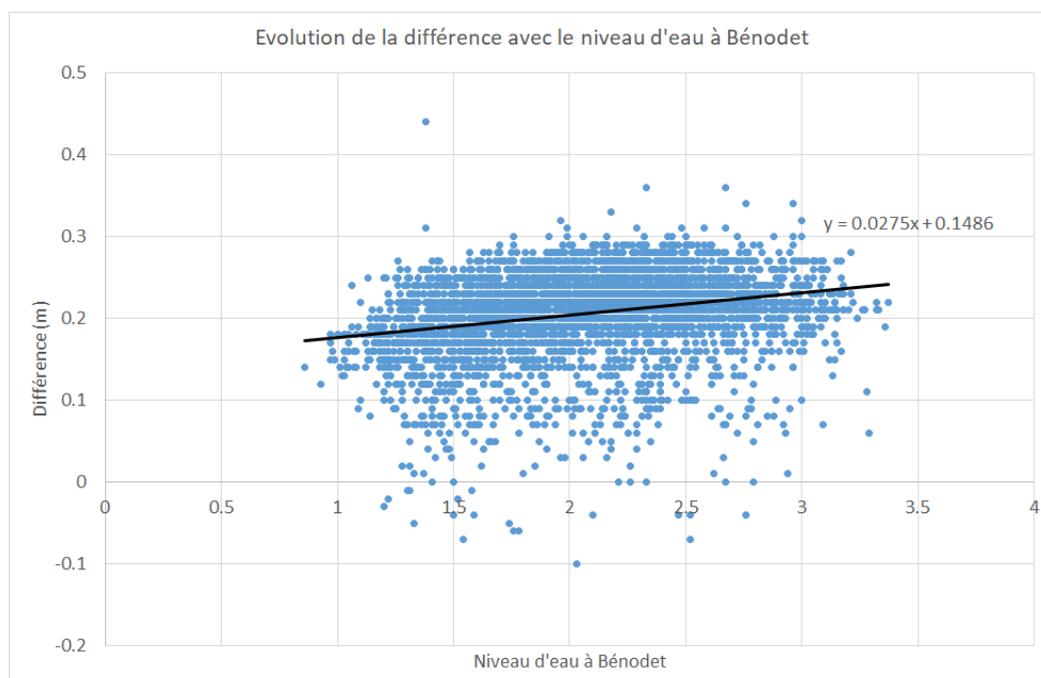


Fig. 11. Evolution de la différence de niveau d'eau entre Corniguel et Bénodet (1997-2002)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

On remarque que pour des niveaux d'eau élevés à Bénodet, de l'ordre de 3 m IGN69, la différence est comprise entre 20 et 30 cm.

En conclusion, on peut considérer que lors de niveaux d'eau élevés à Bénodet, le niveau d'eau au Corniguel est 25 cm au-dessus, ce qui est cohérent avec les retours du SPC et de la DREAL.

2.3. ETUDE HYDROLOGIQUE SUR LES DEBITS CARACTERISTIQUES

2.3.1. METHODES DE CALCUL

2.3.1.1. PRESENTATION DES DIFFERENTES METHODES

Les débits caractéristiques des cours d'eau sont calculés à l'aide de plusieurs méthodes. Les méthodes suivantes sont les plus souvent utilisées :

- Méthodes statistiques sommaires
 - Formulation empirique basée sur l'emplacement géographique. Un exemple de ces méthodes est l'estimation du débit décennal par la formule de Crupedix.
 - Formulation empirique avec approche pluie/débit. Le débit décennal est estimé par la formule de Socose.
- Méthodes pseudo-déterministes
 - Méthode Rationnelle. C'est une méthode régulièrement utilisée sur les petits bassins versants urbains. C'est un modèle simple de transformation de la pluie de projet.
- Modélisation hydrologique
 - Méthode du SCS (Soil Conservation Service). Cette méthode permet d'intégrer dans un modèle hydrologique plusieurs composantes (infiltration, évaporation, stockage, propagation, ...).
- Méthode par analyse statistique
 - A partir d'une chronique de débit, un ajustement statistique est réalisé (Gumbel par exemple).

Pour chaque méthode, une technique connue a été sommairement présentée, mais d'autres techniques sont disponibles. Elles dépendent de l'emplacement géographique et des conditions géologiques.

Il est cependant important de préciser que parmi l'ensemble de ces méthodes, la plus précise reste la technique basée sur l'utilisation des données observées au droit du site d'étude. Ainsi, si la chronique de données est suffisamment longue, il est préférable de se baser sur ce type d'approche. L'analyse statistique est donc généralement considérée comme la plus précise pour définir les débits caractéristiques.

Le travail de validation des données, réalisé dans le chapitre 2.2.2 était nécessaire pour s'assurer de la qualité des données et ainsi de pouvoir réaliser une analyse statistique de bonne qualité.

2.3.1.2. PRESENTATION DES METHODES STATISTIQUES

Comme il a été précisé dans le chapitre précédent, pour chaque méthode, il existe plusieurs techniques.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Dans la Banque Hydro, la méthode statistique généralement utilisée est celle de Gumbel (« Pour une utilisation plus efficace et plus performante de la Banque HYDRO », Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Mai 2015, lien internet : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Plaquette_HydroWeb_3.pdf)

Cette méthode est généralement bien adaptée aux cours d'eau dans la région de l'Ouest de la France. En revanche, même si certaines chroniques sont relativement longues, le calcul du débit caractéristique pour des périodes de retour élevées comporte des incertitudes fortes.

Des méthodes d'extrapolation sont alors utilisées telles que le Gradex et le Gradex progressif.

a) Gumbel

L'analyse fréquentielle d'une longue série de débits maximaux permet d'estimer le temps de retour d'une valeur particulière. Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant (modélisant) le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée. C'est du choix du modèle fréquentiel (et plus particulièrement de son type) que dépendra la validité des résultats de l'analyse fréquentielle.

Un modèle fréquentiel très souvent utilisé pour décrire le comportement statistique des valeurs extrêmes est la distribution statistique de Gumbel (loi double exponentielle ou loi de Gumbel). La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right)$$

avec la variable réduite suivante : $u = \frac{x-a}{b}$

Cette méthode est généralement utilisée par la Banque Hydro.

b) Méthode du Gradex

La méthode du Gradex, développée par EDF pour la sécurité des grands barrages, est utilisée couramment en France pour l'estimation des débits de fréquences rare et exceptionnelle. La méthode utilise l'information pluviométrique pour extrapoler la distribution de fréquence des débits.

La méthode du Gradex part du principe que lorsque le débit dépasse une certaine valeur, le sol est saturé. Cette valeur, nommée débit seuil (ou point pivot), peut varier du débit décennal au débit cinquantennal, selon les sols et les caractéristiques du bassin versant. Ainsi, pendant le temps de base de ruissellement D (assimilé à la durée caractéristique), tout accroissement de pluie induit le même accroissement en débit.

$$Q_p(T) = Q_p(T0) + \left[(u(T) - u(T0)) * Gp * Rm * S / (3,6D) \right]$$

Avec u variable réduite de Gumbel

$$u = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$$

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

c) Méthode du Gradex agrégé (ou Gradex progressif)

La méthode du Gradex agrégée est une méthode dérivée de la méthode du Gradex. Elle tient compte de la contribution de la pluie, génératrice des écoulements. Elle est basée sur un échantillon de pluie et un échantillon de débit, contrairement aux autres méthodes qui se basent sur l'échantillon de débit. Elle permet, contrairement à la méthode du Gradex, d'introduire une variation progressive de la pente des débits.

$$Q_p(T) = Q_p(T0) + \left[\ln \left(1 + \frac{Gq * (T - T(0))}{Gp * T(0)} \right) \right] * Gp * Rm$$

Avec :

- $Q_p(T)$: valeur "instantanée" du débit recherché en m³/s (Q100),
- $Q_p(T0)$: valeur "instantanée" du débit du seuil d'extrapolation en m³/s,
- D : temps de base de l'hydrogramme de ruissellement ou temps de concentration du bassin versant en heures (assimilé à la durée caractéristique),
- G_p : Gradex des pluies pour la durée caractéristique,
- G_q : Gradex des débits moyens sur la durée caractéristique au seuil d'extrapolation,
- R_m : coefficient de forme (rapport débit instantané/débit moyen sur ζ jours),
- T : période de retour en années,
- $T0$: période de retour du seuil d'extrapolation (point pivot).

Le Gradex des pluies est le coefficient directeur de la droite d'ajustement de l'échantillon pluviométrique à une loi de Gumbel. Il est déterminé à partir des courbes intensité-fréquence des postes pluviométriques, ceci pour diverses durées de pluie.

Les calculs sont réalisés pour des pluies moyennes et donc pour des débits moyens sur la durée D , caractéristique du bassin versant. Les débits instantanés peuvent être calculés grâce à un coefficient, appelé coefficient de forme, qui correspond au rapport moyen entre le débit maximum instantané et le débit maximum moyen sur la durée D .

2.3.2. HISTORIQUE DES DEBITS CARACTERISTIQUES

Sur ce site, on peut citer spécifiquement trois études importantes qui ont permis de calculer les débits caractéristiques :

- Etude du PPRi de Quimper (2004 et 2008) ;
- Etude pour le SIVALODET (Etude de scénarios d'aménagement de protection contre les crues de l'Odét et du Steir, 2013 à 2017) ;
- Etude du TRI (Elaboration des cartes du Territoire à Risque d'Inondation– secteur de Quimper, 2013).

2.3.2.1. ETUDE PPRi DE 2004 ET 2008

Ces deux études sont basées sur les mêmes hypothèses et présentent les mêmes débits caractéristiques.

Dans l'étude de 2004 et 2008, les débits caractéristiques aux stations de Tréodet, Ty-Planche et Kerjean ont été calculés à l'aide de la méthode de Gumbel et du Gradex.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Le calcul de Gumbel (Source DIREN) donne les débits suivants :

Tabl. 1 - Débits caractéristiques (étude de 2004, Gumbel) au niveau des stations

Période de retour	Débits aux stations (m ³ /s)		
	Jet	Steir	Odet
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
5 ans	26	44	60
10 ans	31	54	71
20 ans	36	63	82
50 ans	43	75	97
100 ans	48 (estimé)	84 (estimé)	107 (estimé)

Une analyse du calcul selon la méthode du Gradex a également été réalisée.

Le temps de concentration a été calculé et estimé à environ 24 heures (utilisation de la formule de Ventura).

Le Gradex des pluies utilisées était de 8.43 mm.

Le coefficient de forme Rm donnait les valeurs suivantes :

- Steir (Ty-Planche) : 1.42 ;
- Jet (Kerjean) : 1.33 ;
- Odet (Tréodet) : 1.39.

Enfin, une valeur de 10 ans avait été choisie pour le point pivot.

Ainsi les débits caractéristiques calculés aux trois stations avec la méthode du Gradex sont présentés dans le tableau suivant.

Tabl. 2 - Débits caractéristiques (étude de 2004, Gradex) au niveau des stations

Période de retour	Débits aux stations (m ³ /s)		
	Jet	Steir	Odet
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
5 ans	26	44	60
10 ans	31	54	71
20 ans	41	72	91
50 ans	54	95	117
100 ans	64	112	136
500 ans	86	153	181

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Un ajustement des débits a alors été réalisé pour calculer le débit des 3 cours d'eau en prenant en compte la formulation de Myer (ajustement du débit par rapport à la superficie).

$$Q_{AC} = Q_{ST} (S_{AC}/S_{ST})^{0.8}$$

Avec

- Q_{AC} : Débit à l'amont de la confluence
- Q_{ACST} : Débit à la station
- S_{AC} : Superficie du bassin versant à la confluence
- S_{ST} : Superficie du bassin versant à la station

En considérant que la méthode du Gradex est la mieux adaptée, les débits caractéristiques, en amont des confluences, utilisés dans l'étude de 2004, sont donnés dans le tableau suivant.

Tabl. 3 - Débits caractéristiques (étude de 2004, Gradex) en amont des confluences

Période de retour	Débits en amont des confluences (m ³ /s)		
	Jet	Steïr	Odét
5 ans	28	48	64
10 ans	33	59	76
20 ans	43	79	97
50 ans	57	105	125
100 ans	68	123	145
500 ans	91	169	194

2.3.2.2. ETUDE POUR LE SIVALODET : ETUDE DE SCENARIOS D'AMENAGEMENT DE PROTECTION CONTRE LES CRUES DE L'ODET ET DU STEÏR, HYDROLOGIE (MAI 2013)

Pour cette étude, trois méthodes de calcul ont été utilisées :

- Ajustement de Gumbel ;
- Méthode du Gradex ;
- Méthode du Gradex progressif.

Les valeurs de débit pour la méthode de Gumbel sont issues de la Banque Hydro.

Tabl. 4 - Débits caractéristiques (étude de 2013, Gumbel) au niveau des 3 stations

Période de retour	Débits aux stations (m ³ /s)		
	Jet	Steïr	Odét
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
2 ans	17	30	45
5 ans	24	45	65
10 ans	28	54	79
20 ans	33	63	92
50 ans	39	75	110

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Le calcul du débit avec la méthode du Gradex a été basé sur une discrétisation du Gradex des pluies. Les données pluviométriques proviennent de l'étude Météo France (« Spatialisation des pluies extrêmes en Bretagne », 2003).

Une méthode du krigeage (estimation linéaire) a été utilisée pour définir le Gradex des pluies pour chaque bassin versant. La durée caractéristique de l'événement a été estimée à 24h.

Le tableau ci-dessous synthétise les valeurs utilisées pour les calculs.

Tabl. 5 - Valeurs utilisées pour le calcul du Gradex et du Gradex progressif (2013)

	Jet	Steir	Odet
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
Superficie du bassin versant (km ²)	107	179	205
Durée caractéristique (jour)	1	1	1
Gradex des pluies (mm)	7.8	7.9	8.4
Période de retour pivot (ans)	10	10	10
Rm (Ration Q _{max} /Q _{journalier})	1.33	1.45	1.41

Le tableau suivant présente les résultats du calcul avec la méthode du Gradex et la méthode du Gradex progressif.

Tabl. 6 - Débits caractéristiques (étude de 2013, Gradex et Gradex progressif) au niveau des stations

Période de retour	Gradex Débit (m ³ /s)			Gradex progressif Débit (m ³ /s)		
	Jet	Steir	Odet	Jet	Steir	Odet
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
2 ans						
5 ans						
10 ans	28	54	79	28	54	79
20 ans	37	72	99	33	65	92
50 ans	49	94	125	41	81	114
100 ans	58	111	145	49	96	131
200 ans	67	127	165	57	111	150
500 ans	79	149	190	68	132	175
1000 ans	88	166	210	77	148	194
5000 ans	108	204	255	97	186	240

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.3.2.3. ETUDE POUR LE TRI (2013)

Dans cette étude, les débits sont issus des études précédentes. Ainsi les valeurs suivantes ont été utilisées pour la modélisation hydraulique. Les débits suivants sont donnés en amont des confluences.

Tabl. 7 - Débits caractéristiques utilisés pour l'étude du TRI (2013)

Période de retour	Débits en amont des confluences (m ³ /s)		
	Jet	Steïr	Odet
30 ans	42 m ³ /s Gradex (2013)	69 m ³ /s Gumbel (2013)	100 m ³ /s Gumbel (2013)
100 ans	64 m ³ /s (PPRI 2004)	112 m ³ /s (PPRI 2004)	136 m ³ /s (PPRI 2004)
1000 ans	88 m ³ /s Gradex	166 m ³ /s Gradex	210 m ³ /s Gradex

Ainsi les débits caractéristiques de l'événement centennal proviennent directement du PPRI de 2004. Les valeurs calculées en 2013 à l'aide du Gradex étaient similaires à celles calculées en 2004, ainsi par souci de cohérence les débits calculés en 2004 avaient été utilisés.

2.3.3. METHODE SHYREG

La méthode SHYREG est une méthode de prédétermination de l'aléa hydrométéorologique extrême, basée sur la simulation des processus. Elle met en œuvre un générateur stochastique de pluies horaires couplé à une modélisation hydrologique suffisamment simplifiée pour être régionalisée.

Il s'agit des quantiles de crue estimés pour différentes durées (de la pointe au débit en 3 jours) pour des périodes de retour allant de 2 à 1000 ans.

Tabl. 8 - Débits caractéristiques (méthode SHYREG)

Période de retour (années)	Jet Kerjean J4224010	Odet Tréodet J4211910	Steïr Ty-Planche J4313010
2	16.3	50.9	32
5	22.7	65.8	42.7
10	27.8	77.6	51.1
20	33.3	90.4	60.2
50	41.3	109	73.3
100	47.9	126	84.7
500	67.5	175	119
1000	78	201	138

L'extrapolation vers les débits extrêmes selon la méthode SHYREG suit une loi de puissance et ne prend pas en compte la saturation du sol.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.3.4. CALCUL DES DEBITS CARACTERISTIQUES DES 3 STATIONS HYDROMETRIQUES

2.3.4.1. AJUSTEMENT DE GUMBEL

a) Odét (station de Tréodet)

L'ajustement pour définir les débits caractéristiques est basé sur une loi de Gumbel. En premier lieu, la courbe d'ajustement est vérifiée afin qu'elle se situe dans l'intervalle de confiance.

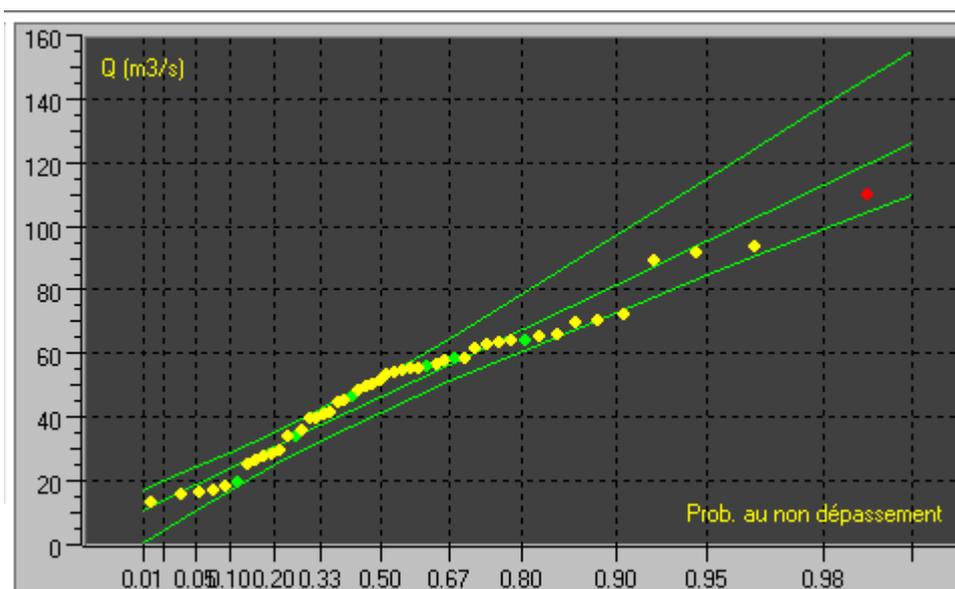


Fig. 12. Ajustement Gumbel pour la station hydrométrique de Tréodet sur l'Odét (49 années – Source : Hydro2)

Note (source Banque Hydro) : Le point en rouge indique une valeur douteuse. Les points en verts indiquent une valeur estimée (à partir du rapport Q_{IX}/Q_J). Les données utilisées pour présenter ce graphique sont présentées en Annexe 1. Le rapport Q_{IX}/Q_J indique la fraction entre le pic de débit et le débit journalier, le jour du pic de débit.

Cet ajustement sur Tréodet indique bien que la courbe se situe dans l'intervalle de confiance et donc que l'ajustement de Gumbel semble bien adapté.

Ainsi, les valeurs fournies par la Banque Hydro peuvent être utilisées.

Tabl. 9 - Débits caractéristiques pour l'Odét à Tréodet (Banque Hydro)

Période		Débit (m ³ /s)
Biennale	2 ans	44
Quinquennale	5 ans	64
Décennale	10 ans	77
Vicennale	20 ans	89
Cinquantennale	50 ans	100
Centennale*	100 ans	115

* le calcul de la crue centennale a été réalisé par extrapolation logarithmique.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

b) Steïr (Station de Ty-Planche)

Une analyse similaire est menée sur le Steïr.

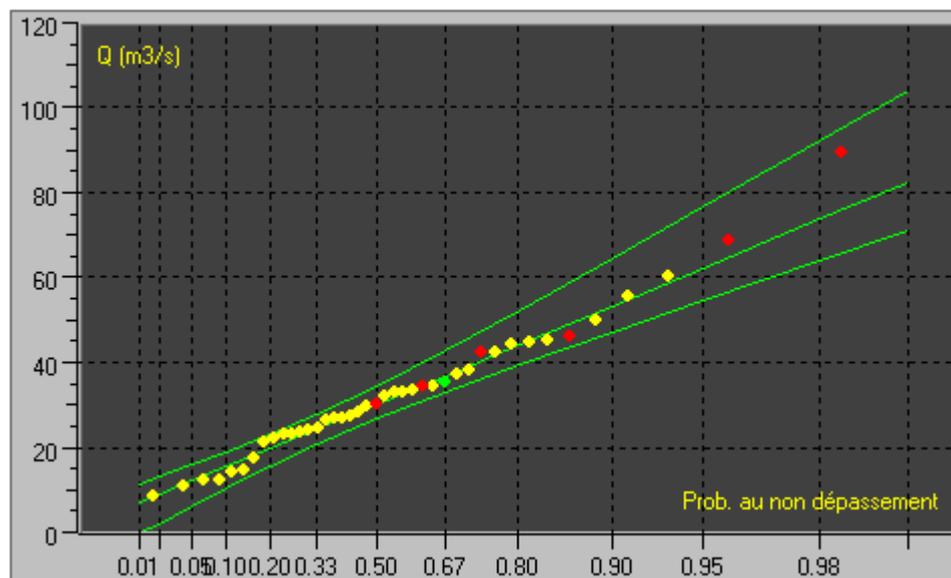


Fig. 13. Ajustement Gumbel pour la station hydrométrique de Ty-Planche sur le Steïr (41 années –Source : Hydro2)

Note (source Banque Hydro) : Les points en rouge indiquent une valeur 'estimée' (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine. Les points en verts indiquent une valeur estimée (à partir du rapport QIX/QJ). Les données utilisées pour présenter ce graphe sont présentées en Annexe 1.

De même que pour Trédodet, l'ajustement de Gumbel est bien adapté. Certains points rouges apparaissent mais sont bien répartis le long de l'échantillon et donc ne remettent pas en cause l'ajustement.

Tabl. 10 - Débits caractéristiques pour le Steïr à Ty-Planche (Banque Hydro)

Période de retour		Débit (m ³ /s)
Biennale	2 ans	31
Quinquennale	5 ans	45
Décennale	10 ans	55
Vicennale	20 ans	64
Cinquantennale	50 ans	76
Centennale*	100 ans	86

* : le calcul de la crue centennale a été réalisé par extrapolation logarithmique.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

c) Jet (station de Kerjean)

Une analyse similaire est menée sur le Jet.

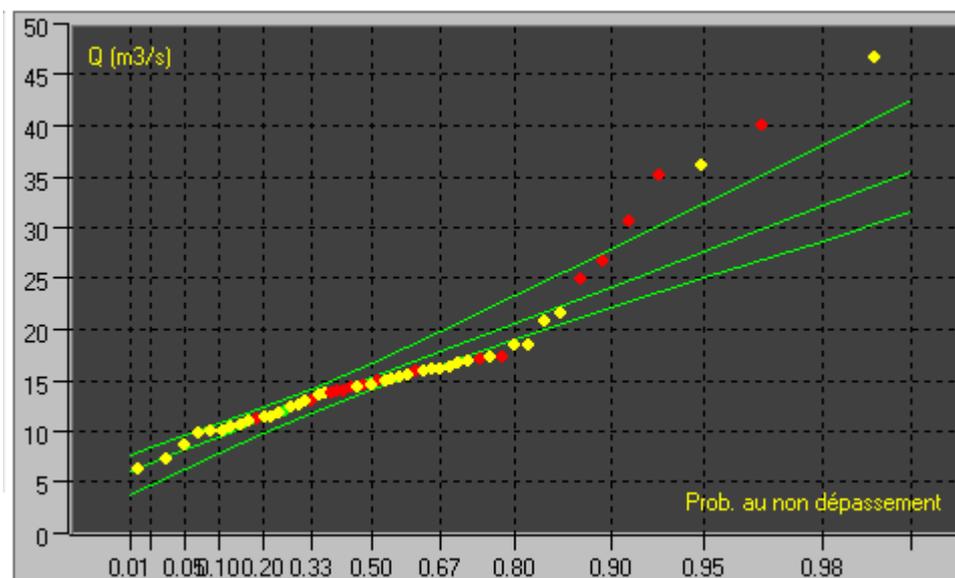


Fig. 14. Ajustement Gumbel pour la station hydrométrique de Kerjean sur le Jet (54 années –Source : Hydro2)

Note (source Banque Hydro) : Les points en rouge indiquent une valeur 'estimée' (mesurée ou reconstituée) que le gestionnaire juge incertaine. Les points en verts indiquent une valeur estimée (à partir du rapport QIX/QJ). Les données utilisées pour présenter ce graphe sont présentées en Annexe 1.

L'ajustement de Gumbel sur cette série n'est pas bon (points à l'extérieur de l'intervalle de confiance). De plus, plusieurs valeurs douteuses sont situées dans la partie correspondant aux périodes de retour élevées. Il n'est donc pas possible d'utiliser cet ajustement.

Ainsi, les débits caractéristiques de la Banque Hydro n'ont pas été utilisés.

Tabl. 11 - Débits caractéristiques pour le Jet à Kerjean (Banque Hydro)

Période de retour		Débit (m ³ /s)
Biennale	2 ans	16
Quinquennale	5 ans	22
Décennale	10 ans	26
Vicennale	20 ans	30
Cinquantennale	50 ans	35
Centennale*	100 ans	39

* : le calcul de la crue centennale a été réalisé par extrapolation logarithmique.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Une nouvelle analyse statistique a été réalisée en se basant sur la méthode des moments à partir de la loi de Gumbel. La série temporelle s'est également basée sur une année civile et pas sur une année hydrologique. Dans ce cas, la corrélation est de meilleure qualité.

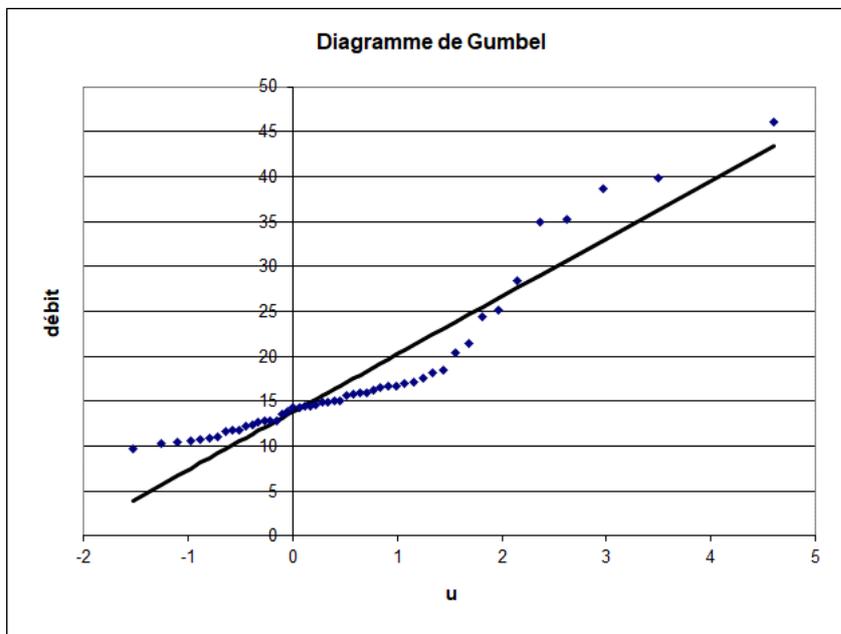


Fig. 15. Ajustement de Gumbel à Kerjean sur le Jet (méthode des moments)

Ainsi, les débits calculés à Kerjean sur le Jet donnent les valeurs suivantes :

Tabl. 12 - Débits caractéristiques pour le Jet à Kerjean

Période de retour		Débit (m ³ /s)
Biennale	2 ans	16.2
Quinquennale	5 ans	23.5
Décennale	10 ans	28.3
Vicennale	20 ans	32.9
Cinquantennale	50 ans	38.9
Centennale*	100 ans	44.1

* : le calcul de la crue centennale a été réalisé par extrapolation logarithmique.

On peut observer une légère différence entre les débits caractéristiques calculés en se basant sur une année civile et ceux donnés par la Banque Hydro (année hydrologique)

2.3.4.2. AJUSTEMENT PAR LA METHODE DU GRADEX

La méthode du Gradex est utilisée en se basant sur les mêmes hypothèses du Gradex des pluies. En effet, la répartition des pluies était spatialisée et représentait donc précisément chaque bassin versant.

La durée caractéristique a été vérifiée en se basant l'hydrogramme normé aux 3 stations.

Dans un premier temps, plusieurs hydrogrammes normés ont été étudiés (Fig. 16). Ainsi une vingtaine d'hydrogrammes ont été utilisés pour définir l'hydrogramme normé.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

L'exemple de la Fig. 16 est donné pour le calcul à Tréodet. La même méthodologie est appliquée pour les stations de Kerjean et de Ty-Planche.

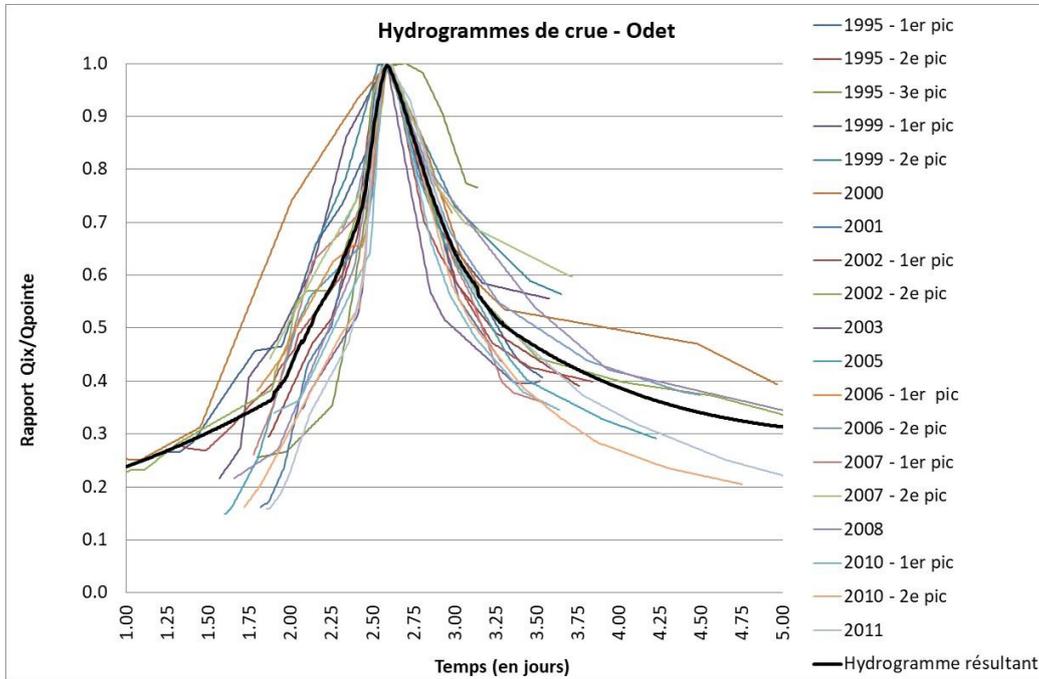


Fig. 16. Ensemble des événements utilisés pour calculer l'hydrogramme normé

Dans un second temps, les hydrogrammes avec des formes très différentes ont été supprimés et une moyenne de l'ensemble des hydrogrammes a été réalisée pour en déduire la forme caractéristique de l'hydrogramme.

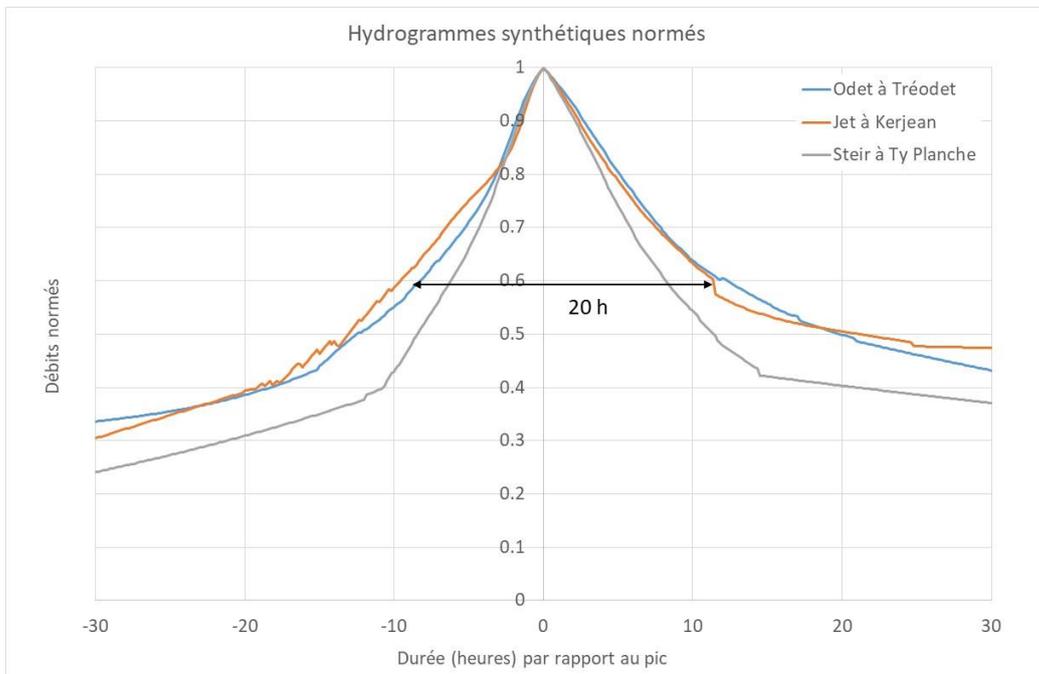


Fig. 17. Hydrogramme normé de l'Odét à Tréodet

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

La durée caractéristique est de 20 heures en se basant sur la Fig. 17 avec une incertitude d'environ 5 heures. Cette durée varie en effet en fonction de chaque événement. La durée caractéristique considérée pour la méthode du Gradex est de 24 heures afin d'être cohérent avec les études antérieures.

Tabl. 13 - Valeurs utilisées pour le calcul du Gradex (2020)

	Jet	Steïr	Odét
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
Superficie du bassin versant (km ²)	107	179	205
Durée caractéristique (jour)	1	1	1
Gradex des pluies (mm)	7.8	7.9	8.4
Période de retour pivot (ans)	10	10	10
Rm (Ratio $Q_{max}/Q_{journalier}$) (Source Banque Hydro)	1.40 [1.25;1.58]	1.44 [1.33;1.57]	1.41 [1.32;1.50]

La période de retour pivot n'est pas modifiée car elle semble réaliste, en se basant sur les Fig. 12, Fig. 13. Seule la Fig. 14 pourrait indiquer que le point pivot du Gradex se situe à une période de retour plus faible. Sachant qu'une période de retour de 10 ans est déjà faible, il n'a pas été jugé pertinent de réduire cette valeur.

Les valeurs de Rm (Ratio $Q_{max}/Q_{journalier}$) sont similaires à celles données dans l'étude de 2013. Les valeurs de débit calculées avec la méthode du Gradex sont présentées ci-après.

Tabl. 14 - Débits caractéristiques par Gradex (étude de 2020)

Période de retour	Débit (m ³ /s)		
	Jet	Steïr	Odét
	Kerjean	Ty-Planche	Tréodet
10 ans	28	55	77
20 ans	38	72	97
30 ans	44	82	109
50 ans	51	94	123
100 ans	60	110	143

Les évolutions du débit avec les méthodes de Gumbel et du Gradex sont présentées dans les figures suivantes.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

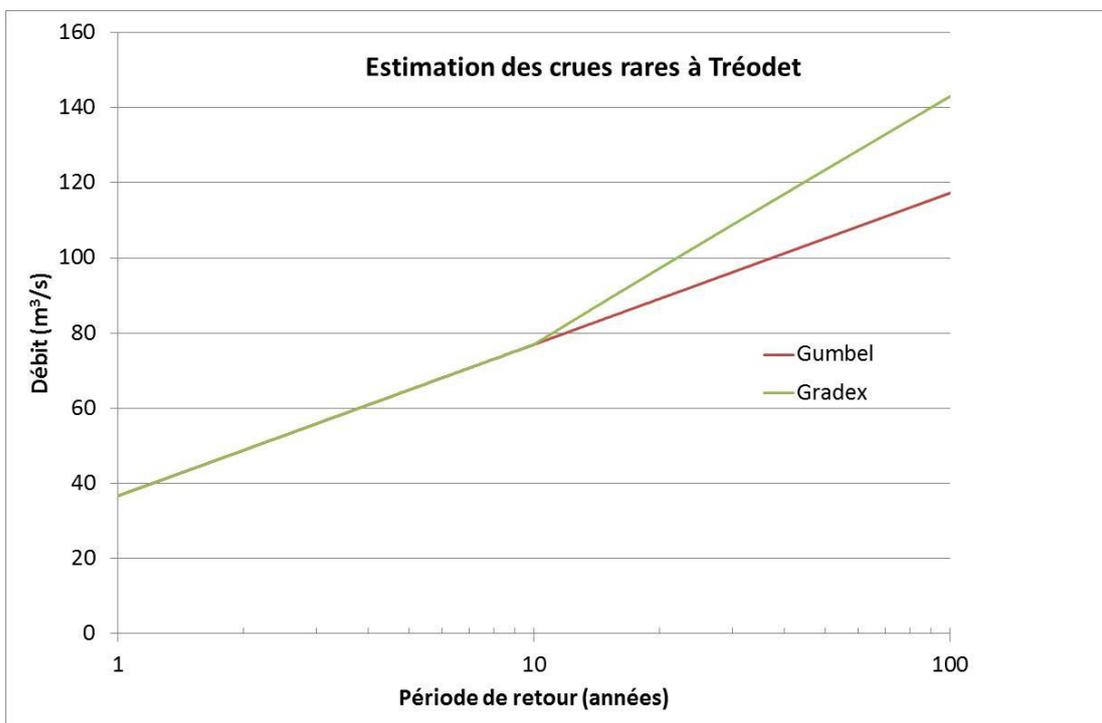


Fig. 18. Evolution du débit en fonction des périodes de retour à Tréodet (Odet)

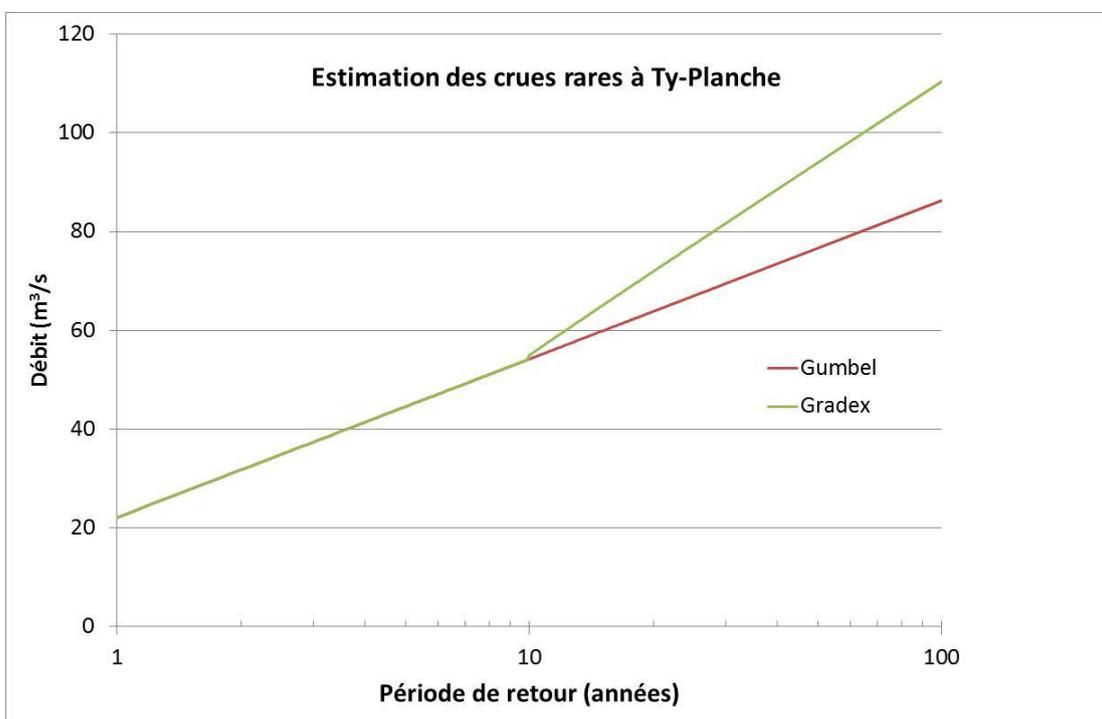


Fig. 19. Evolution du débit en fonction des périodes de retour à Ty-Planche (Steïr)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

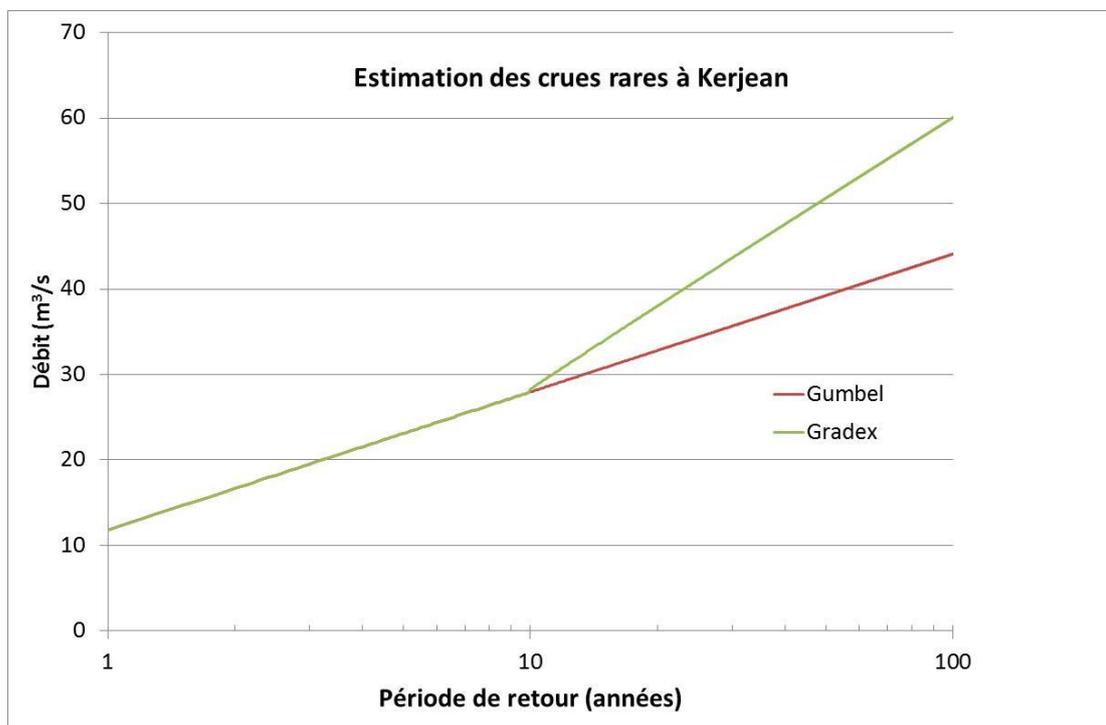


Fig. 20. Evolution du débit en fonction des périodes de retour à Kerjean (Jet)

2.3.4.3. CONCLUSION SUR LES DEBITS

Les débits caractéristiques, calculés à l'aide différents méthodes et sur différentes chroniques, sont présentés dans les tableaux suivants.

Tabl. 15 - Ensemble des débits caractéristiques pour la station de Tréodet (Odet)

Période de retour (années)	PPR2004		Etude des scénarios d'aménagement de protection contre les crues de l'Odet et du Steir 2013			SHYREG 2020	Banque Hydro 2020	ARTELIA 2020 Gradex
	Gumbel	Gradex	Gumbel	Gradex	Gradex progressif			
2			45			50.9	44	
5	60	60	65			65.8	64	
10	71	71	79	79	79	77.6	77	77
20	82	91	92	99	92	90.4	89	97
50	97	117	110	125	114	109	100	123
100	107	136		145	131	126	115	143

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Tabl. 16 - Ensemble des débits caractéristiques pour la station de Ty-Planche (Steïr)

Période de retour (années)	PPR2004		Etude des scénarios d'aménagement de protection contre les crues de l'Odét et du Steïr 2013			SHYREG 2020	Banque Hydro 2020	ARTELIA 2020 Gradex
	Gumbel	Gradex	Gumbel	Gradex	Gradex progressif			
2			30			32	31	
5	44	44	45			42.7	45	
10	54	54	54	54	54	51.1	55	55
20	63	72	63	72	65	60.2	64	72
50	75	95	75	94	81	73.3	76	94
100	84	112		111	96	84.7	86	110

Tabl. 17 - Ensemble des débits caractéristiques pour la station de Kerjean (Jet)

Période de retour (années)	PPR2004		Etude des scénarios d'aménagement de protection contre les crues de l'Odét et du Steïr 2013			SHYREG 2020	Banque Hydro 2020	ARTELIA 2020	
	Gumbel	Gradex	Gumbel	Gradex	Gradex progressif			Ajustement sur année civile	Gradex
2			17			16.3	16	16.2	
5	26	26	24			22.7	22	23.5	
10	31	31	28	28	28	27.8	26	28.3	28
20	36	41	33	37	33	33.3	30	32.9	38
50	43	54	39	49	41	41.3	35	38.9	51
100	48	64		58	49	47.9	39	44.1	60

L'ensemble des analyses montre une cohérence dans les résultats. On observe que les méthodes de type Gumbel donnent des débits centennaux plus faibles qu'avec les méthodes de Gradex, ce qui est logique.

On remarque que jusqu'à l'événement décennal, les débits caractéristiques sont proches est donc ceux de la Banque Hydro sont utilisés. Une exception est cependant faite pour le Jet. En effet, la Banque Hydro de 2020 semble donner des valeurs faibles en comparaison des valeurs antérieures et de l'analyse basée sur une période civile.

En ce qui concerne l'événement centennal, on remarque que les valeurs sont proches pour les calculs réalisés avec la méthode du Gradex et se situent dans le même niveau d'incertitude. Par raison sécuritaire, la valeur maximale a été choisie.

Pour les débits d'occurrences de 2, 5 et 10 ans, les données de la Banque Hydro ont été choisies sur l'Odét et le Steïr. En revanche, sur le Jet, ces valeurs sont faibles en comparaison avec les valeurs antérieures. Ainsi, les débits correspondant à l'ajustement réalisé sur année civile ont été considérés.

Enfin, pour les périodes de retour vicennales et cinquantiennes, une moyenne de l'ensemble des valeurs a été faite, ce qui permet d'adoucir la pente du Gradex.

Le tableau suivant présente les débits caractéristiques retenus issus de l'ensemble de l'analyse hydrologique. La méthode de calcul sera appelée dans la suite « Méthode pseudo-Gradex ».

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Tabl. 18 - Débits caractéristiques aux 3 stations hydrométriques

Période de retour (années)	Jet Kerjean J4224010	Odét Tréodet J4211910	Steïr Ty-Planche J4313010
2	16	44	31
5	24	64	45
10	28	77	55
20	35	92	66
50	44	112	83
100	64	145	112

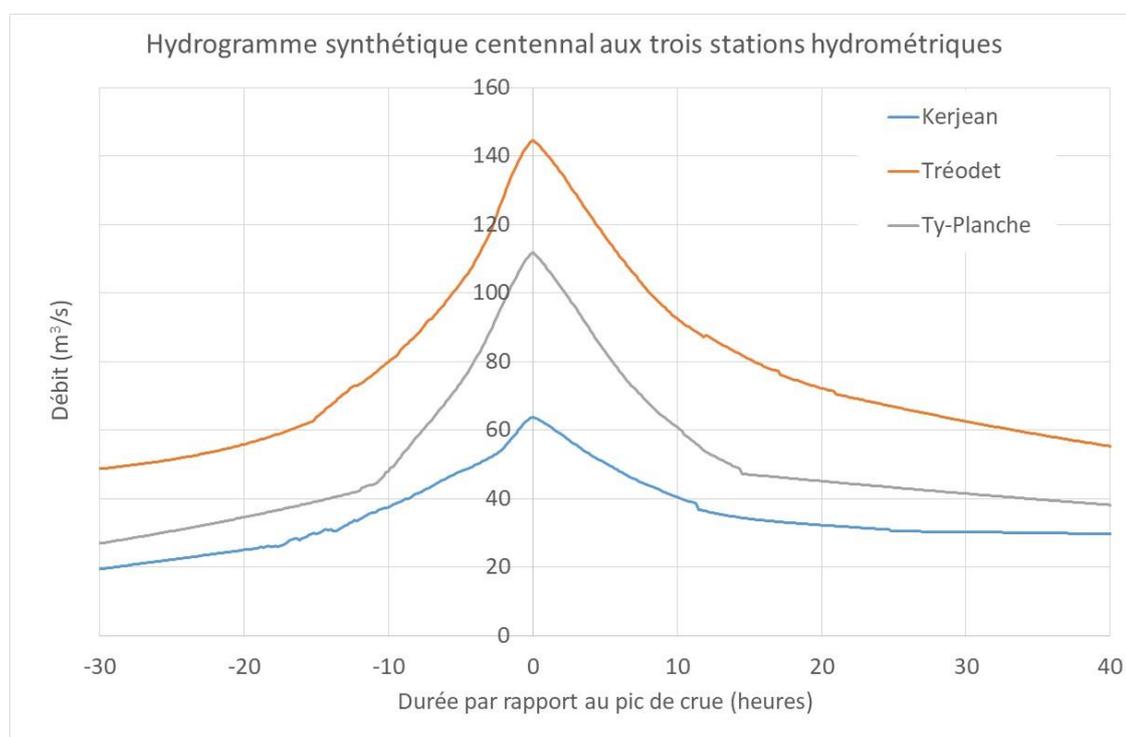


Fig. 21. Hydrogramme synthétique centennal aux trois stations hydrométriques

Pour la suite de l'étude, un ajustement surfacique est appliqué afin de prendre en compte certains apports sur une partie du bassin versant en aval de la station hydrométrique. Ainsi le débit centennal au droit des confluences est un peu plus élevé.

Les apports sont donc définis en réalisant la soustraction du débit aux confluences et du débit aux stations.

L'ajustement est réalisé selon une approche proportionnelle fonction de la superficie du bassin versant considéré.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Tabl. 19 - Débits caractéristiques au niveau des confluences

Emplacement	Superficie du bassin versant (km ²)	Débit (m ³ /s)
Jet à Kerjean J4224010	107	64
Jet avant confluence avec Odét	116	70
Steïr à Ty-Planche J4313010	177	112
Steïr avant confluence avec Odét	204	130
Odét à Tréodet J4211910	203	145
Odét avant confluence avec Jet	211	150

Il a été observé lors de cette étude, plusieurs modifications des relations hauteur/débit de la Banque Hydro. Or cette modification pourrait avoir un impact sur le calcul du débit centenal.

Un test de sensibilité a été réalisé. Le calcul selon la formule de Gumbel a été utilisé pour connaître les débits caractéristiques sur le Steïr et ce en prenant un débit de 80, 90 et 95 m³/s.

Tabl. 20 - Impact de la modification du pic de crue de l'événement de 2000

		Débit du Steïr à Ty Planche (m ³ /s)		
Crue 2000		80	90	95
<i>Période de retour (ans)</i>	50	73	75	77
	20	62	63	65
	10	53	54	55
	5	44	45	45
	2	30	30	30

On remarque ainsi peu de variation pour chaque débit caractéristique. Sachant que le point pivot est choisi pour une période de retour de 10 ans, il apparaît ainsi que la modification en débit sur la crue de 2000 a un impact très limité sur les débits caractéristiques.

2.3.4.4. COHERENCE DE DEBITS CARACTERISTIQUES

Un procédé de validation des débits caractéristiques consiste à étudier leurs cohérences entre chaque station hydrométrique.

Il doit ainsi y avoir une corrélation entre les débits caractéristiques des cours d'eau.

Pour un événement donné, une extraction est faite du pic de débit dans chaque cours d'eau. Les événements sélectionnés sont basés sur un débit supérieur à 40 m³/s dans l'Odét.

Les figures suivantes présentent les débits caractéristiques avec l'ensemble des pics de débits sélectionnés. L'objectif est que ces points représentant les débits caractéristiques se situent au centre du nuage de points.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Deux méthodes de calcul du débit caractéristique ont été utilisées :

- Méthode 1 : Analyse selon Gumbel (avec ajustement sur le Jet)
- Méthode 2 : Analyse basée sur une approche pseudo-Gradex

Rappelons que la méthode 1 (ajustement de Gumbel) est basée sur une analyse statistique des données en se basant sur une extrapolation de type logarithmique. Cette méthode est adaptée jusqu'aux périodes de retour comprise entre 10 et 50 ans.

La méthode du Gradex considère qu'à partir d'une certaine période de retour (comprise généralement entre 10 et 30 ans), le volume provenant de la pluie ruisselle entièrement. Dans la méthode 2 (méthode pseudo-Gradex), le calcul de l'événement centennal est estimé avec la méthode du Gradex. Les débits pour les périodes de retour jusqu'à 10 ans sont calculés avec la méthode de Gumbel. Pour les périodes de retour égales à 20 ans et 50 ans, le débit est estimé en prenant une moyenne des deux méthodes, ce qui permet de lisser la courbe Débit/Période de retour.

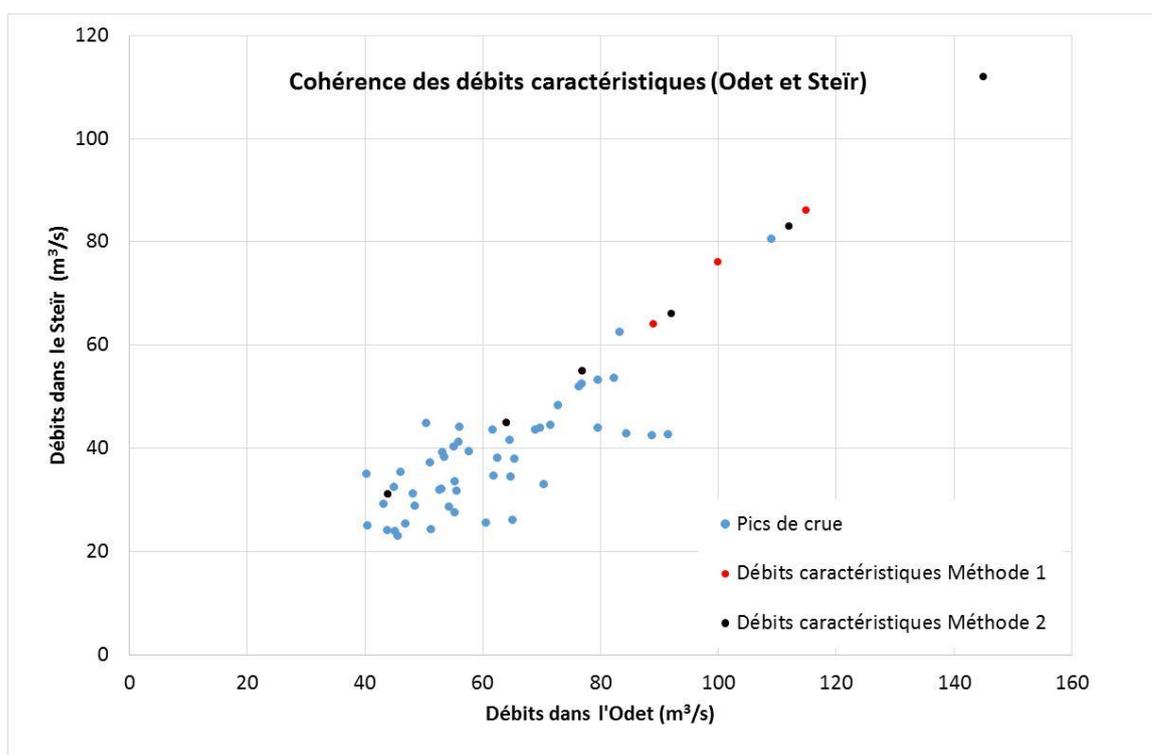


Fig. 22. Pics de crue et débit caractéristiques (Odet/Steïr)

La Fig. 22 montre bien la corrélation entre les pics de crue de l'Odet et du Steïr et est également représentée par la corrélation des débits caractéristiques.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

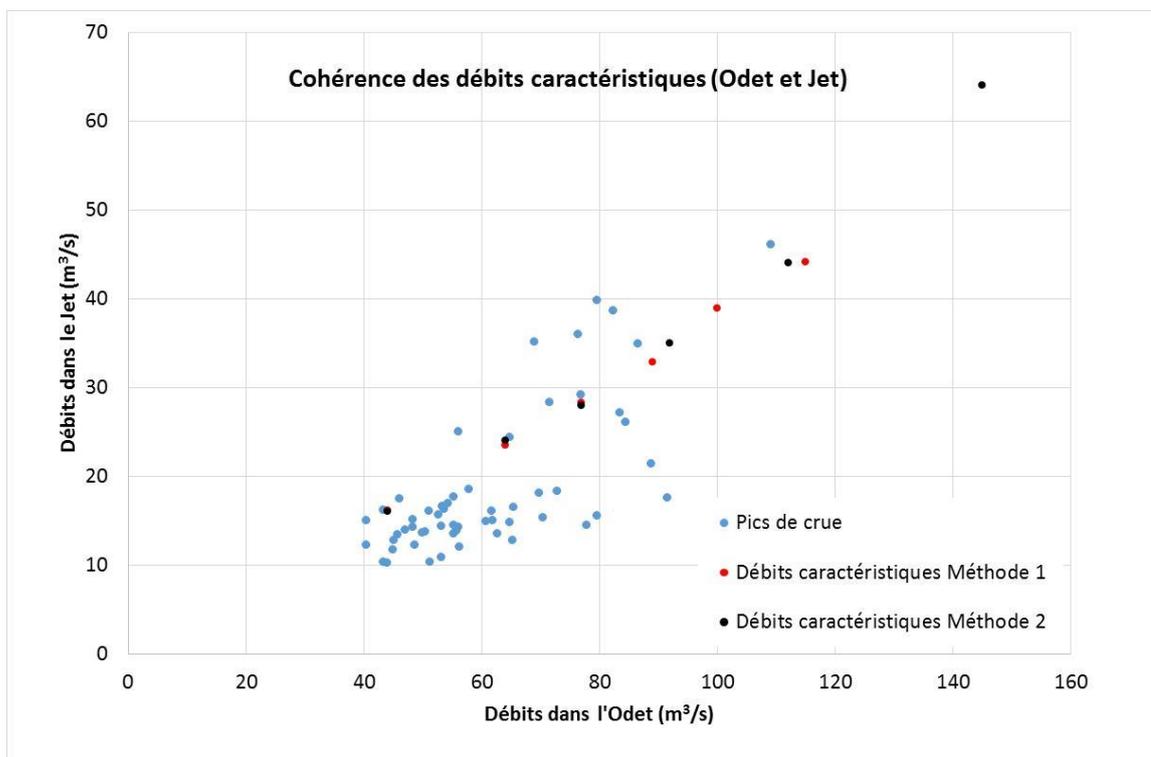


Fig. 23. Pics de crue et débit caractéristiques (Odét/Jet)

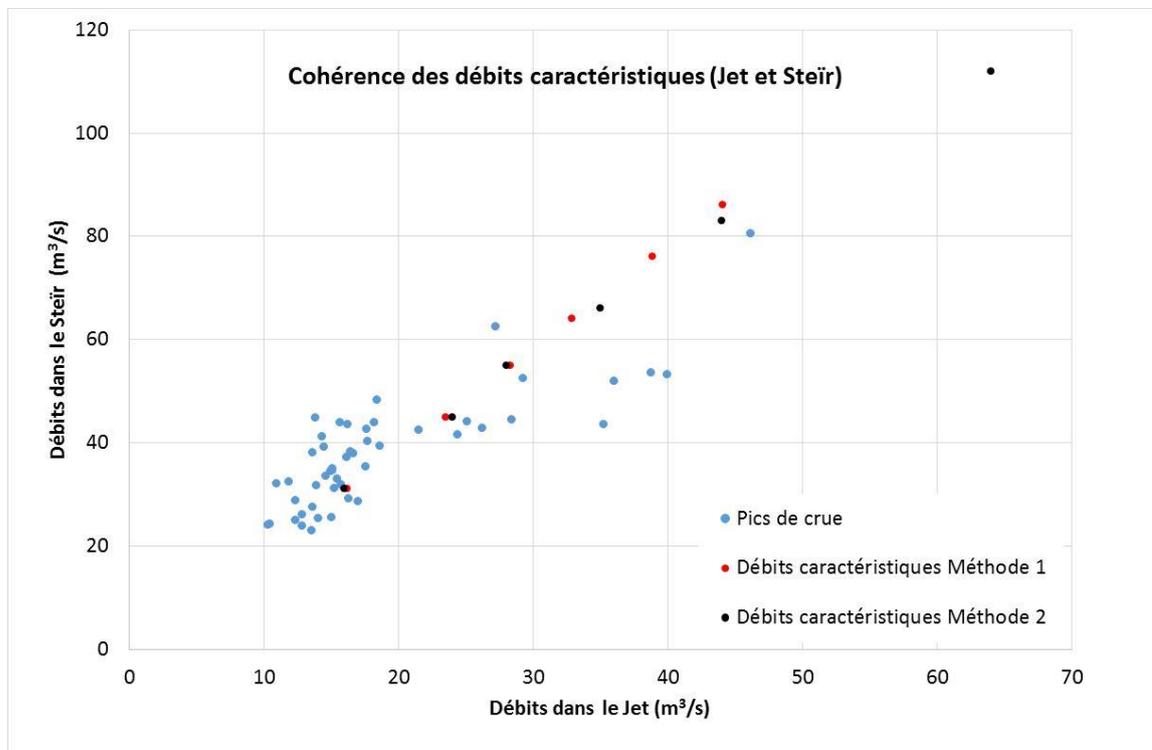


Fig. 24. Pics de crue et débit caractéristiques (Steïr/Jet)

L'ensemble de ces 3 figures indique que les débits caractéristiques sont cohérents avec l'ensemble des pics de crue relevés.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.3.5. APPORTS DU FROUT

2.3.5.1. ESTIMATION DU DEBIT CENTENNAL

A la différence des études précédentes, le Frouit est intégré dans la modélisation hydraulique. Ainsi, les apports sont calculés en amont sur ce cours d'eau.

Il n'existe pas de station hydrométrique sur le Frouit. Le bassin versant du drainé est de 8km² soit bien plus petit que ceux du Steïr, de l'Odet et du Jet. Il n'est donc pas possible d'effectuer un ajustement proportionnel à la superficie du bassin versant.

De plus, le pic de crue n'est pas concomitant avec celui des 3 autres cours d'eau, sachant que le bassin versant est bien plus petit. Le décalage est basé sur la différence des temps de concentration entre le bassin du Frouit et le bassin du Steïr.

Le calcul du débit est basé sur la méthode des bassins versants analogues. Le ruisseau du Langelin à Briec est proche du Frouit et possède une station hydrométrique. Les superficies des bassins versants sont similaires.

En utilisant, la formule de Myer, on peut alors prendre en compte la modification de la superficie du bassin versant et estimer le débit du Frouit.

Tabl. 21 - Analogie entre le Frouit et le Langelin

Site	Superficie (km ²)	Q2 (m ³ /s)	Q10 (m ³ /s)
Langelin à Briec (J4214510)	7.04	2.5	4.2
Frouit	7.93	2.8	4.7

En se basant sur la méthode de l'IT77 (Instruction Technique) qui considère que le débit centennal correspond au double du débit décennal, on obtient alors un débit de 9.5 m³/s.

L'étude sur l'Aménagement de la Route de Brest à Quimper (Conseil Départemental 29, Juillet 2013) a également calculé le débit du Frouit, à partir de la méthode rationnelle et a estimé ce débit centennal à 9.9 m³/s.

L'étude du Bassin Ecrêteur du Frouit (Conseil Général 29, Mai 2007) a estimé le débit centennal du Frouit à 8.4 m³/s.

En se basant sur ces différentes valeurs, le débit centennal considéré pour le Frouit est de 9.5 m³/s.

La forme de l'hydrogramme est basée sur la méthode de l'hydrogramme unitaire. On peut d'ailleurs bien vérifier que la durée de la crue sur le Frouit est bien inférieure à celles des 3 autres affluents.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

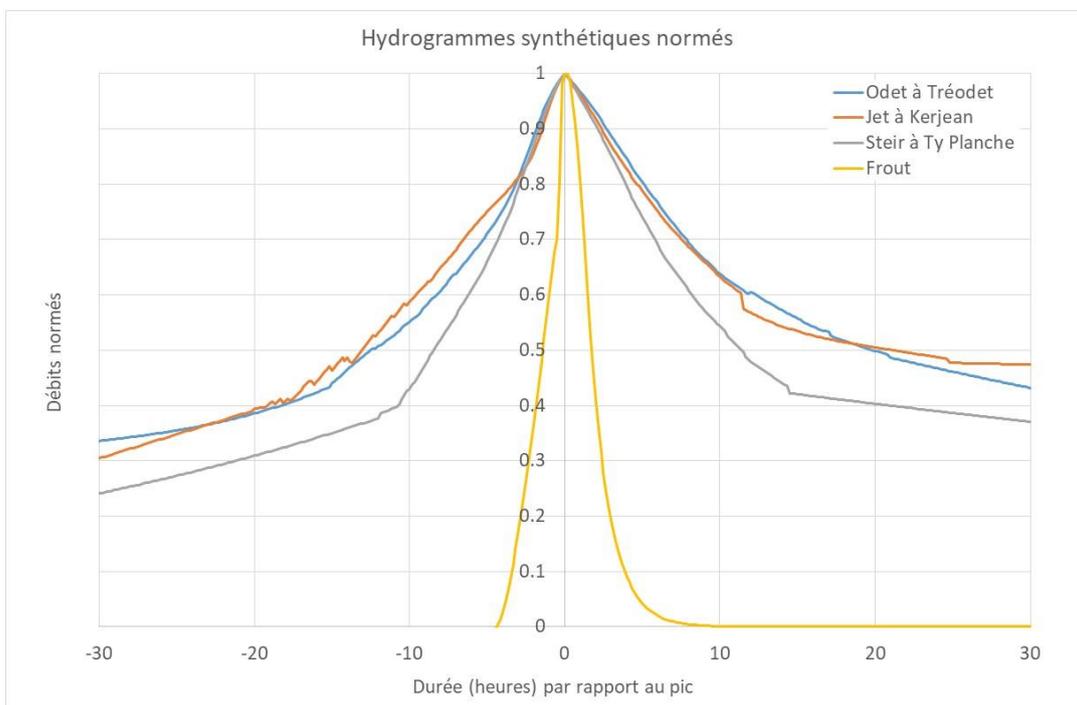


Fig. 25. Hydrogramme normé du Frouit

2.3.5.2. IMPACT DE LA RETENUE

L'exutoire du bassin de rétention de la rue de Brest est situé à la limite amont du modèle sur le Frouit.

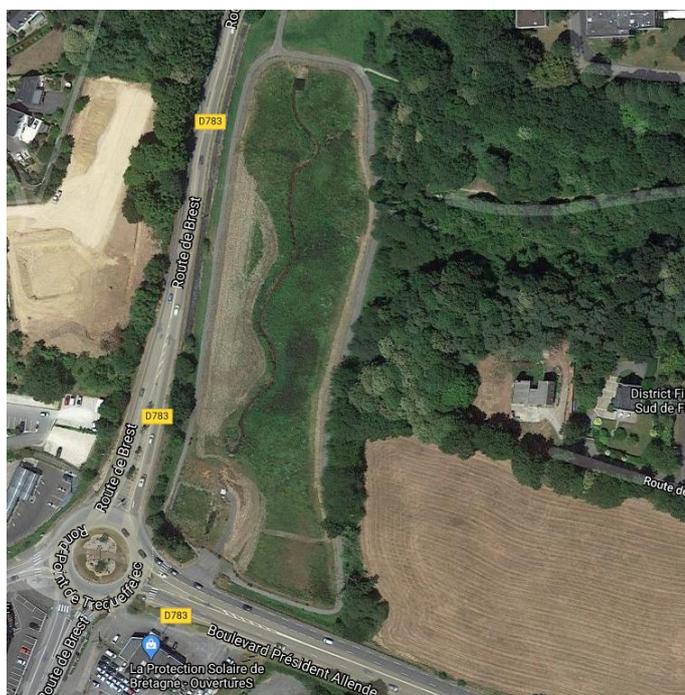


Fig. 26. Emplacement de la retenue sur le Frouit

Une analyse est faite pour déterminer son impact sur l'écrêtement des débits amont.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Un modèle local simplifié du bassin de la rue de Brest est ainsi réalisé à l'aide du logiciel ISIS.

Les hypothèses retenues se basent en partie sur l'étude « Bassin écrêteur sur le ruisseau du Frouit » (SOGREAH 2007), elles sont les suivantes :

- Retenue :
 - Volume calculé jusqu'au déversoir puis jusqu'en haut du remblai routier du Boulevard Allende, sur la base des données LIDAR (z~20 mIGN69) ;
 - Débit régulé : 0.5 m³/s avant surverse ;
 - Débit de vidange : 2.5 m³/s ;
- Débit centennal amont (entrée de retenue) : 9.5m³/s (voir chapitre précédent);
- Conduite aval sous le Boulevard Allende : Ø1800mm (ARTELIA 2020).

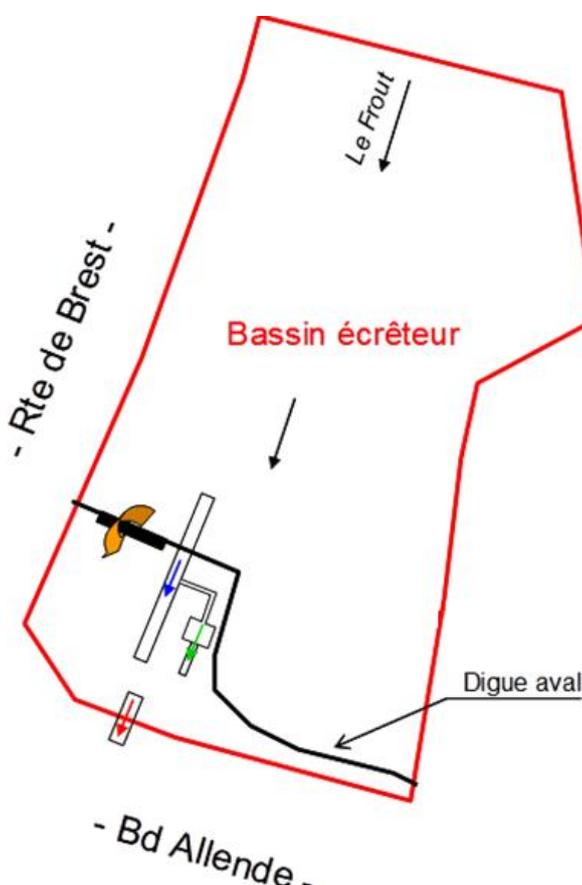


Fig. 27. Fonctionnement schématique du bassin

Dans cette configuration les résultats indiquent une mise en charge de la conduite du Bd Allende et de la retenue entraînant une surverse mais sans toutefois atteindre le niveau de la route (niveau atteint ~16.7 m IGN69 pour un niveau de chaussée ~20 m IGN69).

Au regard du niveau atteint, le risque de rupture du remblai routier n'a pas été considéré car la probabilité de rupture est faible. En effet, le niveau d'eau est bien plus faible que le niveau du remblai routier et l'ouvrage est une structure poids conçue pour résister à des forces importantes.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

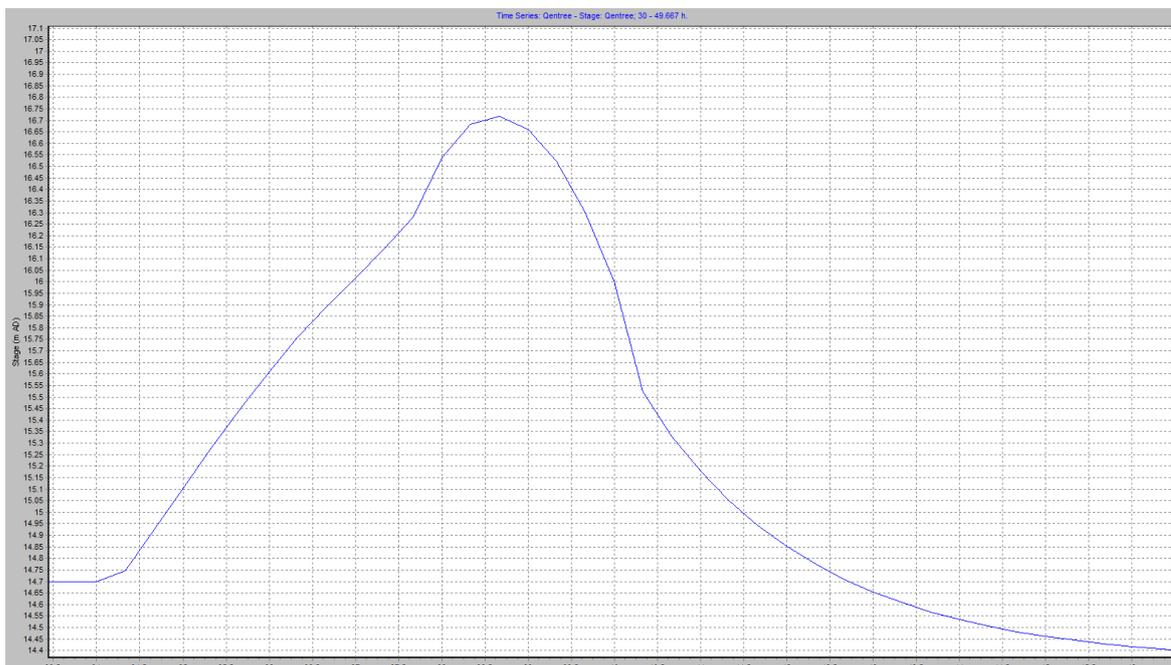


Fig. 28. Evolution du niveau d'eau dans la retenue

Le débit atteint dans la conduite est proche de $9\text{m}^3/\text{s}$ et l'écrêtement au sein de la retenue reste faible comme le montre la figure suivante.

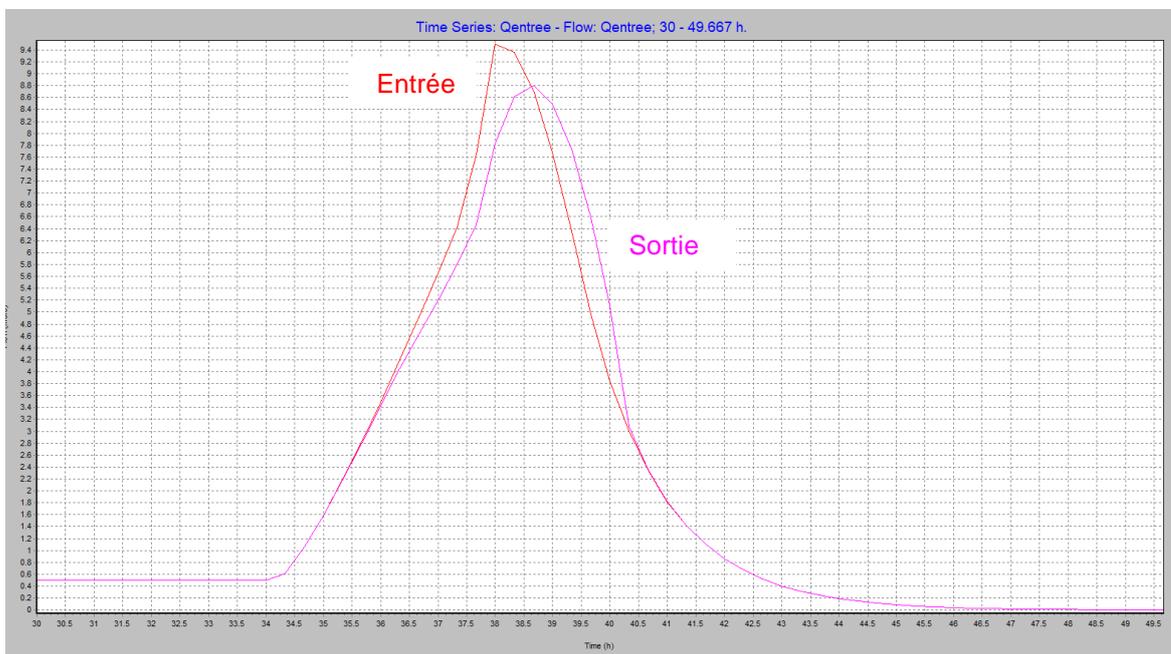


Fig. 29. Froot : comparaison des hydrogrammes d'entrée et de sortie de retenue

Pour l'événement centennal, le débit de $9.5\text{m}^3/\text{s}$ en entrée de modèle est donc retenu comme **débit de référence du Froot** à l'exutoire de la conduite sous le Bd Allende. La retenue est ainsi considérée comme transparente pour la crue centennale.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.4. ETUDE HYDROLOGIQUE SUR LES CONCOMITANCES

2.4.1. CONCOMITANCE DES CRUES DES AFFLUENTS (STEÏR, JET ET ODET)

Chaque rivière génère son propre hydrogramme en fonction du bassin versant et de la pluviométrie. Ainsi le pic de l'hydrogramme d'un cours d'eau peut arriver avant ou après le pic d'un autre cours d'eau. L'analyse de la concomitance est utile pour comprendre le fonctionnement hydraulique du bassin versant. C'est également nécessaire de connaître cet effet, lors de la simulation d'événement synthétique (crue centennale par exemple).

Lors des simulations de calage, il n'y aura pas lieu de faire ce type d'hypothèse. En effet, l'hydrogramme proviendra de la station hydrométrique.

Une analyse a été réalisée sur plusieurs crues importantes. Les données sont extraites de la Banque Hydro.

Tabl. 22 - Analyse de la concomitance sur plusieurs crues

Date des pics de crue			Différence (heure) entre le pic de l'Odét et le pic du Steïr	Différence (heure) entre le pic de l'Odét et le pic du Jet	Différence (heure) entre le pic su Steïr et le pic du Jet
Odét Tréodet J4211910	Steïr Ty-Planche J4313010	Jet Kerjean J4224010			
15/02/1974 09:32	Non Disponible	15/02/1974 07:13		2.3	
20/02/1977 11:55	20/02/1977 09:23	20/02/1977 08:28	2.5	3.4	0.9
12/02/1988 07:35	12/02/1988 03:56	12/02/1988 02:39	3.7	4.9	1.3
14/02/1990 21:08	14/02/1990 17:54	14/02/1990 19:43	3.2	1.4	-1.8
22/01/1995 05:45	22/01/1995 04:17	22/01/1995 05:12	1.5	0.6	-0.9
25/12/1999 11:14	25/12/1999 06:48	25/12/1999 04:00	4.4	7.2	2.8
28/12/1999 07:11	28/12/1999 00:56	28/12/1999 02:42	6.2	4.5	-1.8
13/12/2000 03:20	12/12/2000 22:45	12/12/2000 23:30	4.6	3.8	-0.8
16/12/2011 11:31	16/12/2011 10:09	16/12/2011 10:48	1.4	0.7	-0.6
24/12/2013 11:24	24/12/2013 08:18	24/12/2013 11:48	3.1	-0.4	-3.5
07/02/2014 03:15	07/02/2014 01:27	06/02/2014 22:00	1.8	5.3	3.5
07/01/2016 16:57	07/01/2016 12:00	07/01/2016 13:14	5.0	3.7	-1.2
18/01/2016 19:48	18/01/2016 15:48	18/01/2016 16:22	4.0	3.4	-0.6
Moyenne (heure)			3.4	3.1	-0.2

Le décalage moyen entre les pics de crue aux stations est de l'ordre de 3 heures entre l'Odét et le Steïr et entre l'Odét et le Jet. Le décalage moyen est négligeable entre le Jet et le Steïr entre les 2 stations.

Les conclusions sur le décalage des crues sont identiques à celles données dans le rapport du Sivalodet (Etudes scénarios d'aménagement de protection contre les crues du Steïr et de l'Odét, 2013), celui du TRI (Territoires à Risque d'Inondation de 2013) et enfin celui du PPRI de Bassin de l'Odét.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Il faut également prendre en compte l'aspect de la propagation entre les stations et les confluences. Ce temps de propagation a déjà été estimé par le SPC et est conforme aux valeurs données dans l'étude hydrologique pour le Sivalodet (2013) :

- Pic de crue du Jet de Kerjean à Kervir : 3h à 5h (moyenne de 4 h)
- Pic de crue du Steir de Ty-Planche à Moulin-Vert : 1h30 à 3h (moyenne de 2 h)
- Pic de crue de l'Odét de Tréodet à Kervir : 0h à 2h (moyenne de 1 h)

Ce rapport indique également les vitesses de propagation suivantes pour les différents cours d'eau :

- Odét à Kervir: 2.5 km/h
- Steir à Moulin Vert : 2.1 km/h

Sachant que la distance de Moulin Vert à la confluence avec l'Odét est de 1.5 km, il y a environ 1 heure de propagation. Sur l'Odét, la distance entre Kervir et la confluence avec le Steir est de 2 km, donc il y a aussi 1 heure de propagation.

En considérant les valeurs moyennes de propagation et le décalage aux stations hydrométriques, on aboutit ainsi en considérant l'heure de référence virtuelle de 12 :00 à Tréodet, les heures d'arrivée suivantes :

Tabl. 23 - Heures d'arrivée des pics de crue

Emplacement des pics de crue	Cours d'eau	Heure d'arrivée
Tréodet (Odét)	Odét	12 :00
Kervir (propagation de l'Odét)		13 :00
Confluence Odét/Steir (propagation de l'Odét)		14 :00
Kerjean (Jet)	Jet	09:00
Kervir (propagation du Jet)		13:00
Confluence Odét/Steir (propagation du Jet)		14 :00
Ty-Planche (Steir)	Steir	09:00
Moulin Vert (Propagation du Steir)		11:00
Confluence Odét/Steir (propagation du Steir)		12 :00

On remarque ainsi qu'au niveau de la confluence Jet/Odét, les deux pics de crue arrivent à la même heure à Kervir. De plus, au niveau de la confluence Steir/Odét, l'Odét arrive à 14:00 et le Steir arrive à 12:00, soit un décalage de 2 heures.

La durée caractéristique d'une crue est de l'ordre de 20h, comme il a été indiqué dans les rapports du SIVALODET et comme le montre la Fig. 17.

Sachant que la durée caractéristique d'une crue est de l'ordre de 20h, l'hypothèse d'une concomitance est réaliste et est donc utilisée pour cette étude lors de la simulation de l'événement de référence.

Dans la modélisation hydraulique, les hydrogrammes en entrée de modèle sont donc décalés afin d'être concomitants au niveau de la confluence (Steir/Odét).

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.4.2. CONCOMITANCE DES PERIODES DE RETOUR DES AFFLUENTS

De même que pour l'horloge des crues, une analyse de la concomitance des périodes de retour est importante pour connaître la réactivité du bassin versant mais aussi pour la simulation de l'événement de référence. Sachant que les bassins versants sont alimentés par une pluviométrie similaire, les périodes de retour devraient également être du même ordre de grandeur.

Le tableau suivant a été créé en se basant sur la période de retour correspondant à un événement majeur. Les données pour chaque événement sont extraites de la Banque Hydro.

Une corrélation logarithmique a été faite en se basant sur les débits caractéristiques de la Banque Hydro (analyse de Gumbel). Ainsi, pour chaque débit, une période de retour a été estimée.

De même, une analyse a été réalisée en considérant les débits caractéristiques finalisés définis dans le Tabl. 18 - (analyse pseudo Gradex).

Les débits caractéristiques fournis par la Banque Hydro sur le Jet n'ont pas été utilisés car les débits sont peu réalistes (chap. 2.3.4.1) Ainsi les débits caractéristiques lors de l'analyse sur le Jet en utilisant une année civile ont été utilisés.

Les débits caractéristiques suivants ont été utilisés pour l'analyse.

Tabl. 24 - Débits caractéristiques utilisés pour l'analyse de la concomitance

Période de retour (ans)	Méthode de Gumbel (méthode 1)			Méthode pseudo Gradex (méthode 2)		
	Odét Tréodet J4211910 (m ³ /s)	Jet Kerjean J4224010 (m ³ /s)	Steïr Ty-Planche J4313010 (m ³ /s)	Odét Tréodet J4211910 (m ³ /s)	Jet Kerjean J4224010 (m ³ /s)	Steïr Ty-Planche J4313010 (m ³ /s)
2	44	16.2	31	44	16	31
5	64	23.5	45	64	24	45
10	77	28.3	55	77	28	55
20	89	32.9	64	92	35	66
50	100	38.9	76	112	44	83
100	115	44.1	86	145	64	112

Le tableau suivant présente les périodes de retour correspondant à chaque débit avec le calcul réalisé avec les 2 méthodes :

- Méthode 1 : Analyse selon Gumbel (avec ajustement sur le Jet) ;
- Méthode 2 : Analyse basée sur une approche pseudo-Gradex.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Tabl. 25 - Périodes de retour pour plusieurs crues

Date	Odét à Tréodet, J4211910 (m ³ /s)			Steïr à Ty-Planche, J4313010 (m ³ /s)			Jet à Kerjean, J4224010 (m ³ /s)		
	Débit (m ³ /s)	Méthode 1 (années)	Méthode 2 (années)	Débit (m ³ /s)	Méthode 1 (années)	Méthode 2 (années)	Débit (m ³ /s)	Méthode 1 (années)	Méthode 2 (années)
15/02/1974*	87.1	24	19	65	22	21	35.5	29	26
20/02/1977	64.7	7	6	42.3	4	4	26.3	8	7
10/01/1982	55.2	4	3	32.9	2	2	14.7	2	2
12/02/1988	63.2	6	5	44.9	5	5	30.3	14	13
14/02/1990	71.5	10	8	49.7	7	7	22.4	5	4
22/01/1995	73	11	8	55.4	11	10	42.1	75	42
25/12/1999	56.5	4	4	33.6	2	2	16.2	2	2
28/12/1999	53.8	4	3	60.3	16	15	19.4	3	3
13/12/2000	108.0	77	43	95.0	190	68	46.0	131	64
01/01/2001	67.4	8	6	54.6	10	10	29.8	13	12
05/01/2001	82.0	18	14	54.0	10	9	39.0	48	34
24/01/2001	52.6	3	3	19.2	1	1	21.3	4	4
08/02/2001	46.7	2	2	45.6	5	5	13.5	1	1
22/03/2001	41.0	2	2	28	2	2	18.2	2	3
16/12/2011	89.0	26	21	43.0	4	4	22.0	4	4
24/12/2013	78.9	15	11	44.6	5	5	20.4	3	3
07/02/2014	83	19	15	68.8	19	19	27.0	9	8
07/01/2016	49.9	3	3	40.7	4	4	20.6	4	4
18/01/2016	33.6	1	1	41.9	4	4	22.9	5	5
20/01/2018	44.8	2	2	30.3	2	2	14.6	1	2

* : le débit du Steïr pour l'événement de 1974 (en jaune dans le tableau) n'étant pas disponible auprès de la Banque Hydro, il est extrait du rapport du PPR de 2004 sur Quimper.

L'analyse hydrologique a été réalisée à partir des données de la Banque Hydro en début d'année 2020. Les débits des événements de calage (13/12/2000, 05/01/2001, 16/12/2011 et 07/02/2014) sont restés identiques. En revanche une mise à jour a été faite sur les débits des autres événements car les données de la Banque Hydro ont évolué.

L'analyse n'a pas été réalisée sur la station de Kervir qui est une station virtuelle et où l'estimation du débit peut être approximative.

On remarque que la période de retour sur l'Odét à Tréodet, pour l'événement de 2000 est inférieure à la période de retour cinquantennale en utilisant la méthode 2. Or, il a été indiqué dans les études antérieures une période de retour comprise entre 50 et 100 ans. Ceci n'est pas incohérent car dans les études précédentes, la période de retour était estimée en aval de la confluence avec le Jet, qui a une période de retour supérieure à 50 ans.

Les figures suivantes présentent les corrélations entre deux stations en se basant sur les périodes de retour. L'analyse est réalisée sur la Méthode 2 car les extrapolations pour les débits élevés ne sont pas réalistes avec la Méthode 1.

Cette série de données est comparée à la droite représentant une corrélation parfaite ($y = x$).

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

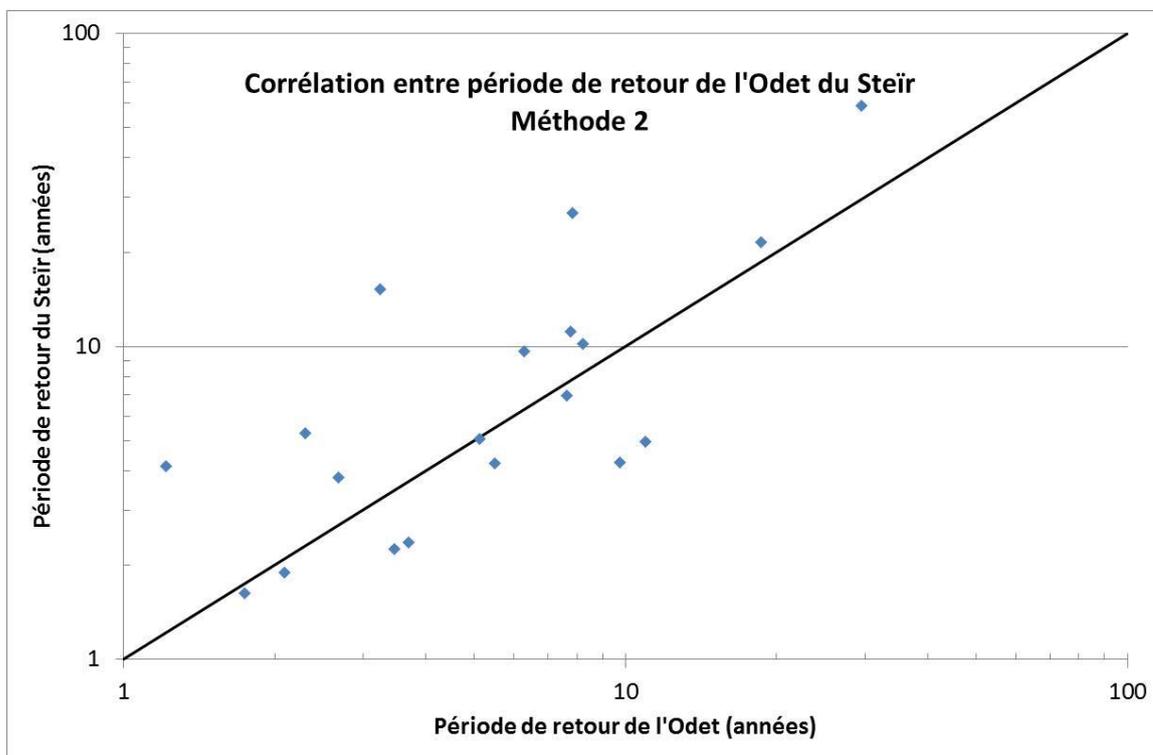


Fig. 30. Corrélation entre le log de la période de retour de l'Odet et du Steir

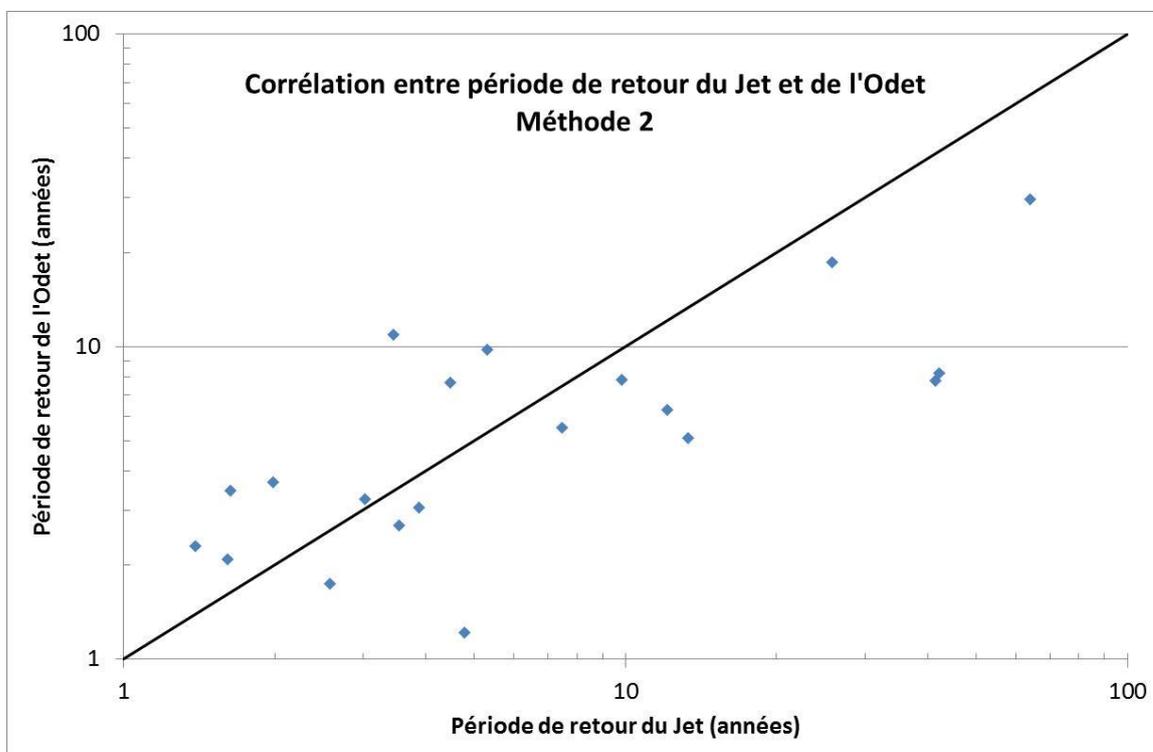


Fig. 31. Corrélation entre le log de la période de retour de l'Odet et du Jet

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

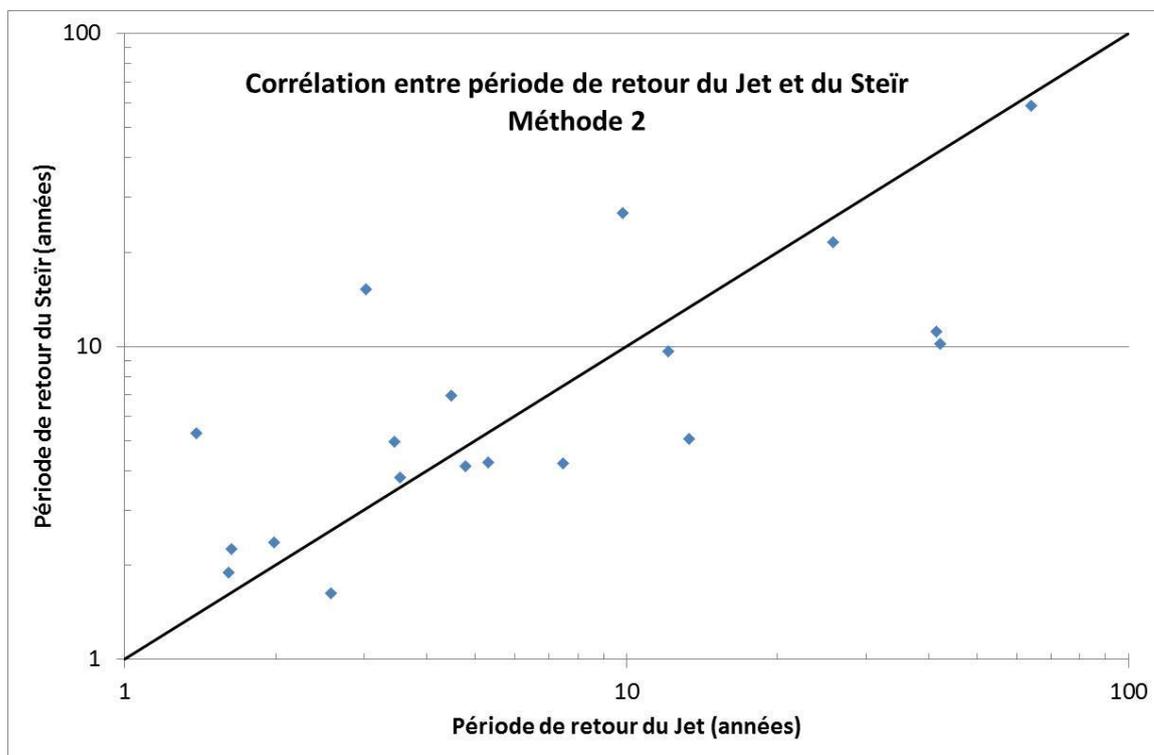


Fig. 32. Corrélation entre le log de la période de retour du Steir et du Jet

Les figures précédentes montrent qu'une corrélation est bien marquée entre les périodes de retour des différentes stations hydrométriques. En effet la droite idéale représentant une parfaite corrélation passe au centre des points.

On observe naturellement un certain éparpillement des points car la pluviométrie n'est pas parfaitement identique sur les 3 bassins versants. De plus, les chroniques n'ont pas les mêmes durées donc l'analyse statistique donne des résultats légèrement différents.

La tendance est cependant bien marquée sur la corrélation entre les événements. C'est en effet logique car les bassins versants sont proches et similaires.

Ainsi, dans l'analyse de l'événement de référence, les mêmes périodes de retour pour les affluents sont utilisées.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.5. NIVEAUX MARINS ET ESTUARIENS

2.5.1. GENERALITES

2.5.1.1. LE NIVEAU MOYEN DES OCEANS

Le niveau moyen des océans est aujourd'hui une donnée non figée, compte tenu de la prise en compte du réchauffement climatique.

Les valeurs ci-dessous indiquent suivant les scénarios plus ou moins optimistes, les hauteurs d'eau complémentaires envisagées. Elles sont issues des recommandations de la Direction Générale de l'Energie et du Climat (Ministère de la Transition Ecologique):

Tabl. 26 - Augmentation du niveau moyen des océans : hypothèses (source : Synthèse n°2 - 02/2010 - DGEC Service du climat et de l'efficacité énergétique / ONERC)

Hypothèse	2030	2050	2100
Optimiste	10 cm	17 cm	40 cm
Pessimiste	14 cm	25 cm	60 cm
Extrême	22 cm	41 cm	100 cm

Il est imposé dans le code de l'environnement (Article R562-11-3) de prendre en compte une hauteur supplémentaire pour l'événement de référence :

*L'élaboration d'un plan de prévention des risques concernant les aléas débordement de cours d'eau et submersion marine nécessite la détermination préalable d'un aléa de référence. Cet aléa de référence est déterminé à partir de l'évènement le plus important connu et documenté ou d'un évènement théorique de fréquence centennale, si ce dernier est plus important. Dans le cas de l'aléa de référence pour la submersion marine, **une hauteur supplémentaire, précisée par arrêté du ministre chargé de la prévention des risques majeurs, est intégrée afin de tenir compte de l'élévation du niveau moyen de la mer due aux conséquences à court terme du changement climatique.***

L'article 1 de l'arrêté du 5 juillet 2019 indique que la **hauteur supplémentaire à prendre en compte est 20 cm pour l'aléa de référence** (Annexe 2).

Il est également imposé dans le code de l'environnement (Article R562-11-5) de prendre en compte une hauteur supplémentaire pour l'événement à échéance 100 ans :

*S'agissant de la submersion marine, l'aléa à échéance 100 ans correspond à l'aléa de référence mentionné à l'article R. 562-11-3 auquel est ajoutée **une marge supplémentaire, précisée par arrêté du ministre chargé de la prévention des risques majeurs.** Cet aléa supplémentaire correspond à la prise en compte des impacts du changement climatique à échéance 100 ans. L'aléa à échéance 100 ans, est qualifié et représenté de manière cartographique selon les mêmes dispositions que celles prévues à l'article R. 562-11-4.*

L'article 4 de l'arrêté du 5 juillet 2019 indique que la **marge supplémentaire à prendre en compte est 40 cm pour l'aléa à échéance 100 ans** (Annexe 2). Ainsi pour représenter la hauteur supplémentaire à prendre en compte à échéance 100 ans, il faut considérer une valeur de 60 cm (= 20 +40).

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.5.1.2. MAREE IMPORTANTE

Les phénomènes de submersions marines sont, d'autre part, associés aux marées de vives eaux. Le tableau suivant indique les niveaux de marée à proximité de la zone d'étude :

Tabl. 27 - Références altimétriques maritimes des marées (SHOM 2012)

Marées		Niveau Cote Marine (CM)	Niveau (IGN69)
PHMA	Plus Haute Mer Astronomique (coefficient 120)	5.93	3.24
PMVE	Pleine Mer de Vive-Eau moyenne (coefficient 95)	5.30	2.61
PMME	Pleine Mer de Morte-Eau moyenne (coefficient 45)	4.15	1.46
NM	Niveau Moyen	3.21	0.52
BMME	Basse Mer de Morte-Eau moyenne (coefficient 45)	2.1	-0.59
BMVE	Basse Mer de Vive-Eau moyenne (coefficient 95)	1.00	-1.69
PBMA	Plus Basse Mer Astronomique (coefficient 120)	0.29	-2.40

N.B. : La cote en m IGN69 est obtenue en retranchant 2.69 m à la cote en m CM (source : SHOM - RAM 2016).

2.5.1.3. SURCOTE GENEREE PAR UNE TEMPETE

L'arrivée d'un important système dépressionnaire s'accompagne d'une élévation du niveau marin, selon trois processus principaux :

- la chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau ; une diminution d'un hectopascal équivaut approximativement à une élévation d'un centimètre de niveau marin,
- le vent exerce une contrainte à la surface de l'eau générant une modification du plan d'eau (surcote ou décote ou « wind set-up ») et des courants,
- à l'approche des côtes, les vagues créées par la tempête déferlent. Elles transfèrent alors leur énergie sur la colonne d'eau, ce qui provoque une surélévation moyenne du niveau de la mer (surcote liée aux vagues ou "wave setup"), pouvant s'élever à plusieurs dizaines de centimètres.

On appelle « **surcote atmosphérique** » l'élévation du niveau de la mer causée par les deux premiers mécanismes. Le niveau moyen de la mer lors d'une tempête résulte de l'ensemble de ces contributions avec celles de la marée. Pour obtenir le niveau maximal atteint par la mer, il faut aussi tenir compte du jet de rive (« swash »), c'est à dire le flux et le reflux des vagues. On appelle " Run-up" l'altitude maximale atteinte.

Toutefois les deux derniers phénomènes, même s'ils ne sont pas négligeables, sont des phénomènes très locaux pour lesquels les surcotes associées sont très variables selon la position le long du littoral considéré. En effet les différentes morphologies du littoral (presqu'île, anse, baie) vont être plus ou moins sensibles à l'impact du vent et par conséquent à la création de vagues.

Ces mécanismes sont illustrés sur le schéma suivant.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

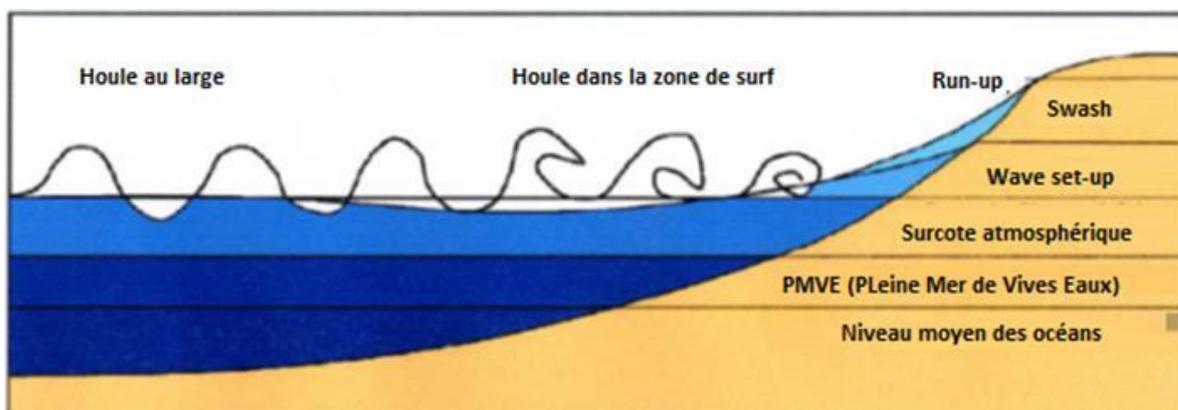


Fig. 33. Illustration des principaux mécanismes à l'origine de l'élévation du niveau marin dans le cas d'une tempête (Pedreros et al., 2010)

2.5.2. NIVEAUX MARINS STATIQUES

2.5.2.1. SHOM : OCCURRENCE DES NIVEAUX STATISTIQUES EXTREMES DE PLEINE MER

Source : Statistiques des niveaux marins extrêmes des côtes de France (Manche et Atlantique) - SHOM 2012

Le SHOM calcule, d'après les données des marégraphes, l'occurrence des niveaux extrêmes de pleine mer. Ces niveaux tiennent compte des phénomènes expliqués précédemment à savoir du niveau moyen de l'océan associé à la marée et d'éventuelles surcotes atmosphériques.

Le tableau suivant indique les niveaux extrêmes de pleine mer pour différentes occurrences :

Tabl. 28 - Niveaux extrêmes de pleine mer à Bénodet

Concarneau	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Niveau en m IGN69 (SHOM 2008)	3.35	3.45	3.55	3.60
Niveau en m IGN69 (SHOM 2012)	3.40	3.40	3.50	3.60

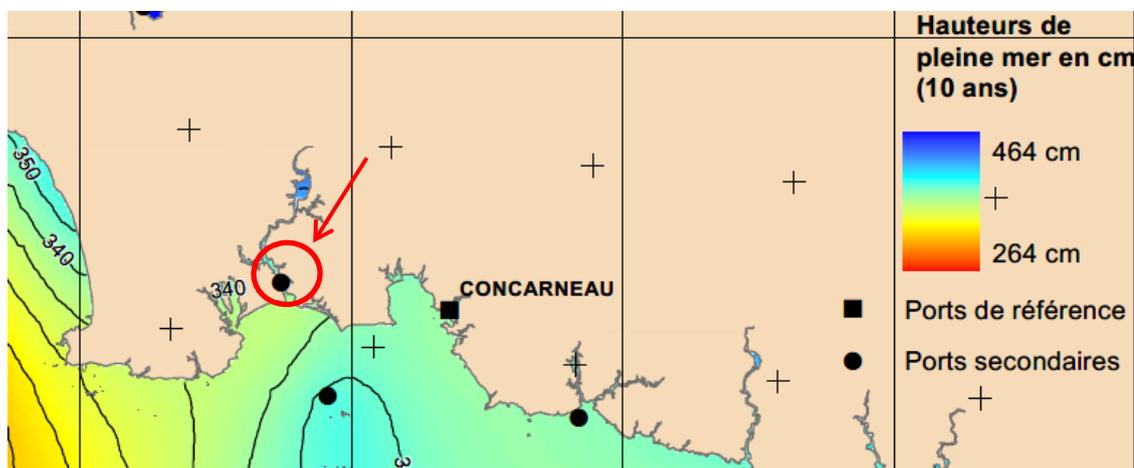


Fig. 34. Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 10 ans (SHOM 2012)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

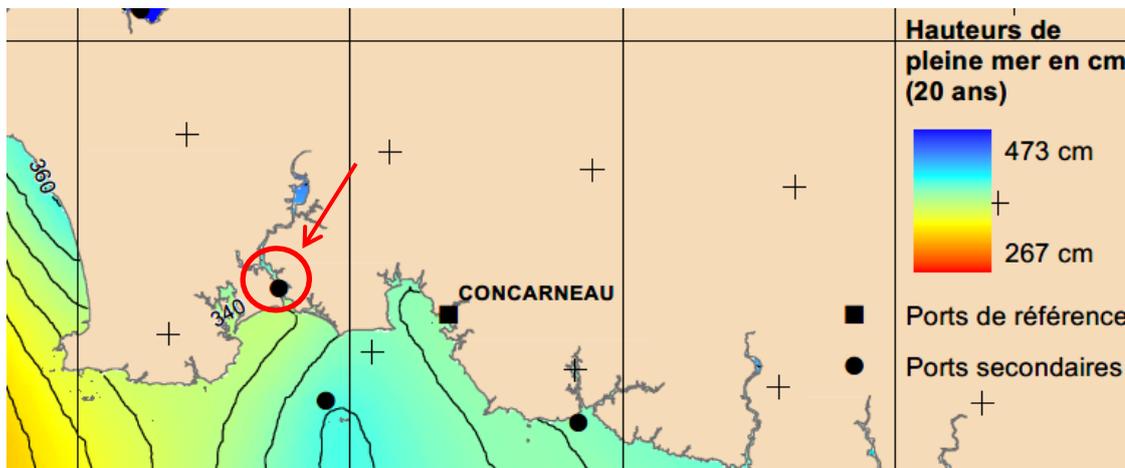


Fig. 35. Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 20 ans (SHOM 2012)

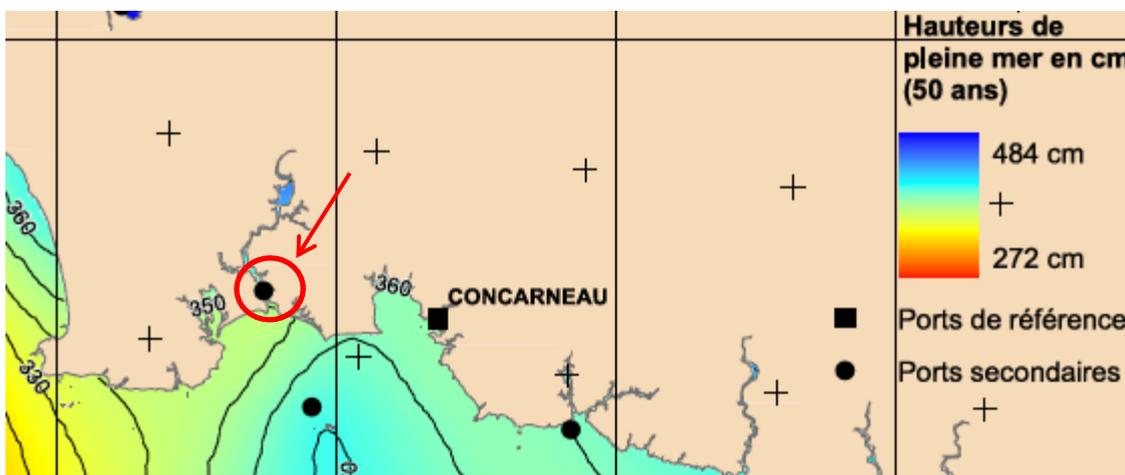


Fig. 36. Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 50 ans (SHOM 2012)

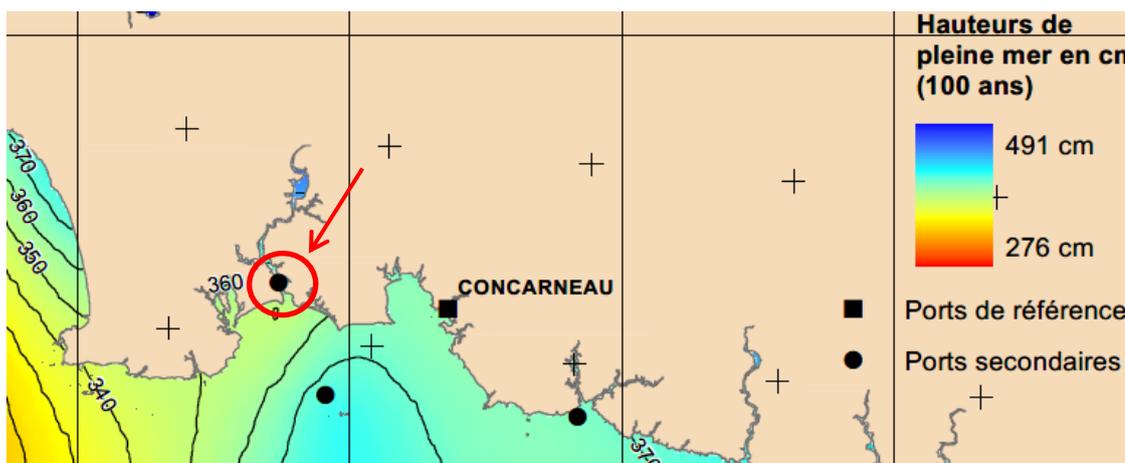


Fig. 37. Niveaux extrêmes de pleine mer de période de retour 100 ans (SHOM 2012)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.5.2.2. NIVEAUX MARINS STATIQUES RETENUS

Les niveaux marins statiques retenus au sein du présent document sont les suivants :

- **Niveau de pleine mer de coefficient 95** : 2.82 mIGN69 (pour les événements d'influence fluviale, voir § 2.6)

Remarque : ce niveau a été arrêté après consultation de chroniques récentes de marées de 95 sur le site web « maree.info ». Il est plus important que le niveau PMVE donné par le SHOM.

- **Niveau de pleine mer centennal** : 3.78 mIGN69 (pour les événements d'influence maritime, voir § 2.6)

Remarque : ce niveau est issu du document suivant : rapport PPR-I « Est Odét » de juillet 2016 – cartes des cotes d'eau. Il est plus élevé que le niveau centennal donné par le SHOM. En effet, il prend en compte les effets locaux. Les niveaux du SHOM sont issus d'une méthode statistique s'appuyant sur l'estimation des distributions statistiques des surcotes à partir de séries d'observations disponibles. Dans le cas du PPRL, aux niveaux marins sont ajoutés les hauteurs de setup ainsi que les incertitudes (incertitudes sur les données, réchauffement climatique, etc...).

2.5.3. SURELEVATION DU NIVEAU STATIQUE

Plusieurs phénomènes peuvent être considérés pour évaluer la surélévation à prendre en compte au niveau statique :

- Effet de houle
- Effet de fetch
- Effet d'estuaire hyper synchrone

2.5.3.1. HOULE ET DEFERLEMENT

Généralités

La houle se caractérise par un système de vagues et résulte notamment de leur propagation sur un secteur donné.

La houle arrivant en zone côtière va devoir dissiper son énergie accumulée au large.

Une partie de cette dernière va être dissipée progressivement par frottement sur les fonds associés aux efforts tangentiels qui se produisent dans la couche limite située près des fonds.

Toutefois le principal mécanisme de dissipation de l'énergie des vagues réside dans le déferlement. Ce mécanisme est contrôlé par la profondeur et la morphologie de la côte (pente...). Dès lors que le profil de l'onde cesse d'être stable alors la vague déferle donnant lieu à une forte dissipation d'énergie sous forme de turbulence.

Ainsi en entrée de l'estuaire, une surélévation locale peut apparaître.

2.5.3.2. EFFETS DE FETCH AU SEIN DE L'ESTUAIRE

Définition : sur un plan d'eau, le fetch est la distance sur laquelle le vent peut souffler sans rencontrer d'obstacle. Les distances maximales de fetch le long de l'estuaire de l'Odét avoisinent 3000 m comme le montre la Fig. 38.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT



Fig. 38. Distances maximales de fetch le long de l'estuaire de l'Odet

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Ce phénomène a pour conséquence la formation de vagues dont la hauteur peut être appréhendée à l'aide de la méthode simplifiée de « Sverdrup-Mink-Bretschneider » (1973) :

$$K_1 = \tanh \left[0.578 \left(\frac{gh}{U_{10}^2} \right)^{\frac{3}{4}} \right] \quad \frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0.283 K_1 \tanh \left[\frac{0.0125}{K_1} \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{0.42} \right]$$

Avec :

- H_s : hauteur des vagues (du creux à la crête de la vague soit 2X la hauteur effective au-dessus du niveau statique) ;
- U : vitesse du vent
- F : longueur du fetch
- H : profondeur d'eau

Cet effet est transitoire et fonction des directions de vent.

2.5.3.3. ESTUAIRE HYPER SYNCHRONE

Enfin, il est également possible de considérer une surélévation qui serait causée par un estuaire hyper synchrone. L'onde de marée se trouve amplifiée au cours de sa progression dans l'estuaire puis décroît dans sa partie amont.

2.5.3.4. CONCLUSIONS

Trois facteurs (houle, fetch, estuaire hyper synchrone) peuvent ainsi causer une surélévation du niveau d'eau. Ces 3 facteurs peuvent interagir ensemble ou être complètement dissociés. Le choix a été fait de considérer ces 3 facteurs ensemble (Fig. 11).

Ainsi, la différence de niveau d'eau entre l'amont et l'aval a été mesurée ce qui permet de définir cette surélévation globale à prendre en compte. L'analyse réalisée dans le chapitre 2.2.3.2 indique une valeur de 25 cm en moyenne observée entre Bénodet et Le Corniguel.

La surélévation prise en compte pour la modélisation en entrée d'estuaire est donc de 25 cm.

2.6. MODELISATION HYDRAULIQUE

2.6.1. LOGICIEL HEC-RAS

Le logiciel HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), développé au Hydrologic Engineering Center du US Army Corps of Engineers, est un outil conçu pour réaliser des calculs hydrauliques unidimensionnels (1D) et bidimensionnels (2D) pour des réseaux complexes de cours d'eau naturels et de canaux. Ce logiciel dispose notamment d'un module relativement complet, ce qui permet de représenter précisément la quasi-totalité des ouvrages pouvant être rencontrés en rivière.

HEC-RAS fonctionne sous Windows et bénéficie donc des avantages de cet environnement.

2.6.2. CONSTRUCTION DU MODELE HYDRAULIQUE

2.6.2.1. MODELISATION UNIDIMENSIONNELLE (1D)

2.6.2.1.1. STRUCTURE DU MODELE 1D

Le modèle 1D permet de modéliser les écoulements au sein des cours d'eau, écoulement ne transitant que dans une seule direction (de l'amont vers l'aval).

Pour ce faire, les profils en travers disponibles levés en lit mineur sont intégrés dans le modèle hydraulique.

De même les différents ouvrages hydrauliques sont représentés (ponts, seuils, canalisations souterraines...). Au droit de chacun d'entre eux, un profil en travers est intégré. Pour rappel les caractéristiques des ouvrages sont présentées en annexe 4 du rapport de phase 1.

Le modèle 1D intègre plus de 300 profils en travers (hors profils interpolés) et 50 ouvrages en lit mineur :

- Odet : ~200 profils en travers et 22 ouvrages ;
- Steir : ~110 profils en travers et 21 ouvrages ;
- Jet : ~20 profils en travers et 1 ouvrages ;
- Froust : ~10 profils en travers et 7 ouvrages

2.6.2.1.2. CONDITIONS AUX LIMITES AMONT : DEBITS

Les conditions aux limites amont sont définies par les injections de débits pour chacun des bassins versants selon les scénarios suivants :

- Evénements fluviaux : hydrogrammes des débits centennaux ;
- Evénements maritimes : hydrogrammes des débits biennaux.

Ces hypothèses sont détaillées au sein des paragraphes 2.2 et 2.7.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.2.1.3. CONDITION A LA LIMITE AVAL : NIVEAU MARITIME

Selon les événements modélisés le niveau maritime statique retenu est (§ 2.5.2.2):

- Événements fluviaux : niveau de pleine mer de coefficient 95 (NM Coef95).
- Événements maritimes : niveau marin centennal (NM 100).

Prise en compte du rehaussement du niveau marin.

Deux types de rehaussement du niveau marin sont pris en compte :

- Le rehaussement lié aux effets du réchauffement climatique :
 - Scénario de référence : niveau de référence **+20 cm** ;
 - Scénario à échéance 2100 : niveau de référence **+60 cm** (hypothèse pessimiste) ;
- Le rehaussement lié aux effets maritimes et estuariens :
 - la surcote liée à la houle, au fetch et à l'effet d'estuaire hypersynchrone: **+25 cm** (voir §2.5.3);
 - la surcote liée aux incertitudes : en l'absence de données spécifiques et conformément aux prescriptions du guide méthodologique des Plans de Prévention des Risques Littoraux (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Direction Générale de la Prévention des Risques, Service des Risques Naturels et Hydrauliques - Edition mai 2014), cette surcote est prise égale à **+20 cm**. Elle est légèrement plus faible que celle donnée dans le guide (25 cm) car il y a une analyse plus précise du niveau et donc une incertitude plus faible. L'incertitude est réduite car le niveau a déjà fait l'objet d'une étude fine lors du PPRL du Finistère (2016).

Ainsi les niveaux maximums imposés en aval du modèle (Bénodet) sont les suivants :

- Événements fluviaux :
Niveau Marin Coef 95 + réchauffement climatique + surélévation estuarienne + incertitudes
⇒ Scénario de référence : $2.82 + 0.20 + 0.25 + 0.20 = 3.47 \text{ mIGN69}$
⇒ Scénario à échéance 2100 : $2.82 + 0.60 + 0.25 + 0.20 = 3.87 \text{ mIGN69}$
- Événements maritimes :
Niveau Marin centennal + réchauffement climatique + surélévation estuarienne + incertitudes
⇒ Scénario de référence : $3.78 + 0.20 + 0.25 + 0.20 = 4.43 \text{ mIGN69}$
⇒ Scénario à échéance 2100 : $3.78 + 0.60 + 0.25 + 0.20 = 4.83 \text{ mIGN69}$

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.2.2. MODELISATION BIDIMENSIONNELLE (2D)

La modélisation bidimensionnelle est utilisée en lit majeur au droit des principales zones à enjeux et zones d'expansion. Les écoulements au sein des « casiers 2D » peuvent y suivre des directions différentes selon la topographie et la rugosité rencontrée.

Les emprises de modélisation 2D sont les suivantes :

- Odet : lit majeur depuis la station de Tréodet jusqu'à l'aval du Halage ;
- Jet : lit majeur depuis la N165 jusqu'à la confluence avec l'Odet ;
- Steïr : lit majeur depuis l'extrémité sud-est de Guengat (amont du moulin de Troheïr) jusqu'à la confluence avec l'Odet ;
- Frouit : depuis le Boulevard du Président Allende jusqu'à la confluence avec l'Odet.

2.6.2.2.1. TOPOGRAPHIE ET MAILLAGE DU TERRAIN NATUREL

Les modèles 2D nécessitent une bonne connaissance de la topographie du secteur à représenter.

Les données LIDAR permettent la réalisation d'un Modèle Numérique de Terrain sur l'ensemble des zones à enjeux et zones d'expansion avec un maillage fin.

Le maillage correspond à un « découpage » du terrain naturel en cellules dans chacune desquelles un calcul de hauteur et de vitesse est réalisé.

La taille de ces cellules est adaptée en fonction des enjeux en présence :

- Maillage 3m x 3m pour les principales zones à enjeux : partie urbaine de Quimper
Cette taille permet de tenir compte des axes d'écoulements étroits (quartiers urbains) pour notamment représenter les écoulements complexes entre les bâtiments tout en gardant des temps de calcul réalistes.
- Maillage 10m x 10m sur les zones à enjeux moins denses : Jet et Steïr en amont de la voie ferrée au Moulin Vert.

2.6.2.2.2. RUGOSITE

A cette topographie, une couche de rugosité est ajoutée.

Cette couche permet de délimiter les zones à faible rugosité comme les routes, parkings (etc.), des zones à forte rugosité (bâtiments, etc.).

Pour représenter les bâtiments dans le lit majeur dans un modèle hydraulique, deux méthodes sont possibles :

- Représenter en relief les bâtiments sur le MNT (élévation locale de la topographie),
- Les représenter « virtuellement » par une rugosité plus élevée que le reste du MNT.

La deuxième méthode est retenue car elle permet d'intégrer le fait que les bâtiments font transiter de faibles débits et ainsi elle permet d'intégrer le volume stocké au niveau des bâtiments.

Les rugosités suivantes sont appliquées sur la base des données d'occupation des sols (Corine Land Cover) et du cadastre, elles sont représentées ci-après via le coefficient k de Manning.

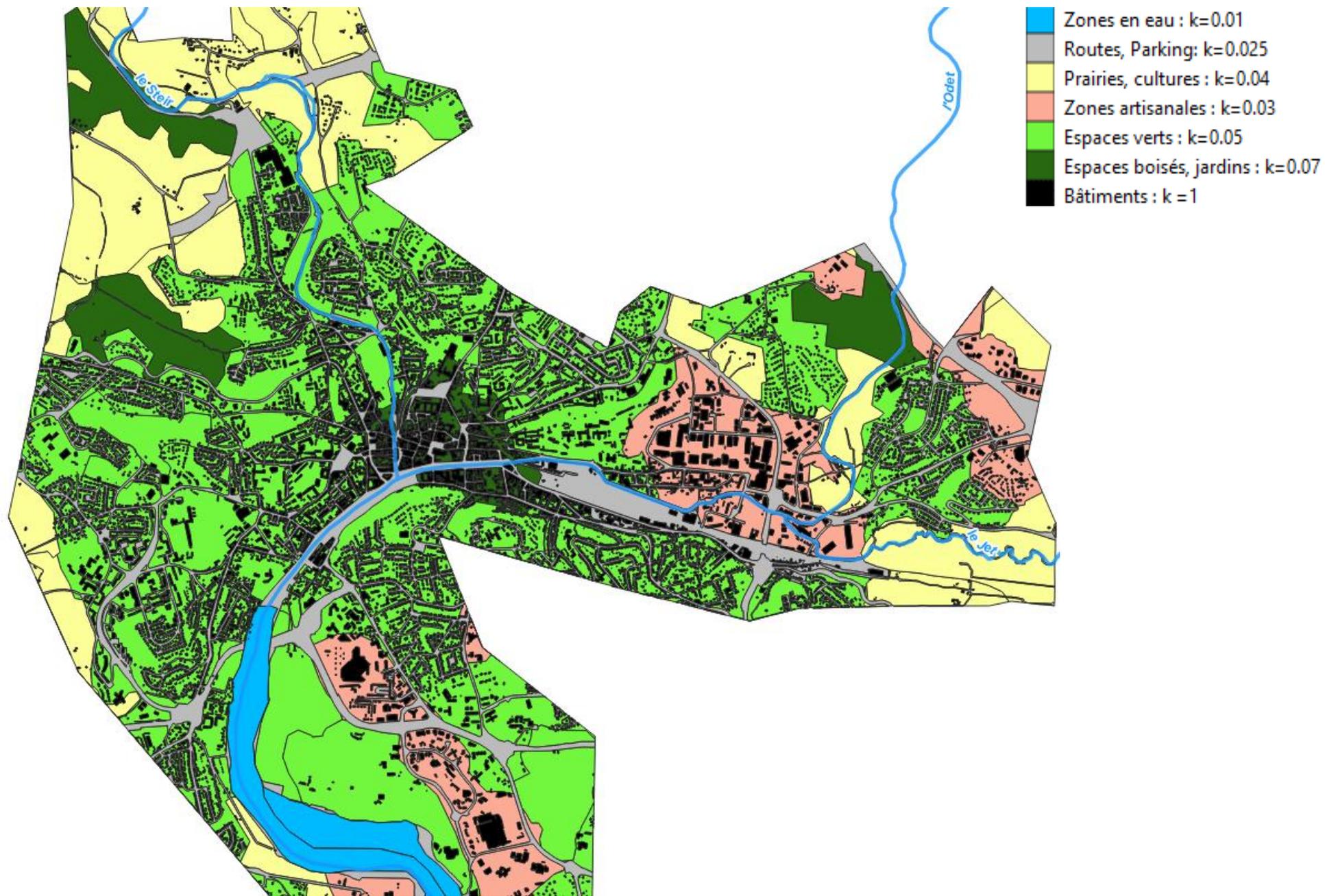


Fig. 39. Rugosité appliquée au lit majeur (modèle 2D)

2.6.2.3. LIENS 1D/2D

Le modèle est entièrement couplé, ainsi cotes et débits des parties 1D et 2D interagissent à chaque pas de temps.

Les débordements du lit mineur sont intégrés dans le lit majeur via les liens 1D/2D qui suivent la ligne de crête des berges afin de garantir une bonne représentativité des débordements.

Dans le cas présent, les liens tiennent notamment compte :

- Des digues de l'Hippodrome ;
- Des digues du Halage ;
- Des murets notamment en rive droite du Frouit.

Les liens ont été construits sur la base de :

- au droit des ouvrages en berges (digues...) : levés topographiques terrestres ;
- autres : données LIDAR.

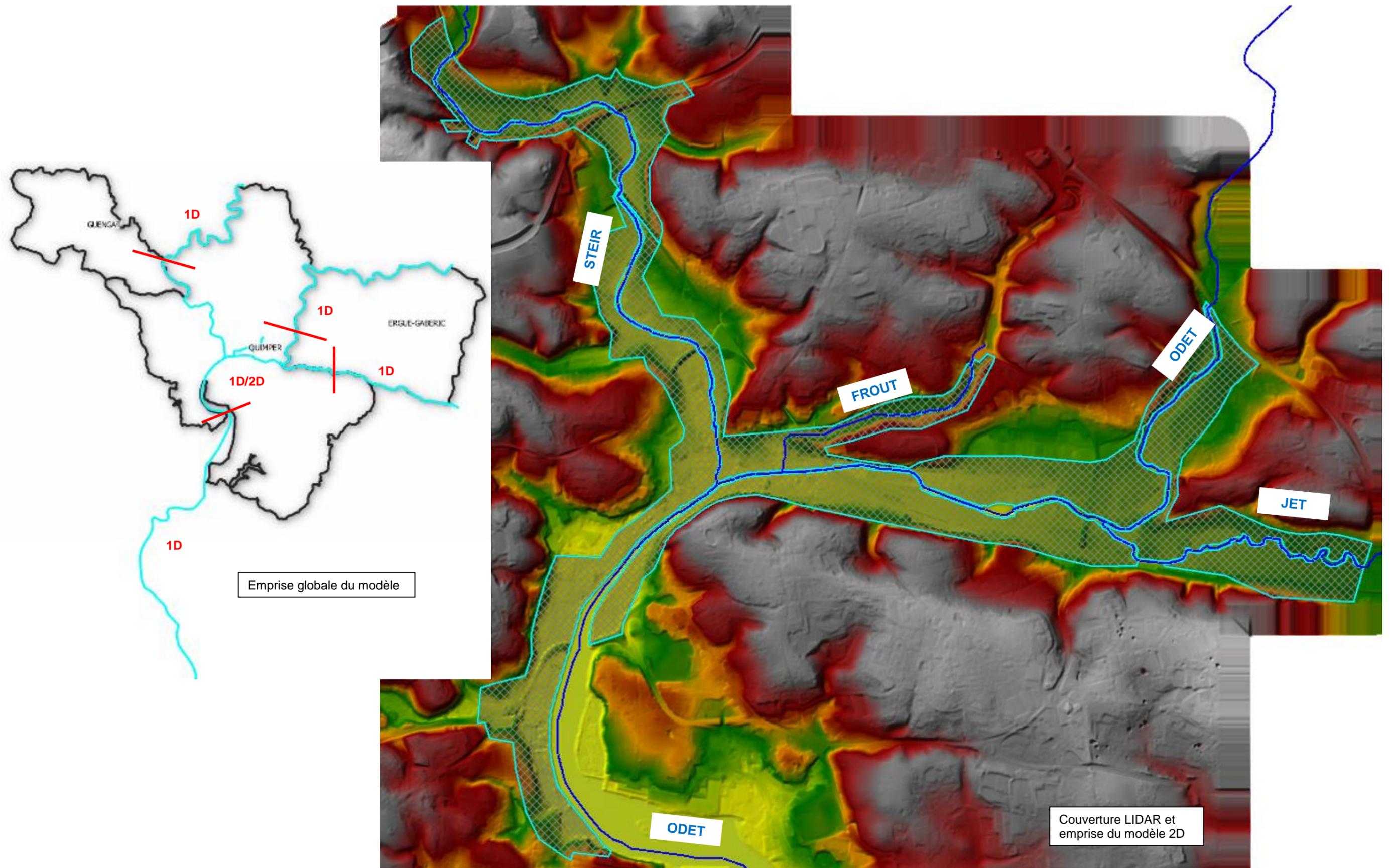


Fig. 40. Emprise du modèle et zoom sur la partie 2D

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.3. CALAGE DU MODELE

Afin de valider la qualité d'un modèle, un processus de calage doit être effectué.

Cette étape vise à reproduire un événement observé à l'aide du modèle hydraulique afin d'ajuster certains paramètres numériques (rugosité, coefficient de perte de charge,...).

Dans un premier temps, un résumé des travaux effectués sur Quimper est présenté afin de comprendre si ceux-ci peuvent avoir un impact sur la ligne d'eau à Quimper.

2.6.3.1. TRAVAUX REALISES SUR QUIMPER

a) DIGUE DE L'HIPPODROME

La réalisation des travaux d'endiguement sur le secteur de l'Hippodrome s'est faite sur 12 ans, entre les années 1996 et 2007. L'évolution historique de la digue de l'Hippodrome est cartographiée sur l'image ci-dessous.

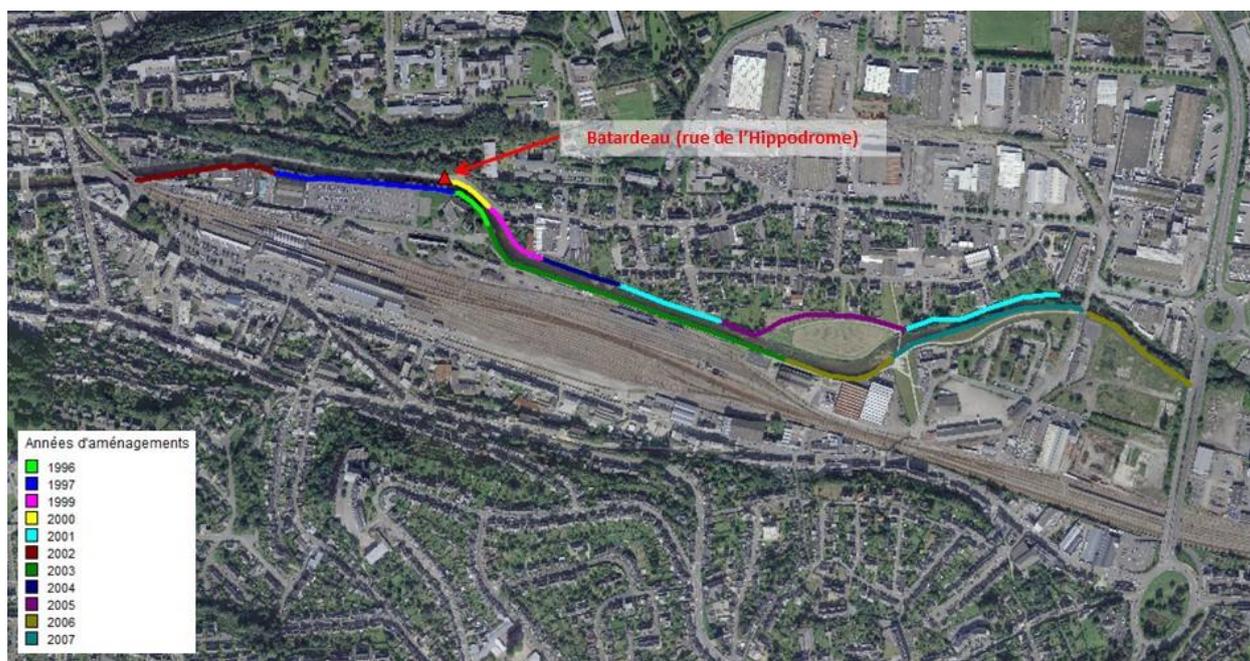


Fig. 41. Années d'aménagement des digues de l'Hippodrome (source : EDD de la digue de l'Hippodrome, 2015)

Les caractéristiques des événements survenus depuis 1996 au regard de l'endiguement sur le secteur de l'Hippodrome sont résumées dans le Tabl. 29 - :

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Tabl. 29 - Caractéristiques des événements survenus depuis 1996 au regard de l'endiguement de l'Hippodrome (source : EDD de la digue de l'Hippodrome)

Evènement	Débit Q / Marée M (au moment du pic)	Débordements sur le secteur de l'Hippodrome	Travaux d'endiguement (tronçons non construits ou en cours)	Dommages constatés – Secteurs touchés
Décembre 2000	Q ≈ 150 m ³ /s M = 1.28 m IGN69	OUI	1 à 4 RG – 7 RG et 1 à 5 RD	Voir enveloppe d'inondation ci-après
Janvier 2001	Q ≈ 100 m ³ /s M = 1.81 m IGN69	OUI	1 à 4 RG – 7 RG et 1 à 5 RD	Voir enveloppe d'inondation ci-après
Décembre 2006	Q ≈ 75 m ³ /s M = 2.53 m IGN69	OUI	1 RG et 2 RG	Rue de l'Hippodrome
Mars 2008	Q ≈ 15 m ³ /s M = 3.82 m IGN69	NON	/	Aucun
Décembre 2011	Q ≈ 100 m ³ /s M = 0.87 m IGN69	OUI	/	Rue de l'Hippodrome

Les enveloppes des crues de décembre 2000 et janvier 2001 sont représentées sur les cartes ci-dessous :

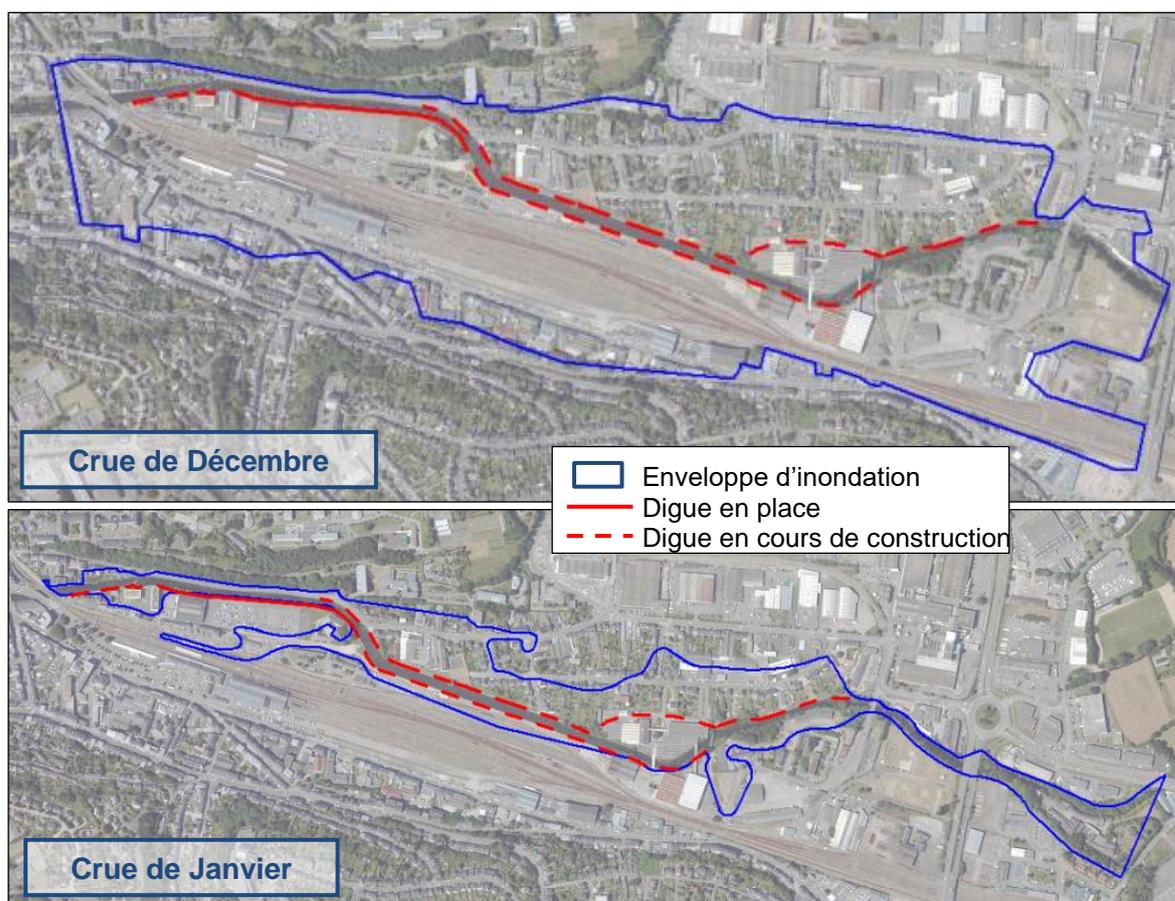


Fig. 42. Enveloppe d'inondation au niveau de la digue de l'Hippodrome en décembre 2000 et janvier 2001 (source : EDD de la digue de l'Hippodrome)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Les tronçons de digue nommés de 1 à 7 RG et de 1 à 5 RD sont localisés sur la carte suivante :

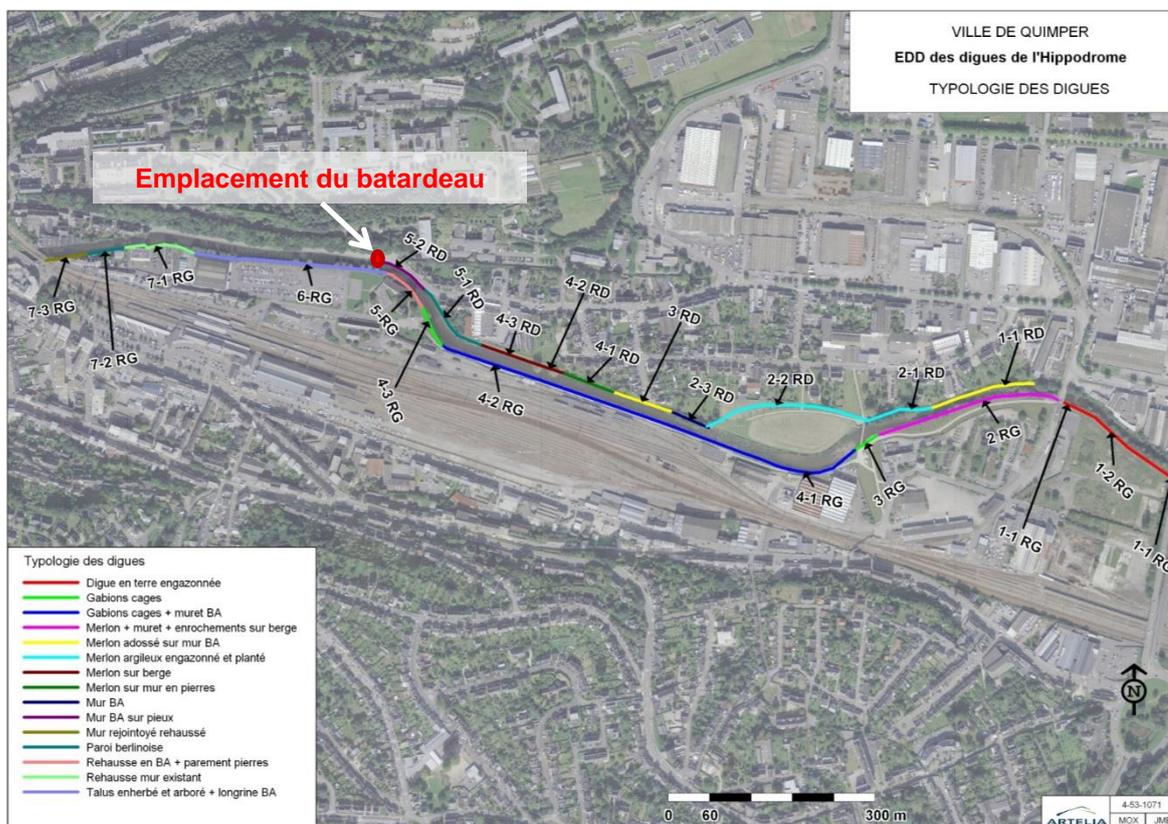


Fig. 43. Description des sections techniquement homogènes de la digue de l'Hippodrome (source : EDD de la digue de l'Hippodrome)

b) DIGUE DU HALAGE

Cet ouvrage ancien a été construit dans le but de soutenir le chemin de halage le long de la rivière entre le centre-ville de Quimper et le Corniguel. Protégeant à l'origine le chemin contre les effets du clapot et du batillage ainsi que des courants locaux en périodes de crues, cette digue protège aujourd'hui les constructions situées dans la zone protégée contre les débordements de l'Odét. Les débordements peuvent être provoqués par un niveau marin élevé couplé ou non à une crue fluviale. Des bassins situés en arrière de la digue ont été construits pour « tamponner » les arrivées d'eaux pluviales pendant les marées hautes lorsqu'aucune évacuation gravitaire n'est possible. Des canalisations traversent la digue pour permettre l'évacuation des bassins vers l'Odét.

Les terrains sous la digue du Halage sont peu compacts. L'ouvrage a bénéficié de travaux de confortement réalisés entre 2004 et 2006.

Parmi les événements survenus sur le site, la tempête Xynthia de février 2010 et la tempête du 10 mars 2008 ont été particulièrement marquantes. La tempête de 2008 a occasionné des débordements locaux au droit du chemin de Halage, n'entraînant à priori aucun dommage.

Le niveau de protection de la digue du Halage a été fixé à 4,10 m IGN69 à l'époque de sa construction. Ce niveau de « projet » fait l'objet d'une révision dans l'EDD de la digue du Halage (étude en cours).

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

c) AUTRES (PASSERELLE DORNIC, RETRECISSEMENT DU LIT)

D'autres travaux ont également eu lieu sur le secteur depuis l'événement de 2000.

- La suppression et le remplacement de la passerelle Dornic,
- La suppression de l'usine d'Armor-Lux en rive droite :
- L'élargissement du lit mineur au droit des terrains SNCF



Fig. 44. Comparaison de l'état entre 2005 (à droite) et 2018 (à gauche)

Le rapport d'EGIS pour le Sivalodet (Synthèse du Fonctionnement hydraulique, 2013) indique que les travaux ont été réalisés avant 2000. En revanche, la photographie aérienne montre qu'en 2005, les travaux n'avaient pas été réalisés.

2.6.3.2. CONDITIONS DE CALAGE

2.6.3.2.1. EVENEMENTS HISTORIQUES

Les événements suivants sont retenus pour le calage du modèle :

- Décembre 2000 (événement d'occurrence $T > 50$ ans) ;
- Janvier 2001 (événement d'occurrence $T \sim 10$ ans) ;
- Décembre 2011 (événement d'occurrence $T \sim 5$ à 10 ans, non débordant) ;
- Février 2014 (événement d'occurrence $T > 20$ ans, débordant sur le Steir).

Le choix a été fait de caler sur 4 événements ce qui correspond à un nombre élevé d'événements pour un calage. Les 2 premiers événements correspondent à une période antérieure et concomitante avec certains travaux sur Quimper et les 2 derniers événements ont été choisis car ils correspondent à une période postérieure aux travaux.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Précisons également que le modèle a été construit en situation actuelle et ne correspond donc pas à l'état en 2000 et 2001. En effet, les données disponibles pour représenter ces états n'étaient pas suffisantes et de bonnes qualités.

2.6.3.2.2. HYDROGRAMMES DE CRUE

Les débits de crue pour les événements de calage sont les suivants :

Tabl. 30 - Débits de crue pour les événements de calage

Débits (m ³ /s)	Steir (Ty Planche) (m ³ /s)	Odét (Tréodet) (m ³ /s)	Jet (Kerjean) (m ³ /s)	Frouit** (m ³ /s)
Décembre 2000*	95	109	46	2.5
Janvier 2001	54	82	39	0.5
Décembre 2011	43	89	22	0.5
Février 2014	63	83	27	0.5

* voir paragraphe 2.2.2

** le débit du Frouit est considéré comme suit :

- Évènement de 2000 : 2.5m³/s soit la capacité de vidange après surverse du bassin de la rue de Brest ;
- Autres évènements : 0.5m³/s soit le débit de fuite du bassin avant surverse.

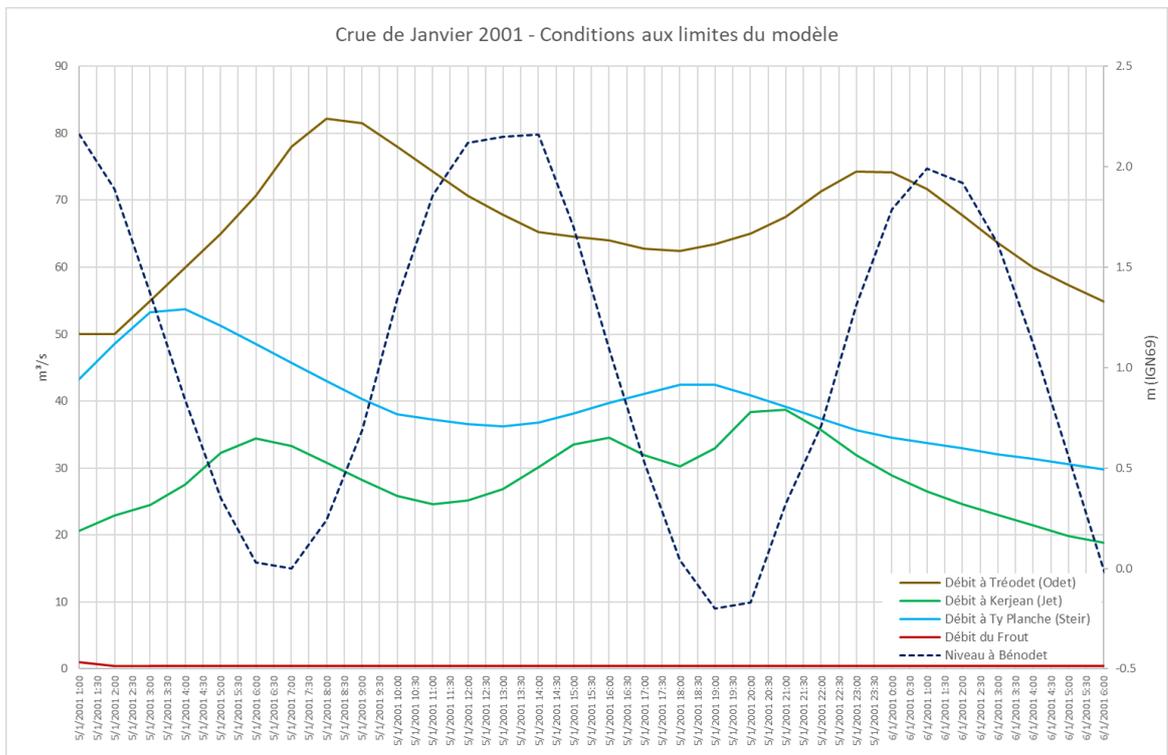
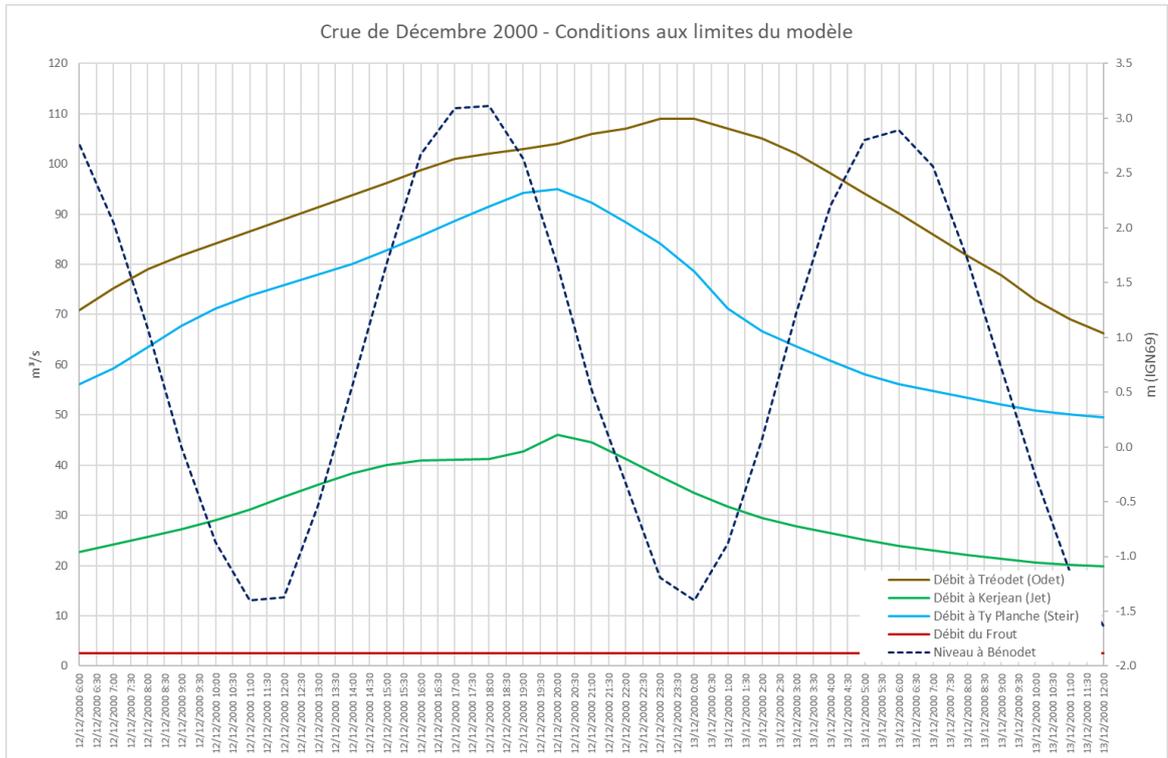
Notons que l'horloge des injections de débits en amont du modèle est calée de façon à obtenir aux stations les hydrogrammes réellement enregistrés.

Les conditions aux limites du modèle (débit en amont et hauteur d'eau en aval) sont illustrées ci-après.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT



Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

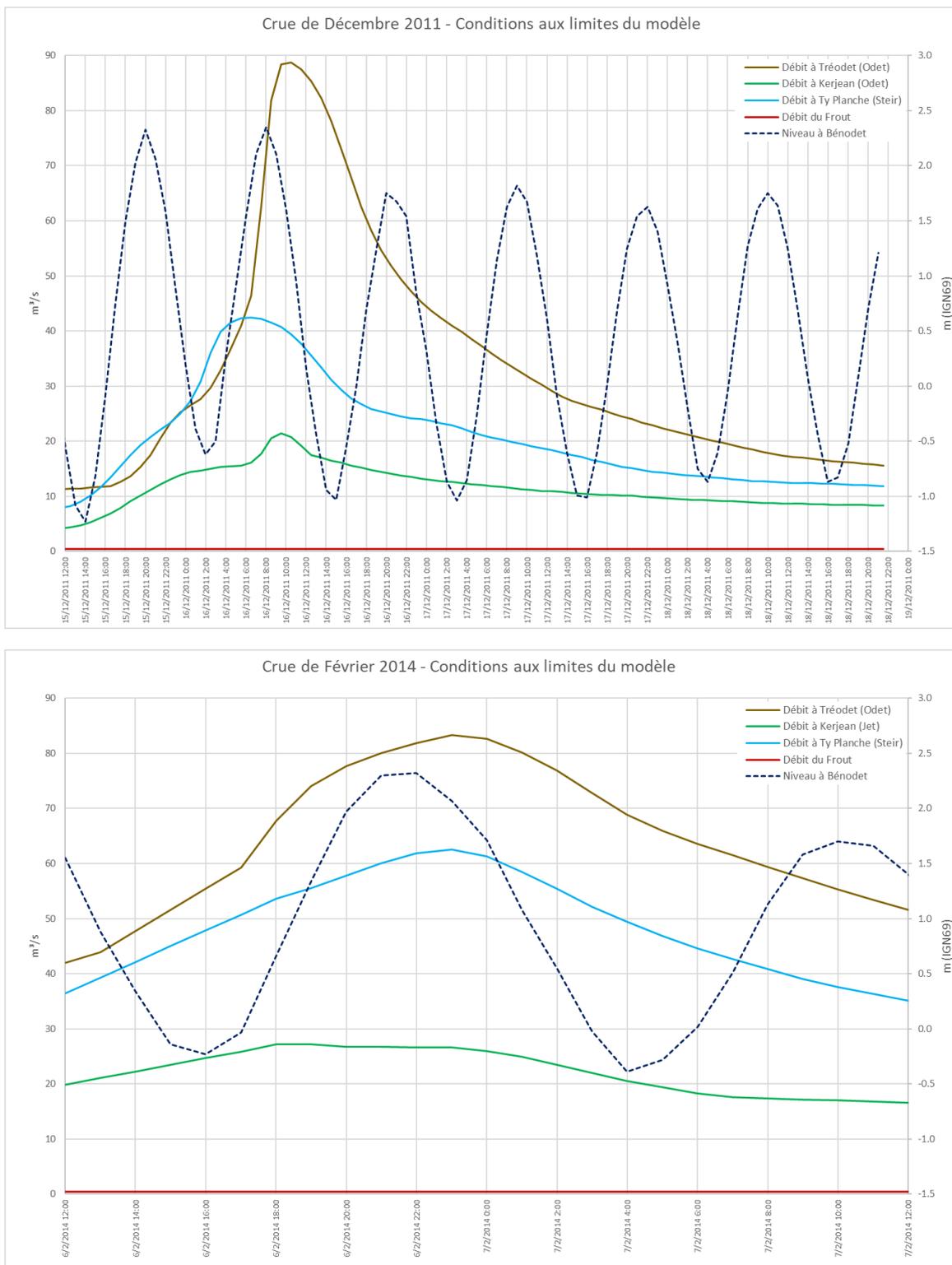


Fig. 45. Conditions aux limites du modèle pour les évènements de calage

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.3.3. RESULTATS DE CALAGE

2.6.3.3.1. CRUE DE DECEMBRE 2000

Les résultats de calage de l'évènement de Décembre 2000 sont synthétisés ci-après :

- **Odet** : à Tréodet le niveau calculé est égal au niveau enregistré.

Pour un niveau à Tréodet cohérent avec les valeurs SPC, les résultats obtenus en aval montrent des niveaux inférieurs aux niveaux relevés en lit mineur (Kervir) ou en lit majeur. A Kervir la différence de niveau quasi constante est caractéristique d'une perte de charge locale.

En effet la configuration entre la situation actuelle et la situation en 2000 a fortement évolué, rendant les conditions d'écoulement très différentes : élargissement du lit, digues de l'Hippodrome, passerelle Dornic...

Le long de l'Odet et en amont de la confluence avec le Steïr, l'enveloppe calculée est plus petite que ce qui a été observé. Les pertes de charge au droit des ouvrages principaux ont été vérifiées mais il n'a pas été décidé de ne pas forcer ces coefficients de perte de charge pour représenter le niveau des laisses observées. Un phénomène d'embâcle a peut-être eu lieu lors de cet évènement.

- **Jet** : après différents tests sur la rugosité, les hauteurs obtenues à Kerjean sont au maximum de l'ordre de 15 cm inférieures aux valeurs SPC.

Notons qu'au droit de la station la modélisation est unidimensionnelle avec des données topographiques moins denses que dans les zones urbaines.

Le lit majeur au droit de Kerjean semble également avoir évolué (présence d'une peupleraie aujourd'hui abattue susceptible de freiner les écoulements et d'augmenter les niveaux)

- **Steïr** : Après échange avec le « service hydrométrie, DREAL Bretagne/SPPR/DPCH », l'incertitude sur les valeurs de débit réelles à Ty Planche sont de l'ordre de +/-20%

Une déconnexion apparaît entre le niveau dans le lit mineur et dans le lit majeur. En effet, il a été observé que les valeurs calculées dans le lit majeur sont supérieures aux laisses alors que celles dans le lit mineur sont inférieures. Ceci est causé par un écoulement perché qui provient en partie de l'ouverture au-dessous de la voie SNCF (rue de la Providence) mais également au niveau de la Rue du Chapeau Rouge. On remarque également que le niveau calculé sur la partie aval du Steïr reste plus ou moins constant. L'évacuation des eaux est probablement moins bien représentée dans le modèle hydraulique sachant que le réseau d'eaux pluviales n'est pas modélisé.

Un léger décalage apparaît sur les graphes des figures suivantes de l'ordre d'une heure. Sur cette heure, le débit reste proche du pic, donc il n'y a pas d'impact sur la hauteur d'eau maximale.

Les principaux résultats de calage de l'évènement de Décembre 2000 sont illustrés pages suivantes.

Remarque : ces résultats sont obtenus en injectant des débits supplémentaires en aval des stations afin de représenter les apports non pris en compte par celles-ci (voir proportions au § 2.7.3.1). Les tests de sensibilité avec ou sans ces débits ne montrent pas de résultats très différents.

Crue de Décembre 2000 - Calage de l'Odet et du Jet

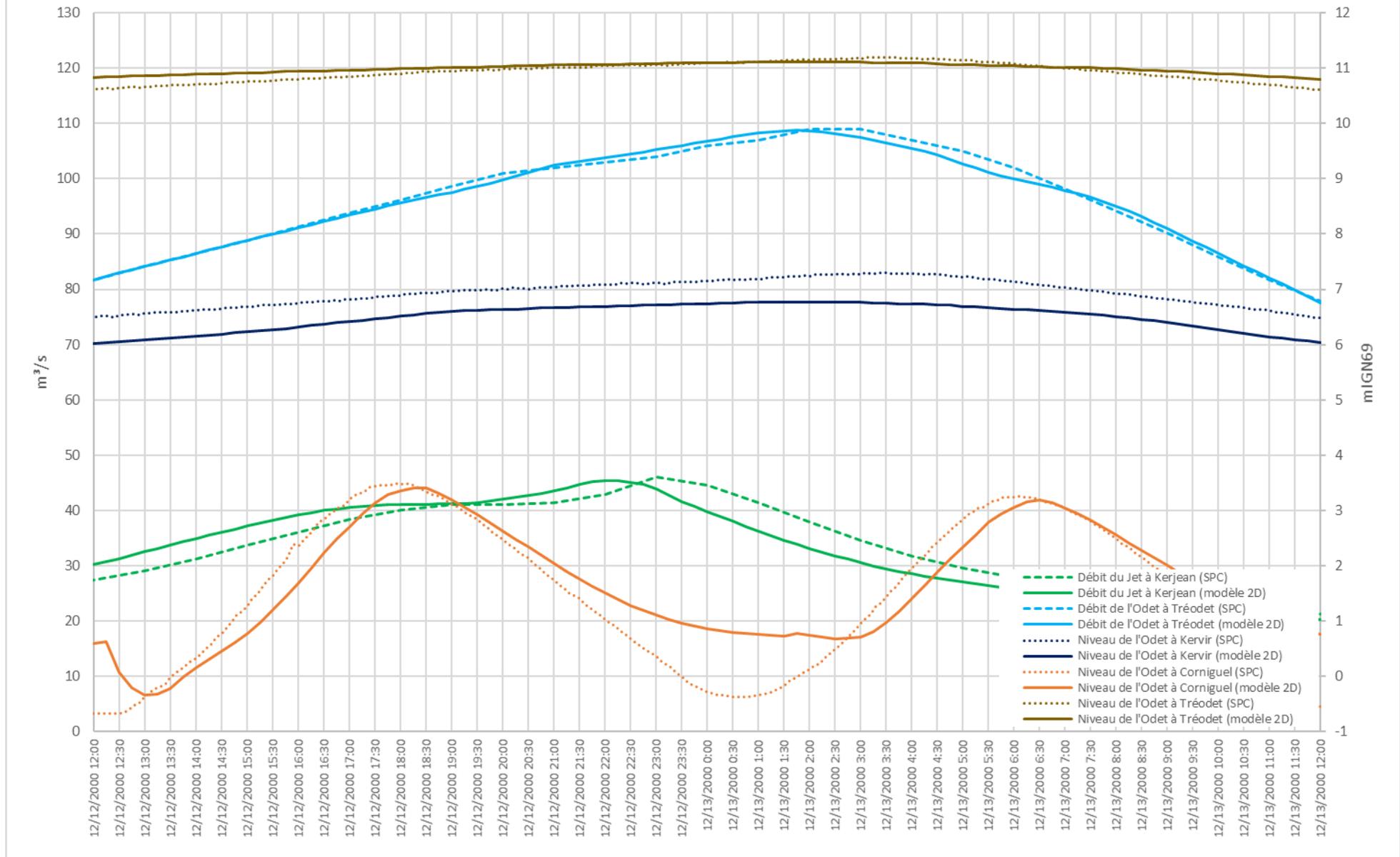


Fig. 46. Événement de Décembre 2000 – Résultats de calage sur l'Odet et le Jet

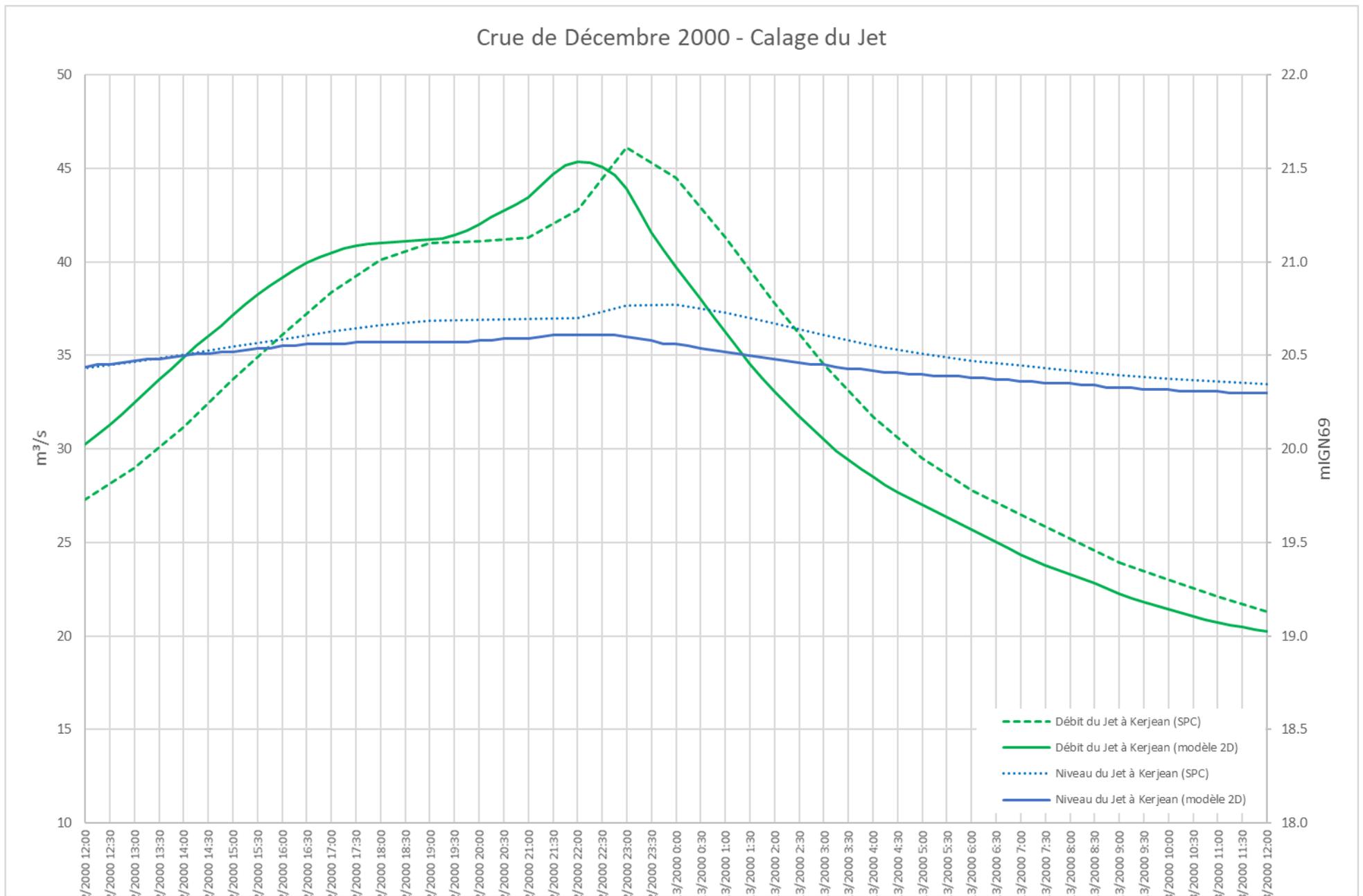


Fig. 47. Événement de Décembre 2000 – Résultats de calage sur le Jet

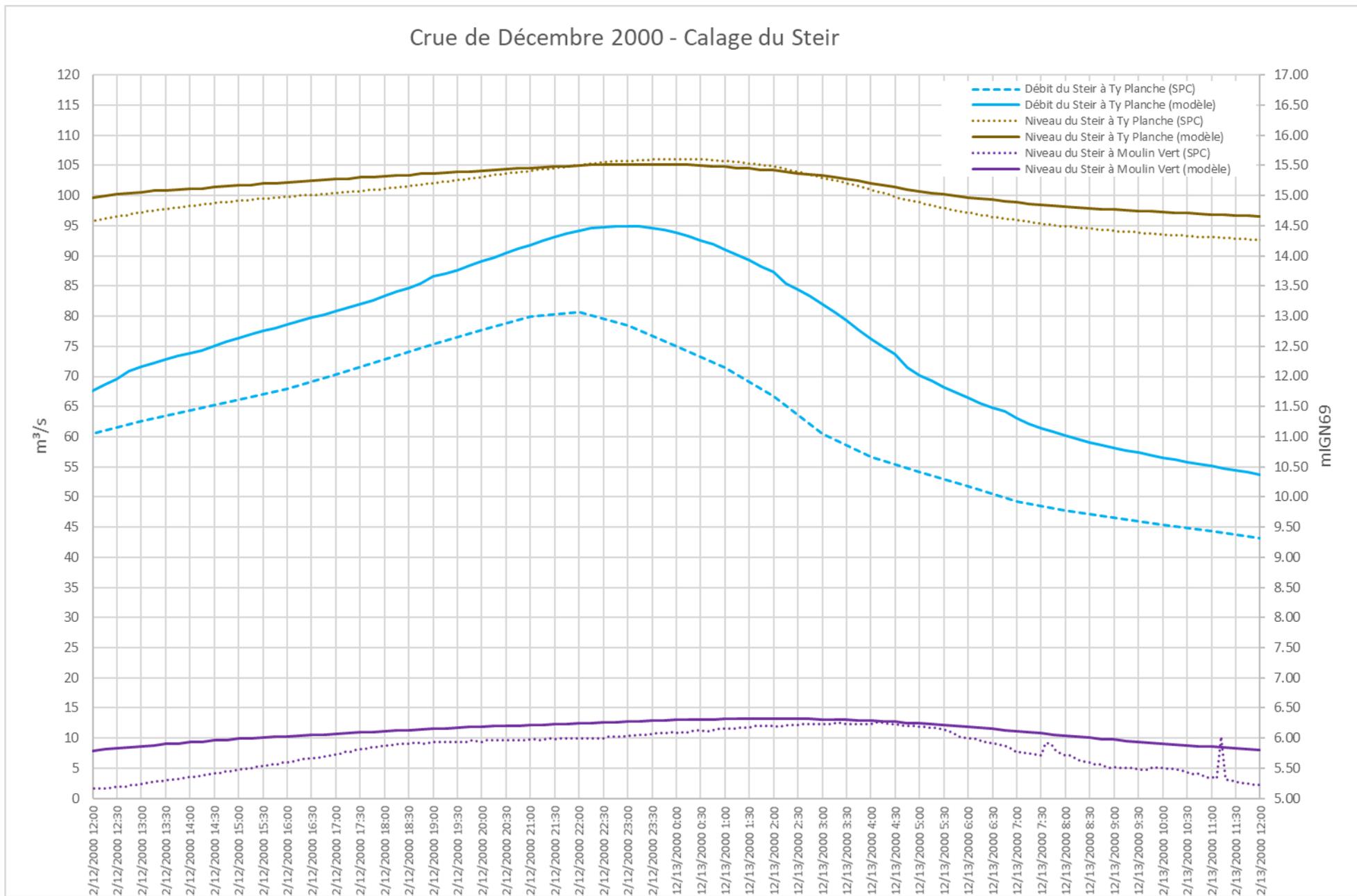
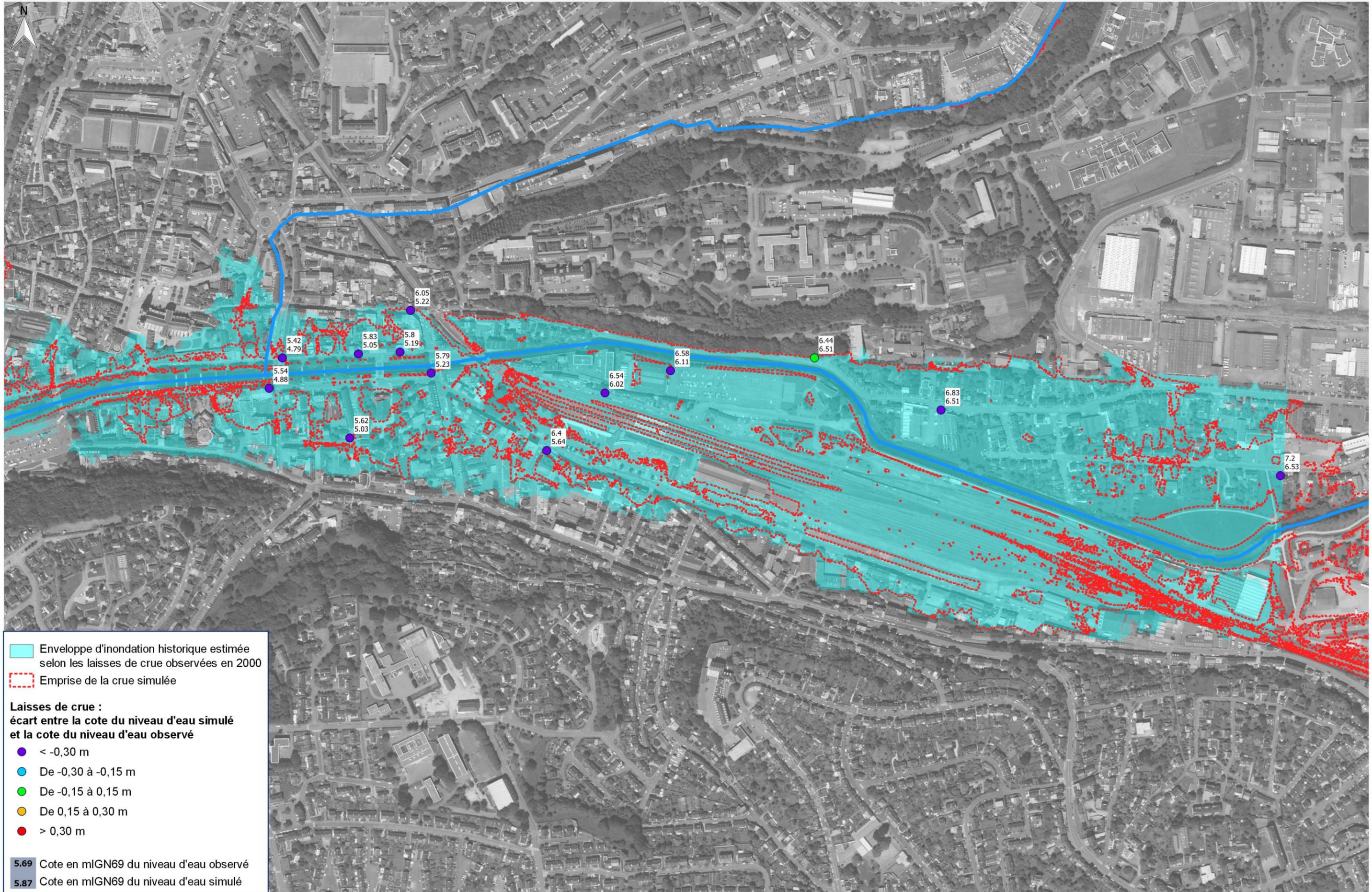
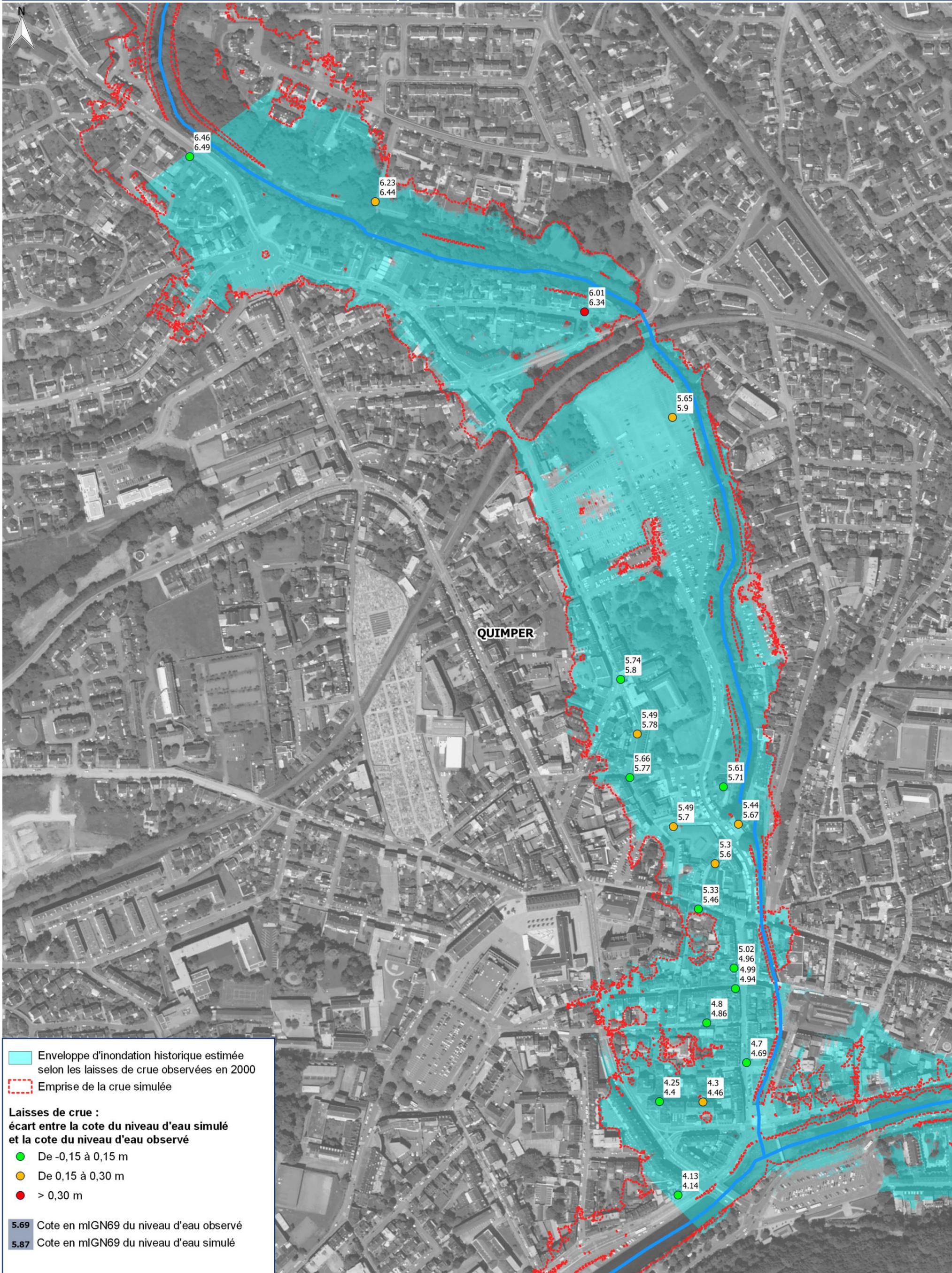


Fig. 48. Evénement de Décembre 2000 – Résultats de calage sur le Steir





Événement de Décembre 2000 - Laisses de crue et ligne d'eau en lit mineur sur le Steir

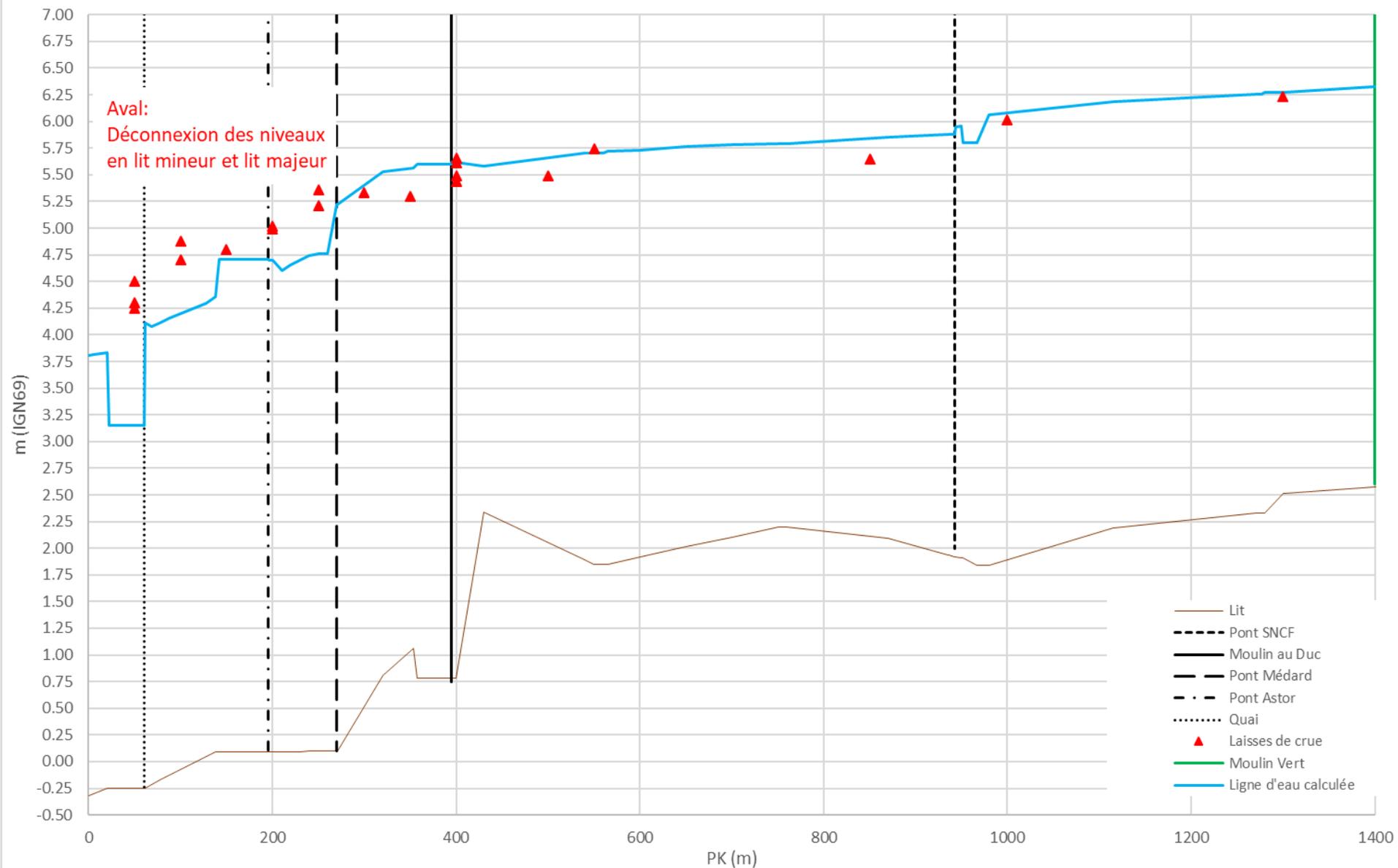


Fig. 51. Événement de Décembre 2000 – Laisses de crue et ligne d'eau en lit mineur sur le Steir

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.3.3.2. CRUE DE JANVIER 2001

Les résultats de calage de l'évènement de Janvier 2001 sont synthétisés ci-après :

- **Odét** : les résultats montrent des hauteurs d'eau calculées globalement inférieures aux valeurs du SPC. Ces différences s'expliquent de la même façon que pour la crue de Décembre 2000 (forte évolution des conditions d'écoulement)
- **Jet** : les hauteurs obtenues à Kerjean sont au maximum de l'ordre de 10 cm inférieures aux valeurs SPC.
- **Steir** : pour un niveau calculé à Ty Planche égal à celui du SPC, le niveau calculé au Moulin Vert est inférieur à celui du SPC. Différents essais ont été réalisés sur la rugosité ainsi que sur la configuration des ouvrages (pertes de charges...). Les résultats de calage étant bons pour les autres événements, on peut en déduire la présence d'un obstacle à l'écoulement en aval de Moulin Vert pour l'évènement de Janvier 2001 (embâcle...).

Les principaux résultats de calage de l'évènement de Janvier 2001 sont illustrés pages suivantes.

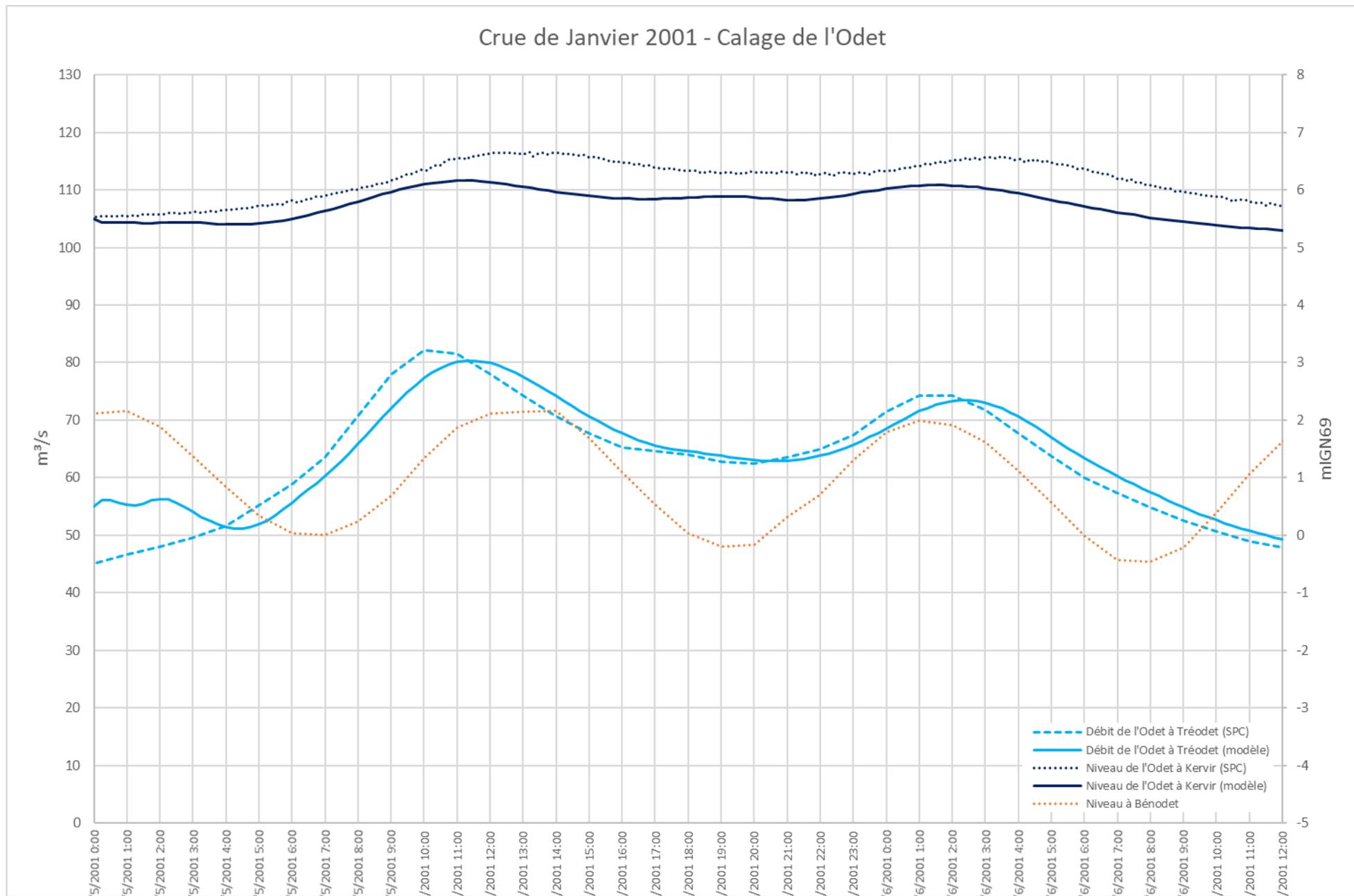


Fig. 52. Evénement de Janvier 2001 – Résultats de calage sur l'Odet

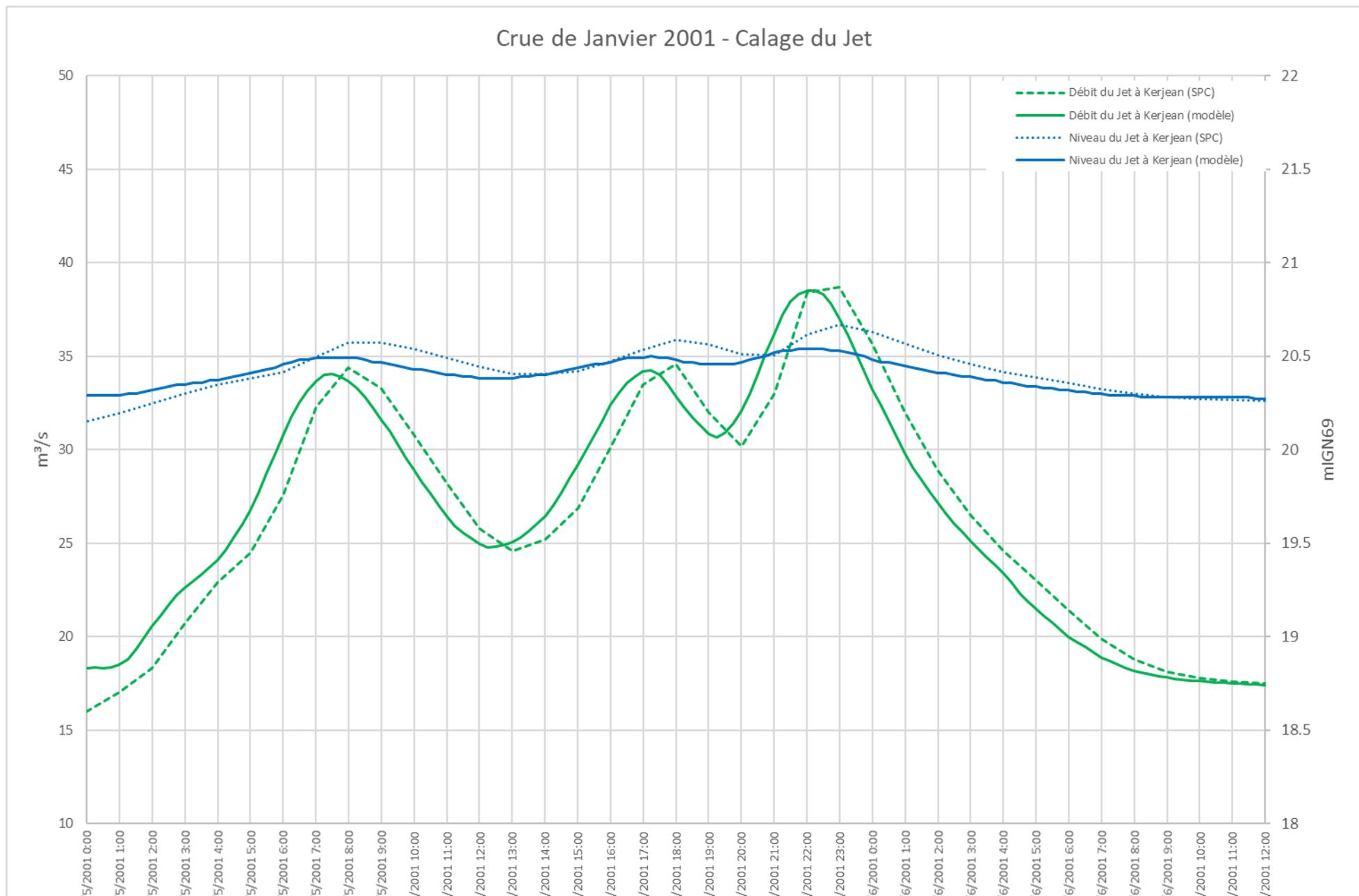


Fig. 53. Événement de Janvier 2001 – Résultats de calage sur le Jet

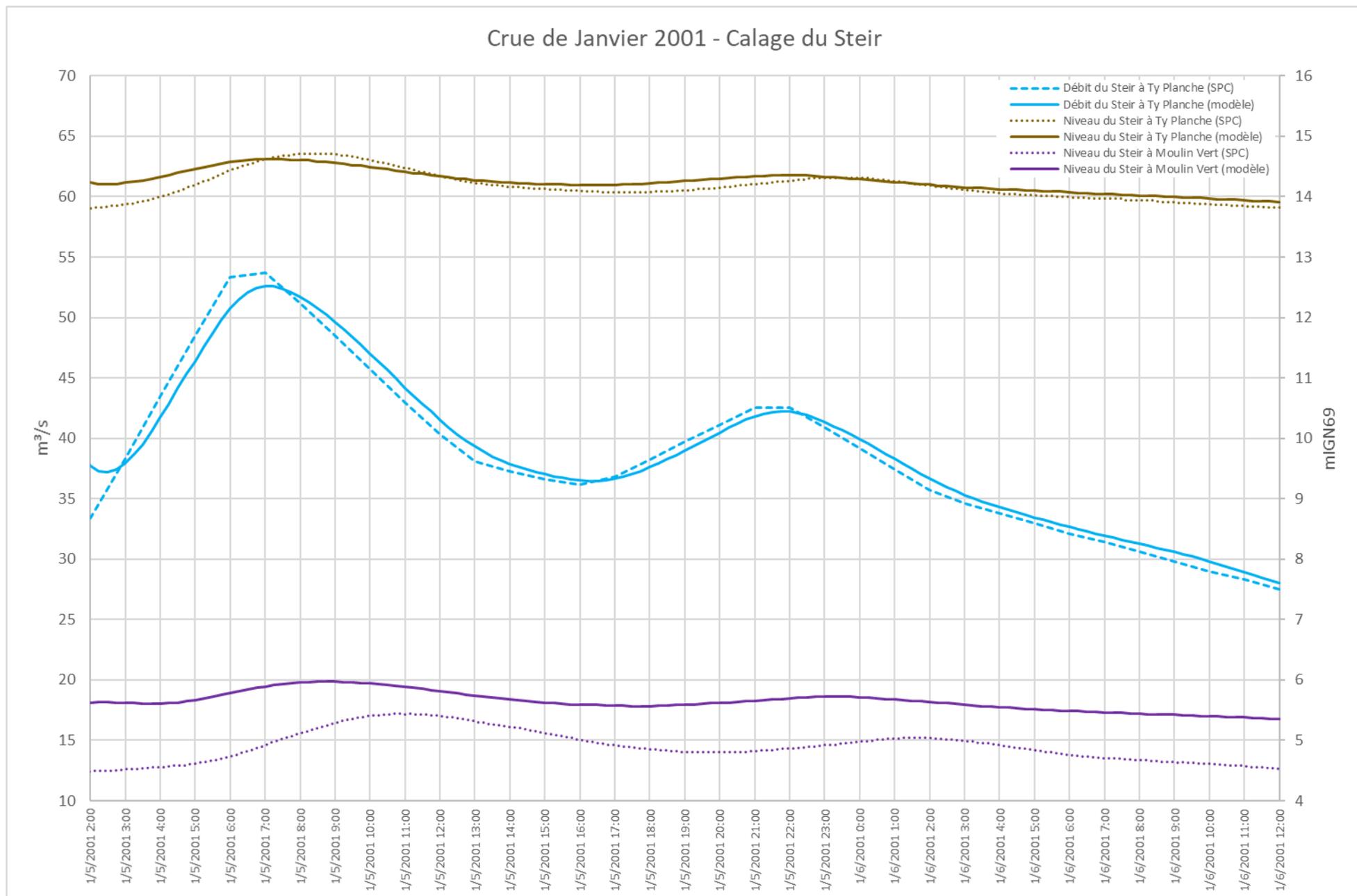


Fig. 54. Événement de Janvier 2001 – Résultats de calage sur le Steir

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.3.3. CRUE DE DECEMBRE 2011

Les résultats de calage de l'évènement de Décembre 2011 sont synthétisés ci-après :

- **Odét** : le niveau calculé au droit du batardeau rue de l'Hippodrome est cohérent avec le niveau observé, les hauteurs obtenues à Tréodet sont en moyenne de l'ordre de 20 cm supérieures aux valeurs SPC avec un maximum de 40 cm au pic.
- **Jet** : la hauteur obtenue à Kerjean est égale à celle du SPC au pic de crue, supérieure avant et après, à l'inverse des autres simulations de calage.
- **Steir** : le niveau calculé à Ty Planche est très proche de celui du SPC. Les niveaux à la station du Moulin Vert ne sont pas disponibles.

Notons que la crue étant très légèrement débordante, on ne dispose pas de laisses de crue.

Les principaux résultats de calage de l'évènement de Décembre 2011 sont illustrés pages suivantes.

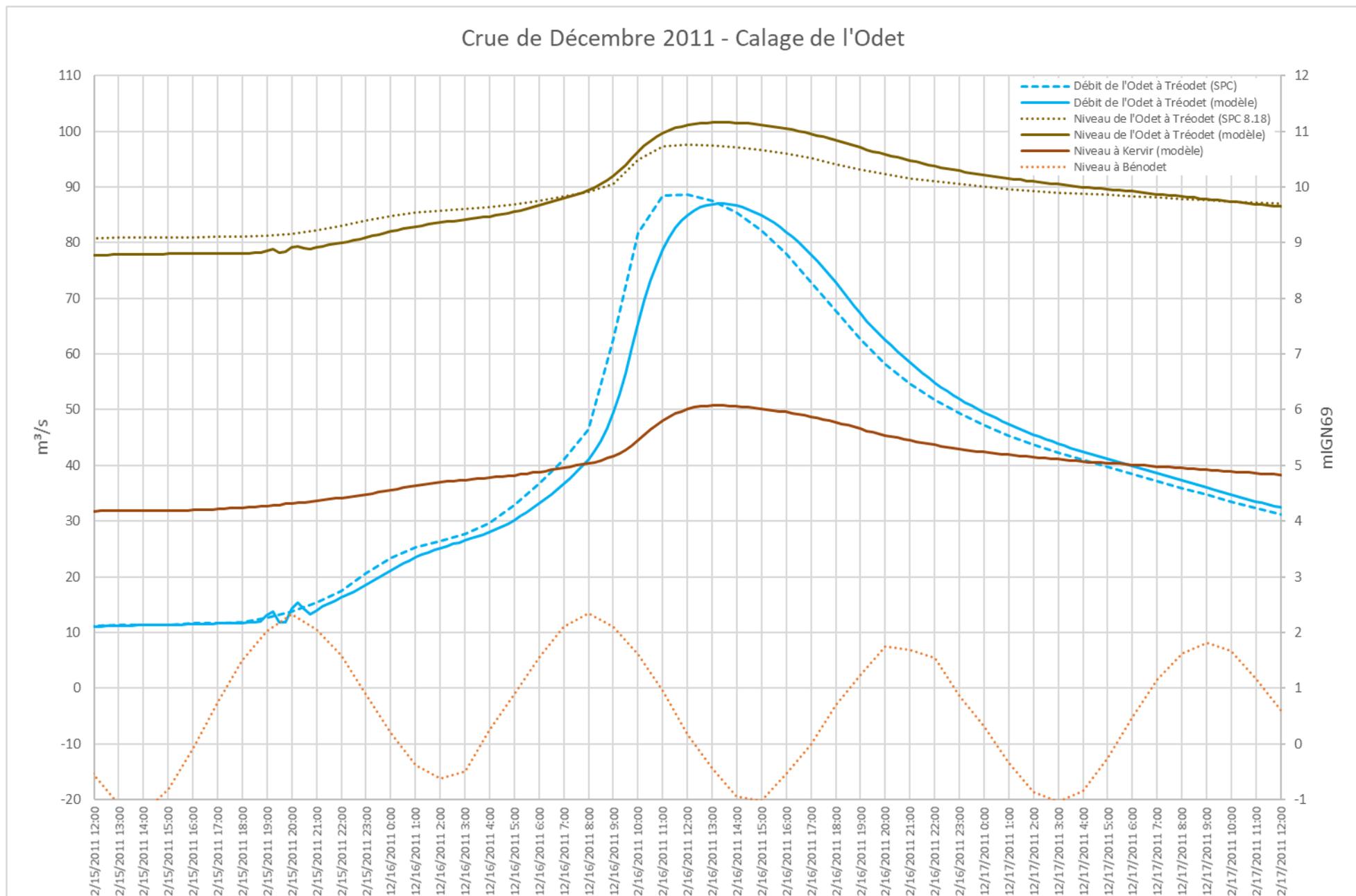


Fig. 55. Événement de Décembre 2011 – Résultats de calage sur l'Odet

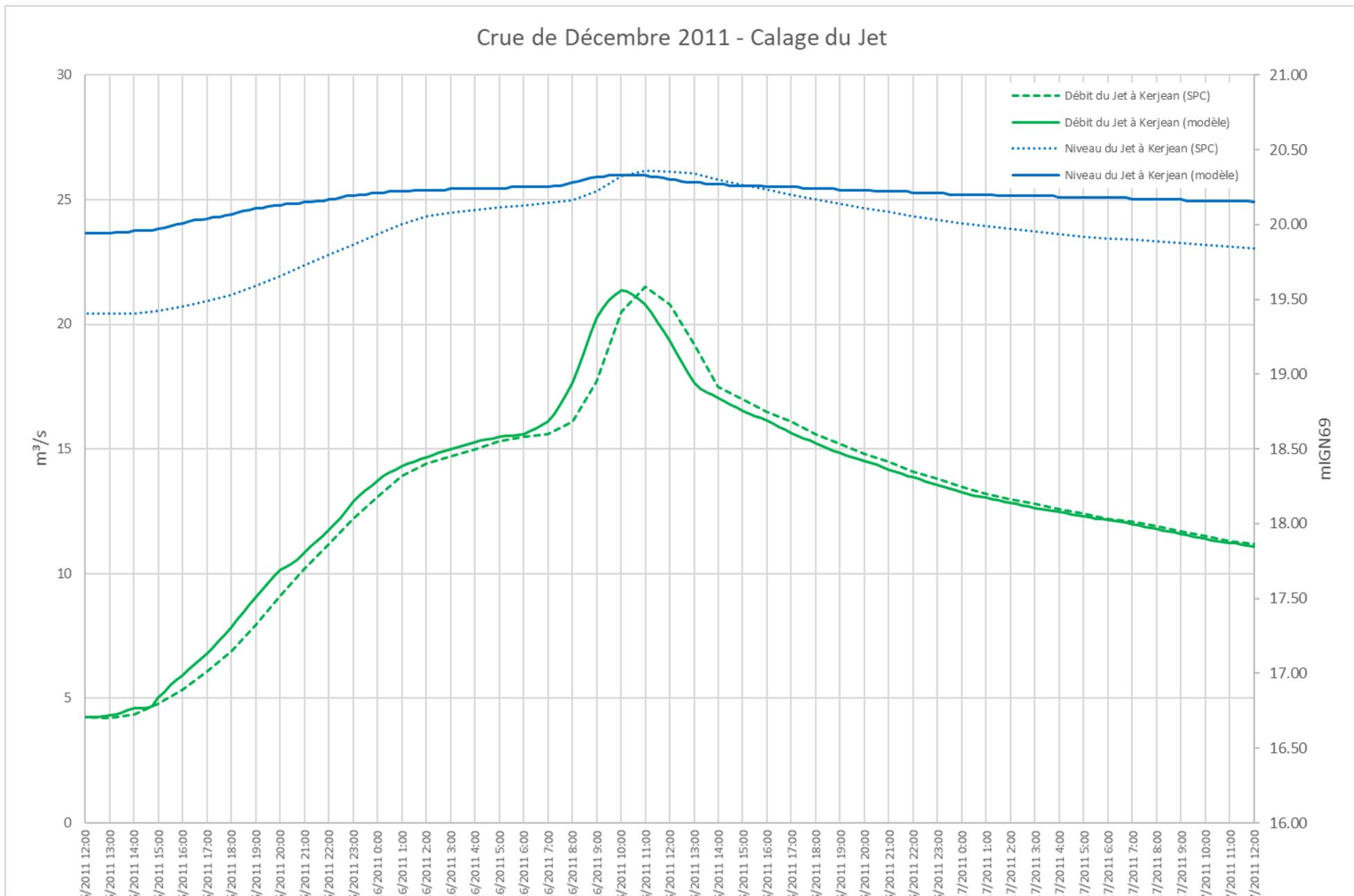


Fig. 56. Evénement de Décembre 2011 – Résultats de calage sur le Jet

Crue de Décembre 2011 - Calage du Steir

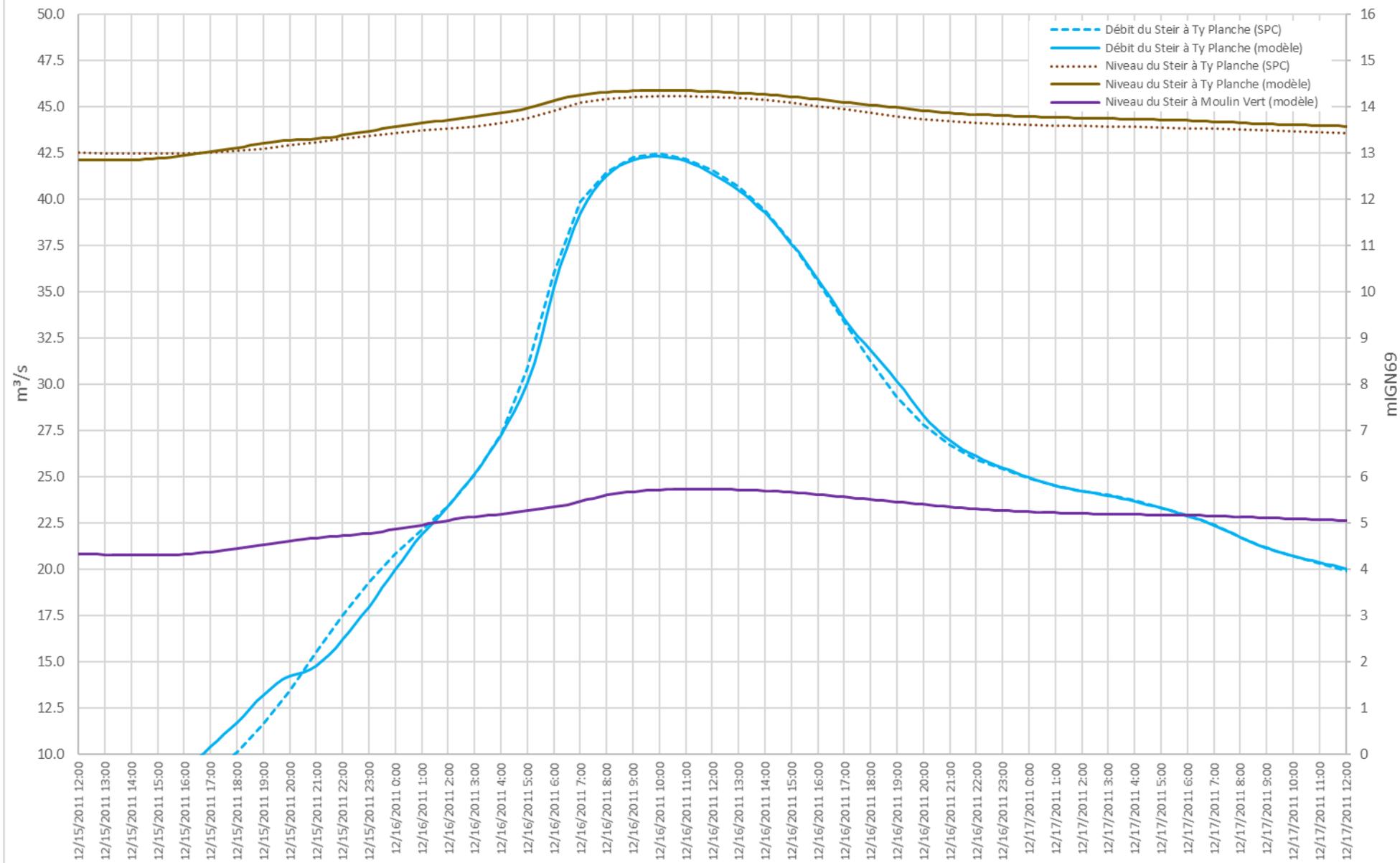


Fig. 57. Événement de Décembre 2011 – Résultats de calage sur le Steir

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.3.3.4. CRUE DE FEVRIER 2014

Les résultats de calage de l'évènement de Février 2014 sont synthétisés ci-après :

- **Odét** : les niveaux atteints aux stations sont proches des niveaux du SPC avec des valeurs légèrement supérieures à Tréodet.
- **Jet** : après différents tests sur la rugosité, les hauteurs obtenues à Kerjean restent inférieures à celles du SPC
- **Steir** : les niveaux atteints aux stations sont équivalents aux niveaux du SPC. Les niveaux atteints au droit des laisses de crue sont cohérents avec les observations bien que légèrement supérieurs dans la partie aval du Steir. Le modèle indique des niveaux d'eau relativement constants sur la partie aval or l'évacuation des eaux par le réseau pluvial n'est pas représenté dans le modèle hydraulique. Ainsi, cette zone, qui se comporte comme une cuvette, ne peut se vidanger rapidement ce qui explique que le modèle surestime légèrement les niveaux d'eau. On observe aussi le même phénomène d'écoulement perché lors de l'évènement de 2000.

Les principaux résultats de calage de l'évènement de Février 2014 sont illustrés pages suivantes.

Crue de Février 2014 - Calage de l'Odet

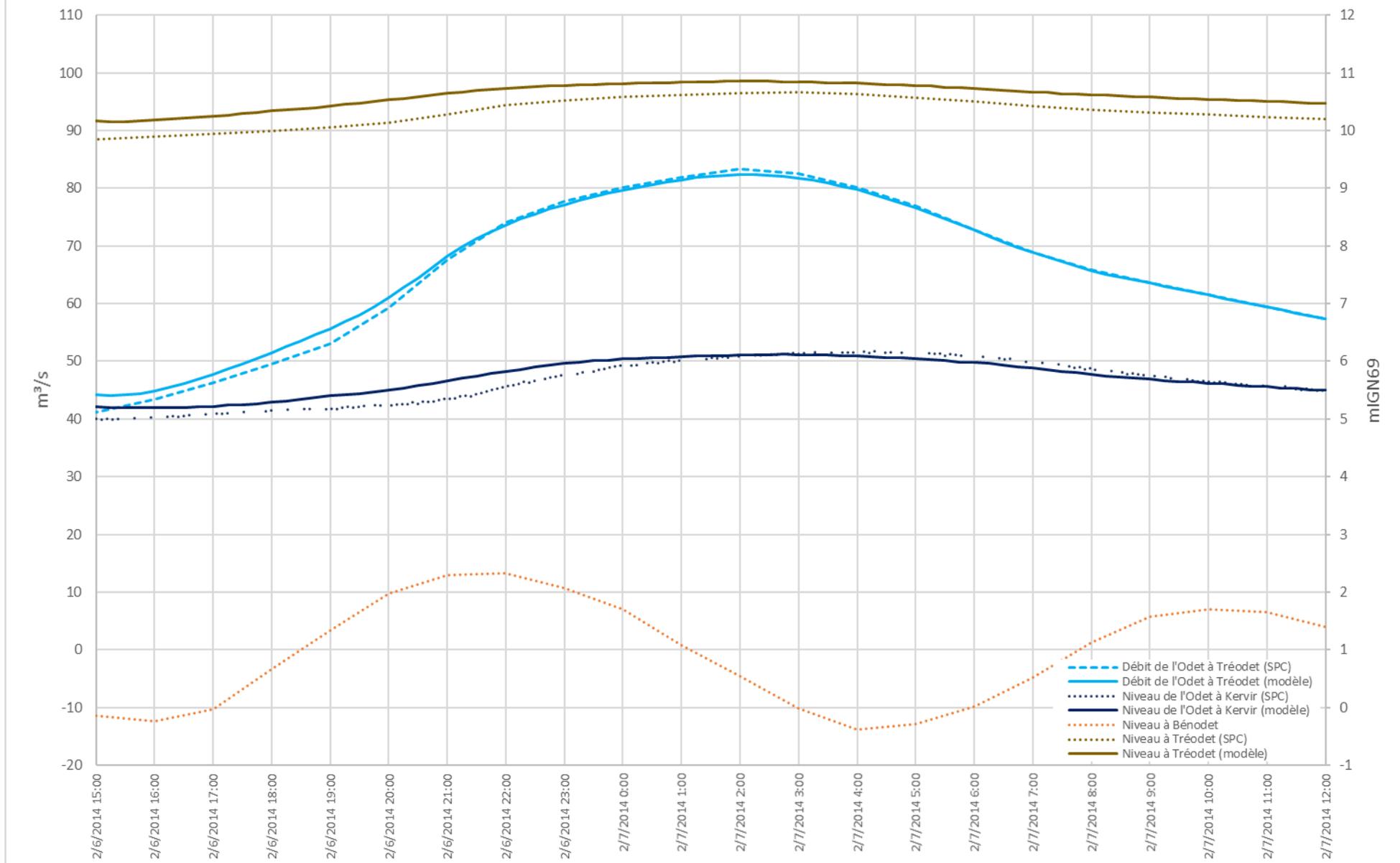


Fig. 58. Evénement de Février 2014 – Résultats de calage sur l'Odet

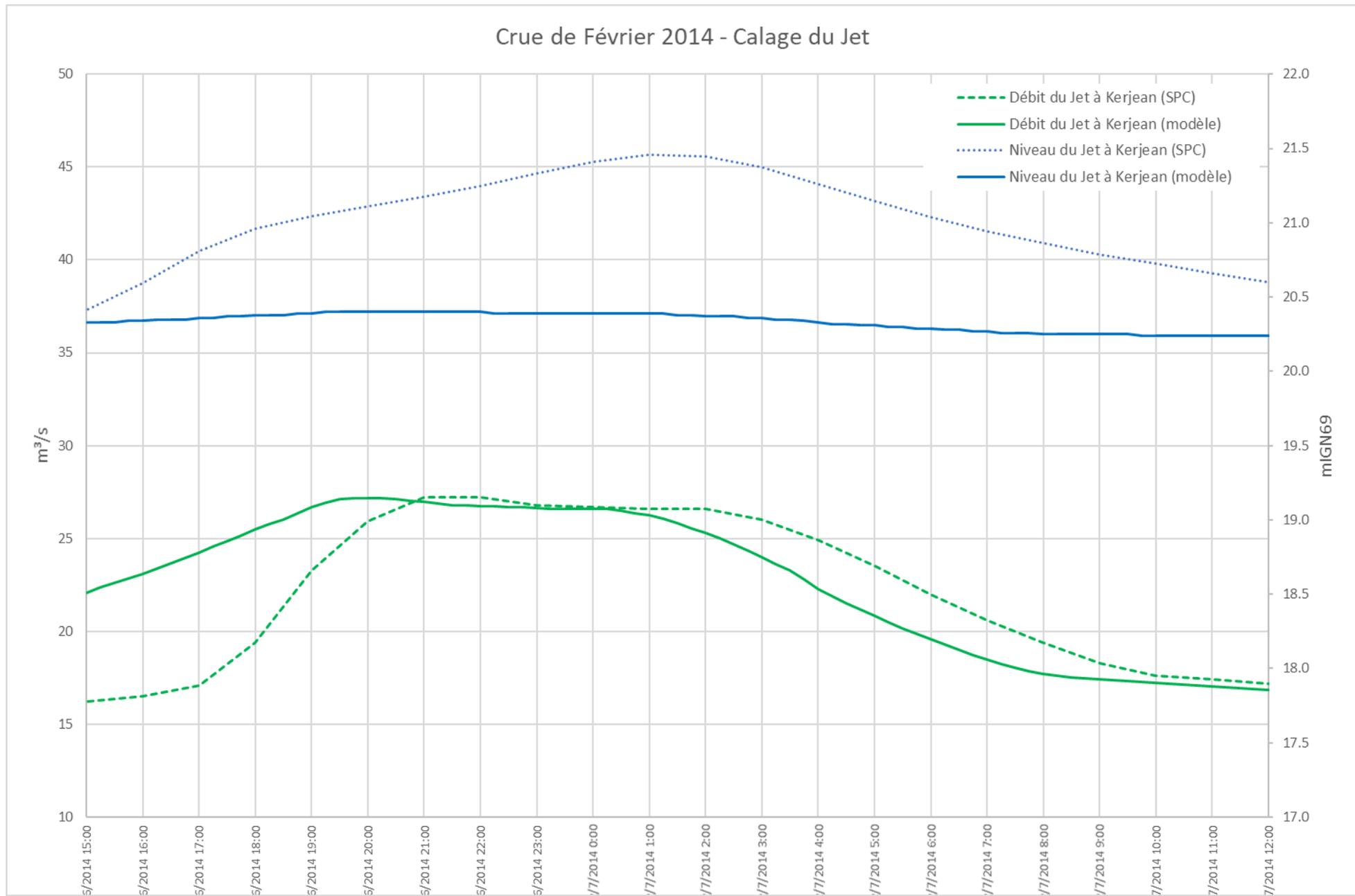


Fig. 59. Événement de Février 2014 – Résultats de calage sur le Jet

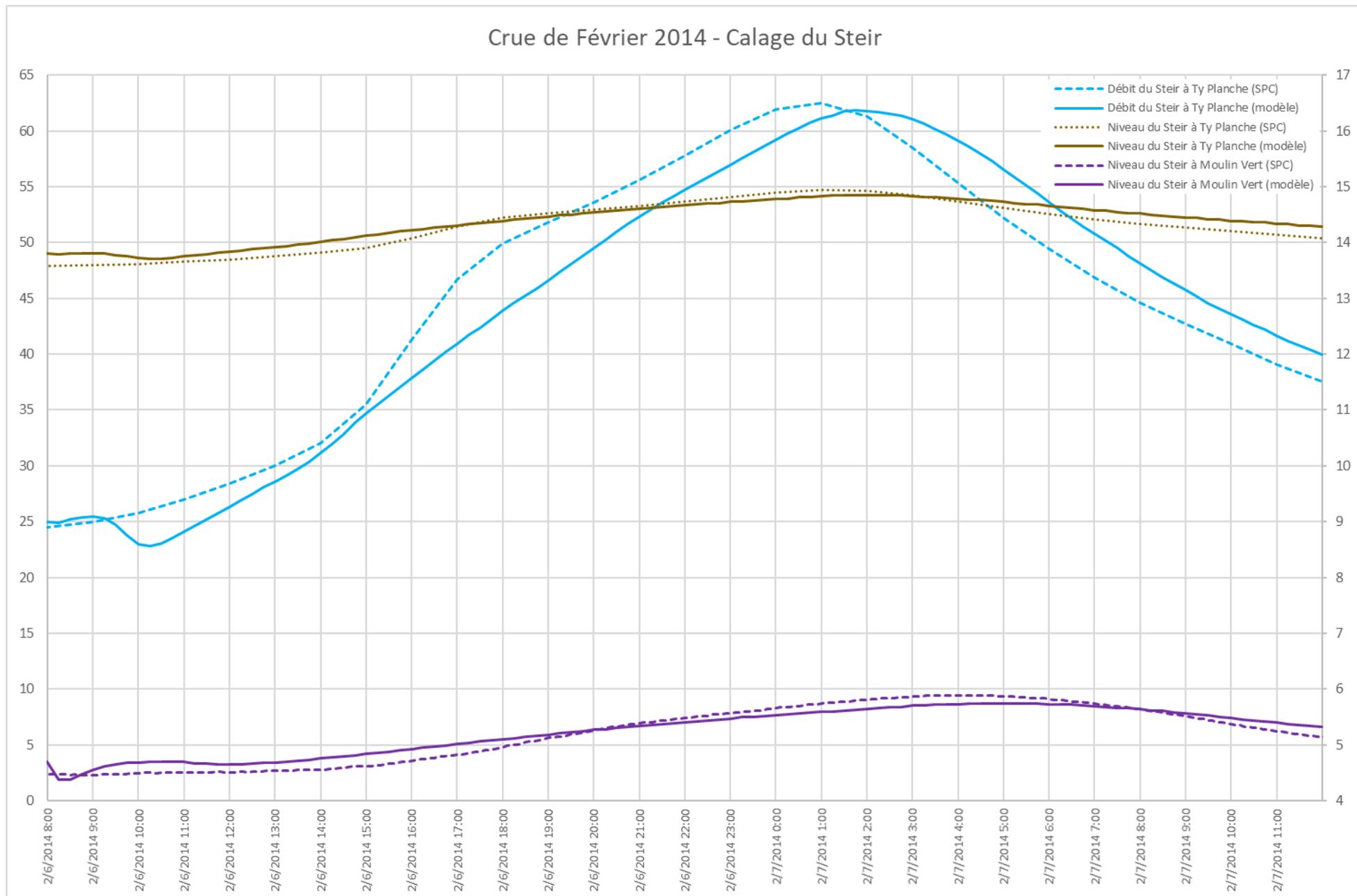
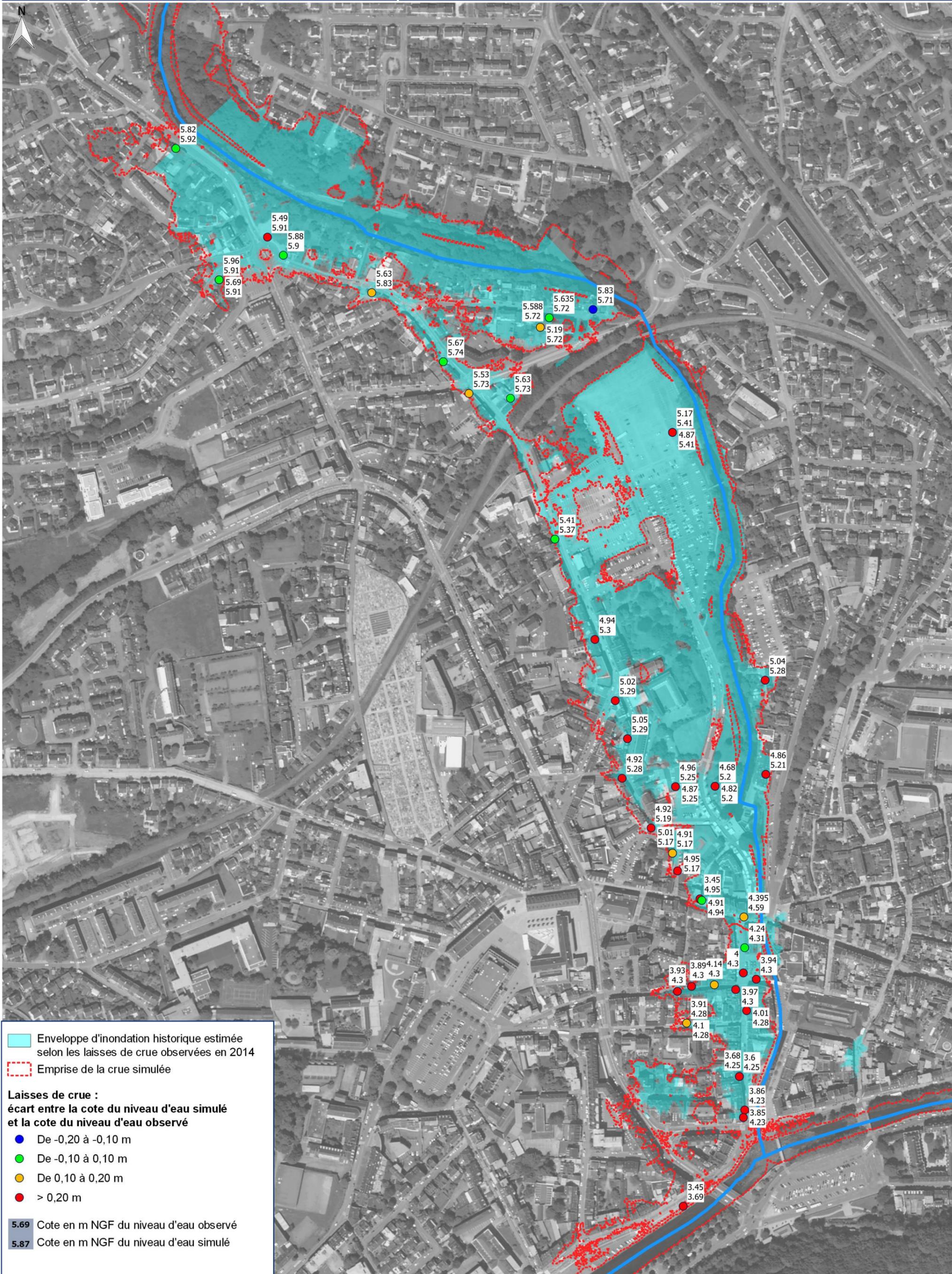


Fig. 60. Événement de Février 2014 – Résultats de calage sur le Steir



Ligne d'eau sur le Steir - Février 2014

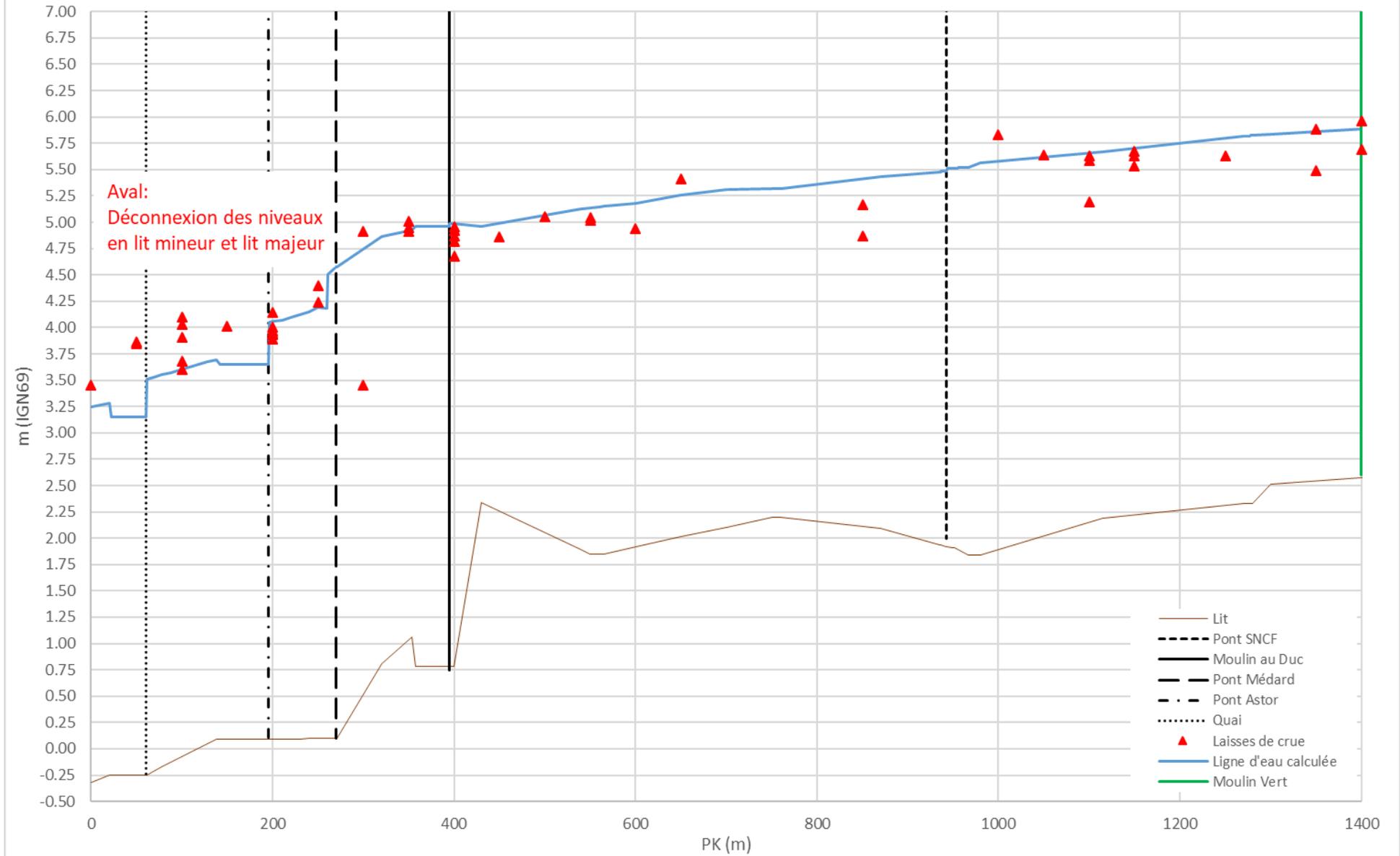


Fig. 62. Événement de Février 2014 – Laisses de crue et ligne d'eau en lit mineur sur le Steir

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.6.3.4. CONCLUSION

Les résultats de calage des événements sont considérés comme suit :

- **Décembre 2000** : bon sur le Steïr et à Tréodet (Odet), moyen sur le Jet et non réalisable sur la partie Hippodrome de l'Odet dans sa configuration actuelle. Le secteur urbain donne des résultats en deçà des valeurs observées (potentiellement causées par un embâcle).
- **Janvier 2001** : bon à Ty Planche (Steïr), moyen sur le Jet, non vérifiable à Moulin Vert (Steïr) et non réalisable sur la partie Hippodrome de l'Odet dans sa configuration actuelle.
- **Décembre 2011** : bon sur la partie urbaine de l'Odet et à Ty Planche (Steïr), moyen sur le Jet et à Tréodet.
- **Février 2014** : bon sur l'Odet et le Steïr.

Le calage a été réalisé sur 4 événements (2 avant/pendant travaux et 2 postérieurs aux travaux à Quimper). L'impact de ces travaux est significatif sur les crues. En effet, les travaux ont consisté à élargir le lit mineur et supprimer des ouvrages dans le lit de l'Odet. Ces travaux ont donc permis de rabaisser fortement la ligne d'eau dans le centre de Quimper.

Au regard de ces résultats et notamment de la cohérence entre les niveaux calculés et ceux observés au droit des laisses de crue, **le calage du modèle hydraulique est considéré bon sur l'Odet et le Steïr, moyen sur le Jet** pour lequel on ne recense pas de zones à enjeux.

2.7. EVENEMENTS DE REFERENCE

2.7.1. DEFINITION DES EVENEMENTS DE REFERENCE

Pour l'inondation par crue d'un cours d'eau, le niveau de l'aléa de référence est le plus fort des événements suivants :

- Événement historique le plus fort connu et documenté, s'il est plus fort que l'évènement centennal,
- Événement centennal (ayant une probabilité de 1 sur 100 de se produire chaque année)

Dans le secteur étudié, il n'a pas été observé d'événement historique plus fort que l'évènement centennal qui est alors considéré comme événement de référence. Une vérification a été faite avec l'évènement de 2000 qui représentait une enveloppe importante, mais l'évènement centennal reste le plus impactant.

Afin de tenir compte du caractère maritime de l'Odet aval, deux types d'événements ont été simulés :

- Débits fluviaux centennaux couplés à un niveau maritime moyen (scénarios « F »).
- Niveau marin centennal couplé à des débits moyens (scénarios « M »);

Pour l'ensemble des scénarios l'horloge des débits est calée de façon à les rendre concomitants dans le centre de Quimper.

Enfin et dans le but de prendre en compte les risques inhérents aux ouvrages longeant les cours d'eau, des scénarios de brèches et d'effacement ont été simulés.

La carte d'aléa finale ne représente donc pas un seul événement mais bien le maximum d'un ensemble d'événements (fluviale, maritime, effacement d'ouvrages et brèches).

2.7.2. OUVRAGES DE PROTECTION

La prise en compte des ouvrages de protection en berges se fait comme suit :

- **Digues de l'Hippodrome** : prise en compte de l'ouvrage puis simulation de brèches, d'effacement partiel ou total pour l'évènement fluvial centennal ;
- **Digue du Halage** : prise en compte de l'ouvrage puis simulation de brèche et d'un effacement total pour l'évènement maritime centennal ;
- **Murets longeant le Frouit** (rive droite) : effacement pour tous les événements autres qu'historiques.

Les scénarios de brèche et d'effacement sont détaillés au sein du paragraphe 2.7.5.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT



Fig. 63. Murets le long du Frouit

2.7.3. CRUE CENTENNALE (SCENARIOS « F »)

2.7.3.1. CONDITIONS AMONT : DEBITS CENTENNAUX

Pour ces simulations les débits en entrée de modèle sont directement issus de l'étude hydrologique.

Sont ainsi injectés en entrée de modèle les hydrogrammes synthétiques des débits centennaux suivants :

- **Odet** : à l'extrémité Nord-Est de Ergué Gabéric ;
- **Steïr** : à l'extrémité Nord de Quimper ;
- **Jet** : à l'extrémité Est de Ergué Gabéric ;
- **Frouit** : en aval du Boulevard Allende

Remarque : des injections de débits supplémentaires sont faites en aval des stations afin de représenter les apports non pris en compte par celles-ci :

- **Odet** : apport en amont de la confluence avec le Jet (4% du débit en entrée) ;
- **Jet** : apport en amont de la confluence avec l'Odet (7% du débit en entrée) ;
- **Steïr** : apport à Moulin Vert (7% du débit en entrée) ;

Les hydrogrammes sont calés afin que les pics soient concomitants aux confluences, ils sont présentés page suivante.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

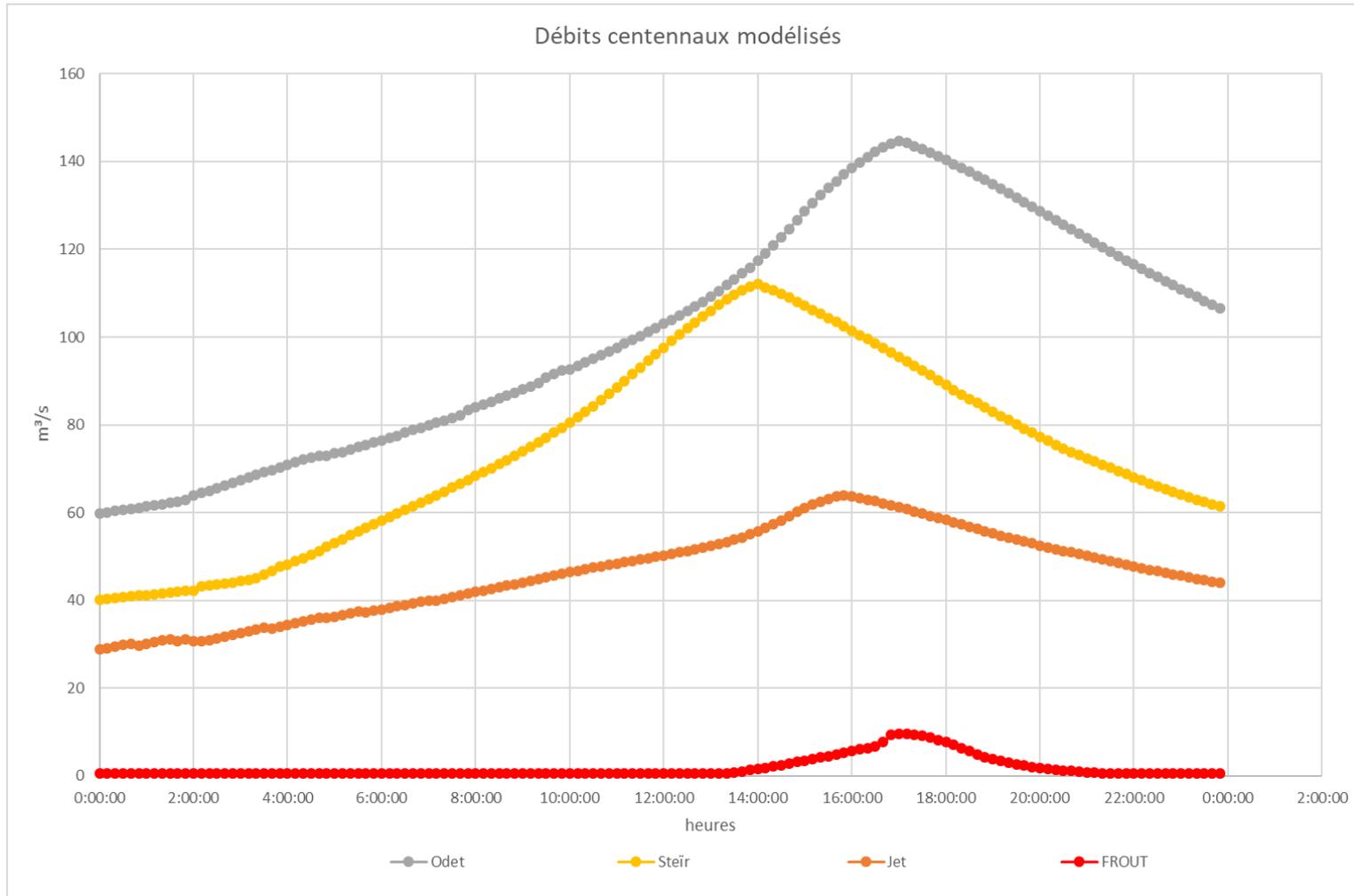


Fig. 64. Hydrogrammes des débits centennaux

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.7.3.2. CONDITION AVAL : NIVEAU A BENODET

La condition aval est basée sur plusieurs cycles de marées de coefficient 90 à 95 sur la durée de la simulation.

Le niveau de pleine mer ainsi obtenu est le suivant (voir §2.6.2.1.3) :

- Niveau Marin Coef 95 + réchauffement climatique + surcote estuarienne + incertitudes

⇒ Scénario de référence : $2.82 + 0.20 + 0.25 + 0.20 = 3.47$ mIGN69

⇒ Scénario à échéance 2100 : $2.82 + 0.60 + 0.25 + 0.20 = 3.87$ mIGN69

Les marégrammes à Bénodet pour les scénarios « F » sont présentés page suivante.

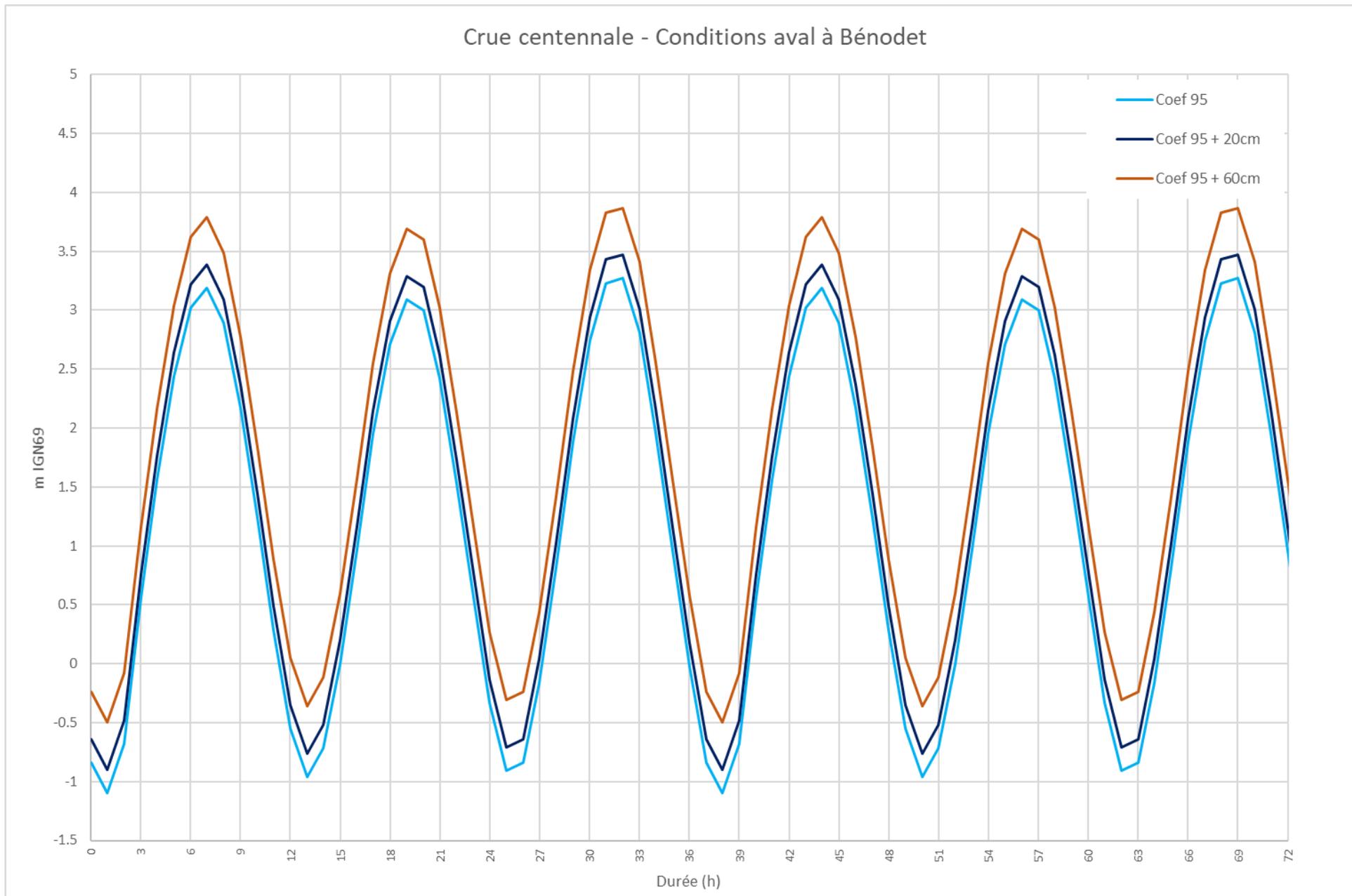


Fig. 65. Marégrammes à Bénodet - Coefficient max=95

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.7.3.3. TESTS DE SENSIBILITE

Les tests de sensibilité permettent de vérifier l'impact de certains paramètres. Ainsi, si des modifications de certains paramètres ont peu d'impact sur les résultats, il n'est pas nécessaire de calculer une valeur précise pour le paramètre. En revanche, si celle-ci a un impact, il est nécessaire d'approfondir la recherche sur ce paramètre.

Des tests de sensibilité sont effectués sur la concomitance entre le pic de crue et le pic de marée de coefficient 95 dans le centre de Quimper.

Les résultats obtenus montrent que pour l'ensemble des simulations les niveaux obtenus sont les plus importants avec une concomitance de la pleine mer - pic de crue.

Ainsi ne sont retenus que les résultats issus de cette configuration

2.7.4. NIVEAU MARITIME CENTENNAL (SCENARIOS « M »)**2.7.4.1. CONDITIONS AMONT : DEBITS DE CRUE**

Pour ces simulations les débits en entrée de modèle sont directement issus de l'étude hydrologique.

Sont ainsi injectés en entrée de modèle les hydrogrammes synthétiques des débits biennaux suivants :

- **Odét** : à l'extrémité Nord-Est de Ergué Gabéric ;
- **Steïr** : à l'extrémité Nord de Quimper ;
- **Jet** : à l'extrémité Est de Ergué Gabéric ;
- **Frouit** : en aval du Boulevard Allende

Remarque : des injections de débits supplémentaires sont faites en aval des stations afin de représenter les apports non pris en compte par celles-ci :

- **Odét** : apport en amont de la confluence avec le Jet (4% du débit en entrée) ;
- **Jet** : apport en amont de la confluence avec l'Odét (7% du débit en entrée) ;
- **Steïr** : apport à Moulin Vert (7% du débit en entrée) ;

Les hydrogrammes sont calés afin que les pics soient concomitants aux confluences, ils sont présentés page suivante.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

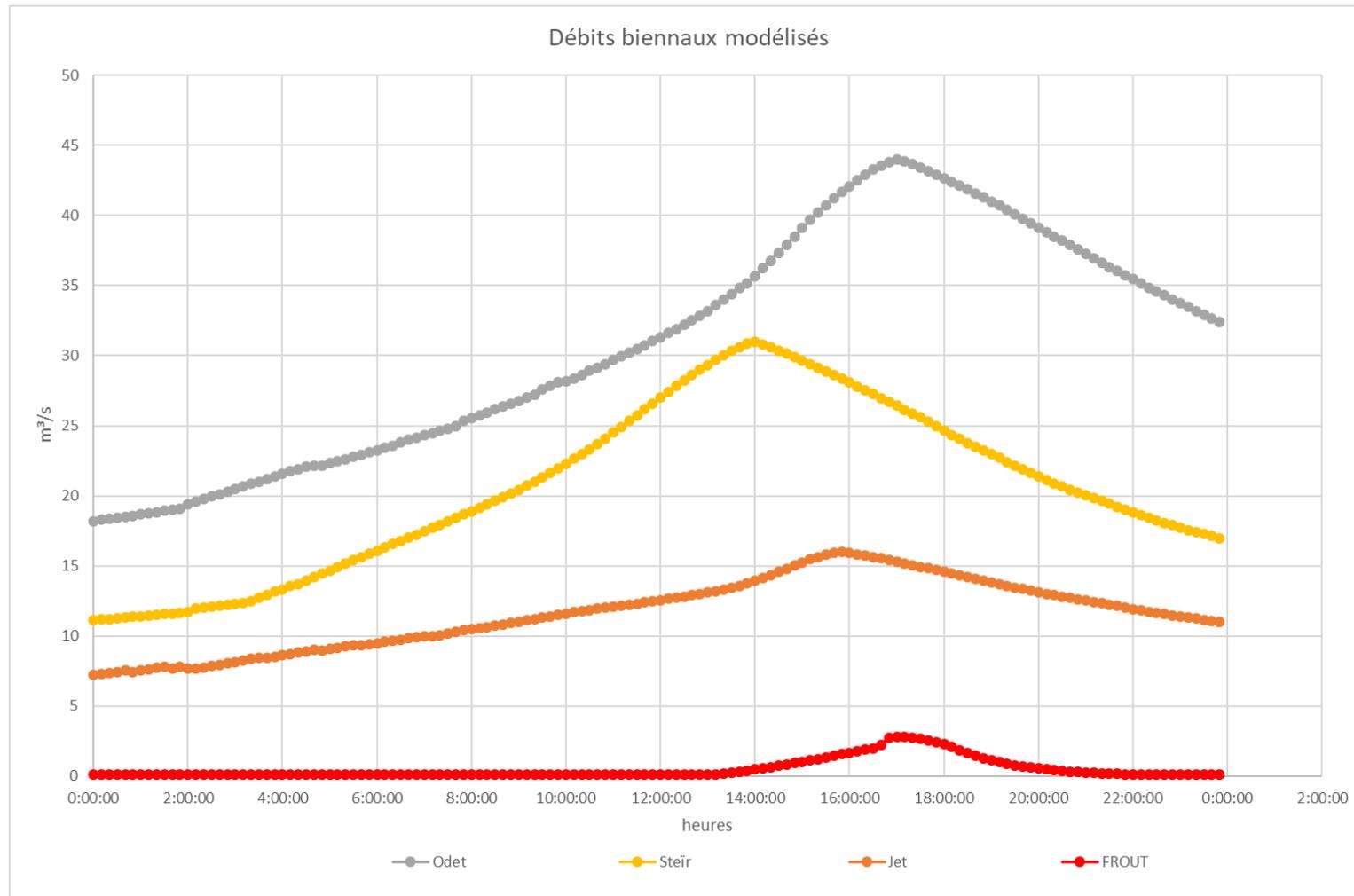


Fig. 66. Hydrogrammes des débits biennaux

2.7.4.2. CONDITION AVAL : NIVEAU A BENODET

La condition aval prend en compte plusieurs cycles de marées dont le niveau de pleine mer du troisième correspond au niveau marin centennal et dont le calage permet une concomitance pleine mer-pic de crue à Quimper

Le niveau de pleine mer est le suivant (voir §2.6.2.1.3) :

- NM100 + réchauffement climatique + surcote estuarienne + incertitudes
 - ⇒ Scénario de référence : $3.78 + 0.20 + 0.25 + 0.20 = 4.43$ mIGN69
 - ⇒ Scénario à échéance 2100 : $3.78 + 0.60 + 0.25 + 0.20 = 4.83$ mIGN69

Les marégrammes à Bénodet pour les scénarios « M » sont présentés page suivante.

Niveau maritime centennal (dont fetch et incertitudes) - Conditions aval à Bénodet

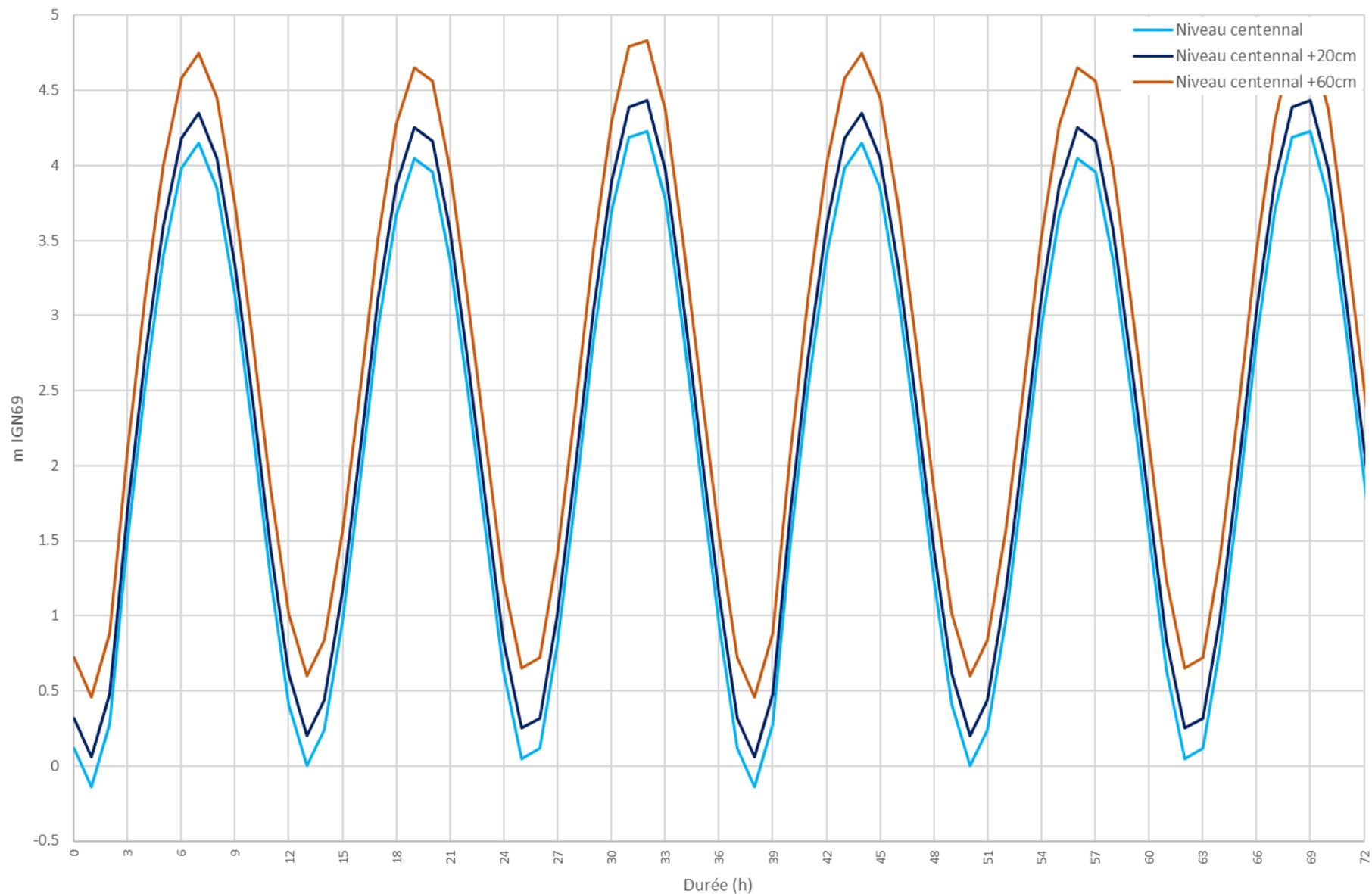


Fig. 67. Marégrammes à Bénodet – Niveau maritime centennal

2.7.5. RUPTURE DES DIGUES DE PROTECTION

Afin de tenir compte des risques liés à la rupture des merlons/digues longeant l'Odet dans les secteurs Hippodrome et Halage, différents scénarios de rupture de ces derniers sont simulés. Ces simulations permettent notamment d'appréhender les vitesses d'écoulements à l'arrière immédiat de chaque rupture en vue de modifier les aléas dans ces zones selon les résultats obtenus.

En complément des scénarios d'effacement total des ouvrages sont également simulés.

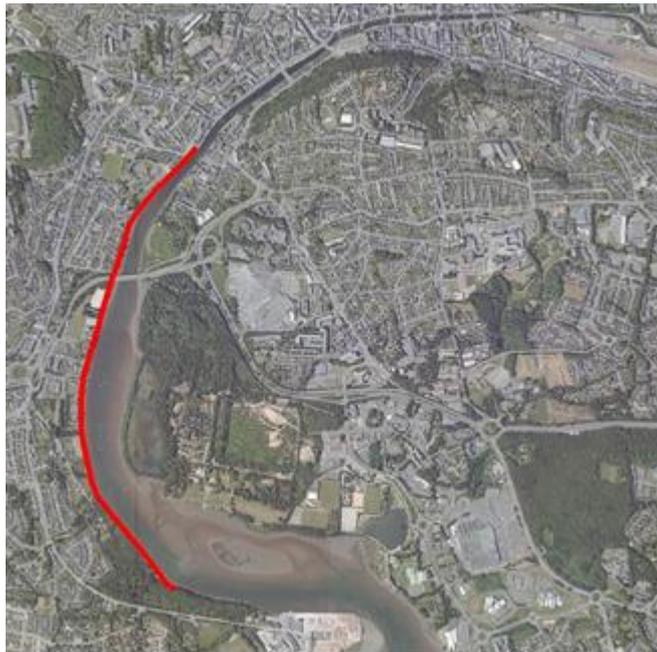


Fig. 68. Digue du halage



Fig. 69. Digue de l'hippodrome

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.7.5.1. HYPOTHESES DE MODELISATION

Les brèches sont placées là où les digues sont les plus hautes (niveau de crête-niveau du terrain naturel côté zone protégée).

Pour rappel les murets rive droite du Froust sont systématiquement effacés pour l'ensemble des simulations.

Les scénarios suivants ont été modélisés :

- **Scénario F+20 – brèche Hippodrome RD** : scénario fluvial de référence (crue centennale-coef 95+20cm) et brèche en rive droite de la digue de l'Hippodrome environ 50m en aval du Pont de la rue Kerhuel.(rive droite, PK 21 804)
- **Scénario F+20 – brèche Hippodrome RG** : scénario fluvial de référence (crue centennale-coef 95+20cm) et brèche en rive gauche de la digue de l'Hippodrome au droit de la gare (rive droite, PK 21 000)
- **Scénario F+20 – effacement Hippodrome RD** : scénario fluvial de référence (crue centennale-coef 95+20cm) et effacement de la digue de l'Hippodrome rive droite
- **Scénario F+20 – effacement Hippodrome RG** : scénario fluvial de référence (crue centennale-coef 95+20cm) et effacement de la digue de l'Hippodrome rive gauche
- **Scénario F+20 – effacement Hippodrome TOTAL** : scénario fluvial de référence (crue centennale-coef 95+20cm) et effacement complet de la digue de l'Hippodrome
- **Scénario M+20 – brèche Halage** : scénario maritime de référence (crue biennale-niveau maritime centennial+20cm) et brèche dans la digue du Halage environ 300m en aval du pont de Poulguinan (rive droite, PK 17 720)
- **Scénario M+20 – effacement Halage** : scénario maritime de référence (crue biennale-niveau maritime centennial+20cm) effacement complet de la digue du Halage

L'emplacement de la rupture est donné en Fig. 70.

2.7.5.2. CONDITIONS ET GEOMETRIE DES RUPTURES

Les hypothèses de rupture sont les suivantes :

- Déclenchement quand : hauteur d'eau = 3/4 hauteur de digue ;
- Largeur de brèche = 3 x hauteur digue ;
- Durée d'ouverture : 2 mn soit quasi instantanée.

L'effacement des digues est simulé en modifiant les valeurs du MNT sur tout le linéaire considéré. Cet effacement est pris en compte dès le début de la durée de simulation.

La figure suivante localise les différentes ruptures de digue modélisées.

Sur l'Odet, le PK 0 correspond à Bénodet (Aval du modèle hydraulique).

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

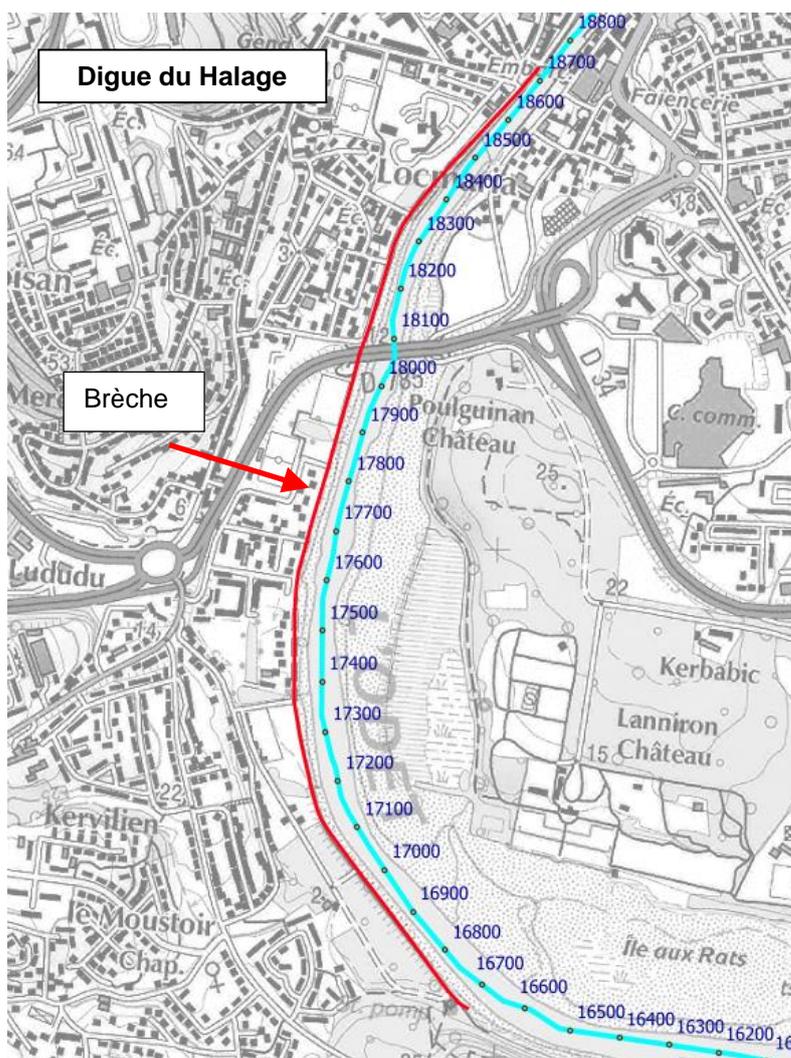
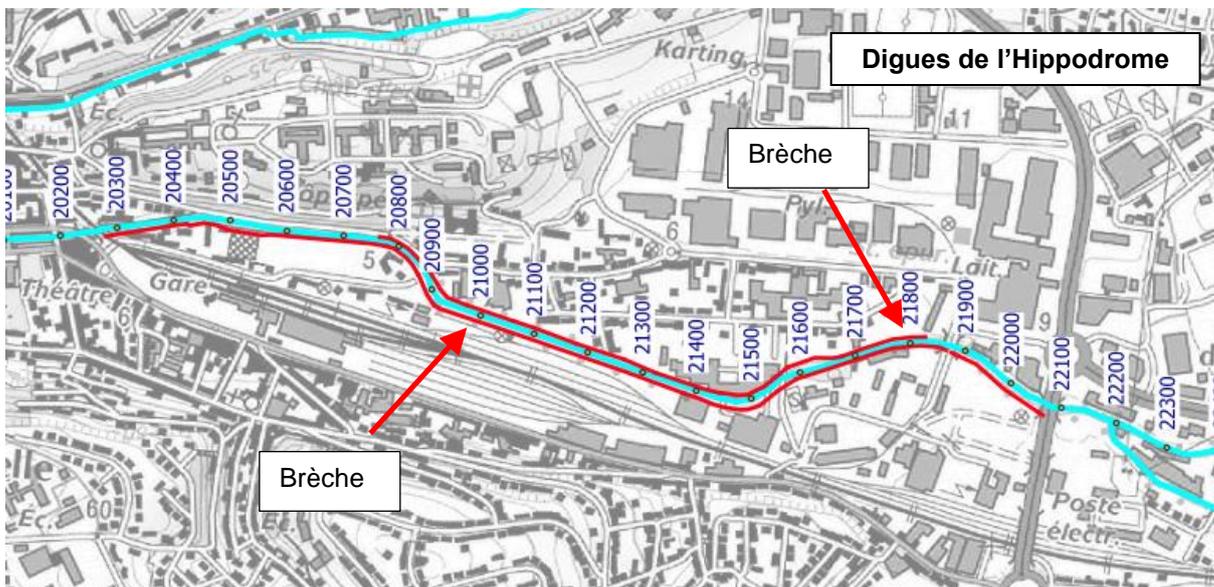


Fig. 70. Localisation des ruptures simulées

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.8. ALEAS DE REFERENCE

2.8.1. CARACTERISATION

2.8.1.1. ALEA HAUTEUR ET DYNAMIQUE

Selon l'Arrêté du 5 juillet 2019, la dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux prévue à l'article R. 562-11-4 du code de l'environnement est qualifiée suivant au moins deux classes : « lente » et « rapide ». Une classe intermédiaire « moyenne » peut être ajoutée si nécessaire.

Les modalités de qualification des niveaux de l'aléa de référence, selon l'arrêté, sont synthétisées dans le tableau suivant. On remarque qu'il y a 4 classes d'aléas alors que seulement 3 classes d'aléas étaient étudiés dans le PPRi actuel.

Tabl. 31 - Caractérisation des aléas, arrêté du 05 Juillet 2019

Hauteur	Dynamique		
	Lente	Moyenne	Rapide
H < 0,5 mètre	Faible	Modéré	Fort
0,5 < H < 1 mètre	Modéré	Modéré	Fort
1 < H < 2 mètres	Fort	Fort	Très fort
H > 2 mètres	Très fort	Très fort	Très fort

Afin de quantifier l'effet dynamique, qui est subjectif, une classe a été imposée sur les vitesses et sur la montée des eaux.

2.8.1.1.1. CLASSEMENT SPECIFIQUE DE L'ALEA EN SE BASANT SUR LA VITESSE DES ECOULEMENTS

Les modalités de qualification des niveaux de l'aléa de référence sont synthétisées dans le tableau suivant:

La cartographie des aléas dans cette étude, est basée sur la grille définie dans la Tabl. 32 - .

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Tabl. 32 - Caractérisation des aléas

Hauteur	Vitesse	Aléa
Faible $H < 0.50 \text{ m}$	Faible ($V < 0.2 \text{ m/s}$)	Faible
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Modéré
	Forte ($V > 0.5 \text{ m/s}$)	Fort
Moyenne $0.50 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Modéré
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Modéré
	Forte ($V > 0.5 \text{ m/s}$)	Fort
Forte $1 \text{ m} < H < 2 \text{ m}$	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Fort
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Fort
	Forte ($V > 0.5 \text{ m/s}$)	Très fort
Très forte $H > 2 \text{ m}$	Faible $V < 0.2 \text{ m/s}$	Très fort
	Moyenne $0.2 \text{ m/s} < V < 0.5 \text{ m/s}$	Très fort
	Forte ($V > 0.5 \text{ m/s}$)	Très fort

Les résultats de modélisation ont permis d'établir un croisement entre les maximums de la vitesse et de la hauteur d'eau. Ainsi la variable « aléa » est calculée et extraite sur l'ensemble des simulations.

L'évènement fluvial de référence a un impact prépondérant sur les parties amont de la zone d'étude, alors que l'évènement maritime se fait principalement ressentir en aval de la confluence avec le Steïr (Halage).

Afin d'obtenir une carte d'aléa de synthèse, les cartes d'aléa issues de l'ensemble des simulations (avec et sans brèche/effacement) ont été compilées afin d'en extraire l'aléa maximum sur le territoire. La carte d'aléa finale ne représente donc pas un seul évènement mais bien le maximum d'un ensemble d'évènements.

Il est également important de préciser que cette méthodologie ne correspond pas à un scénario dans lequel serait imposée une condition centennale en amont et en aval. En effet, dans cette configuration, l'interaction entre l'apport amont et aval génère une enveloppe d'inondation avec une période de retour bien supérieure à l'évènement centennal.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.8.1.1.2. CLASSEMENT SPECIFIQUE DE L'ALEA EN SE BASANT SUR LA VITESSE DE MONTEE DES EAUX

La vitesse des écoulements a été prise en compte pour représenter la dynamique des écoulements à l'aide du Tabl. 32 - . L'aléa peut également être estimé en fonction de la vitesse de montée des eaux dans les zones à enjeux et en se basant sur le Tabl. 31 - . Ainsi 3 secteurs ont été identifiés pour cet ajustement de l'aléa :

- En amont de la confluence avec le Steïr, le long de l'Odét: la durée entre les premiers débordements et le maximum de l'inondation est de l'ordre de 12 heures (voire plus).
⇒ **Dynamique lente : pas de modification**
- Au droit de la digue du Halage : la durée entre les premiers débordements et le maximum de l'inondation est de l'ordre de 2 à 3 heures.
⇒ **Dynamique rapide : Modification de l'aléa « faible » ou « modéré » en aléa « fort » et modification de l'aléa « fort » en aléa « très fort ».**
- En amont de la confluence avec l'Odét, le long du Steïr: la durée entre les premiers débordements et le maximum de l'inondation est de l'ordre de 6 heures (voire moins).
⇒ **Dynamique moyenne : modification de l'aléa « faible » en aléa « modéré ».**

Le classement de la combinaison de la vitesse des écoulements et de la vitesse de montée des eaux a été intégré dans la cartographie de l'aléa.

2.8.1.2. CLASSEMENT SPECIFIQUE LIE A LA PRESENCE DE DIGUES (BANDES DE PRECAUTION)

Les résultats obtenus par les simulations de brèches ne mettent pas en avant d'accélération notable et durable des écoulements à l'arrière des digues.

Toutefois une bande de précaution s'applique de façon réglementaire à l'arrière des systèmes d'endiguement. L'emprise de cette bande **correspond à une zone d'aléa très fort**, elle est déterminée tous les 50 m de la façon suivante :

- Ouvrage de hauteur > 1.5 m

Emprise = $100 \times (\text{hauteur d'eau max} - \text{niveau du terrain naturel côté zone protégée})$ avec un minimum de 50m

- Ouvrage de hauteur < 1.5 m

Emprise = $33 \times (\text{hauteur d'eau max} - \text{niveau du terrain naturel côté zone protégée})$ avec un minimum de 10 m

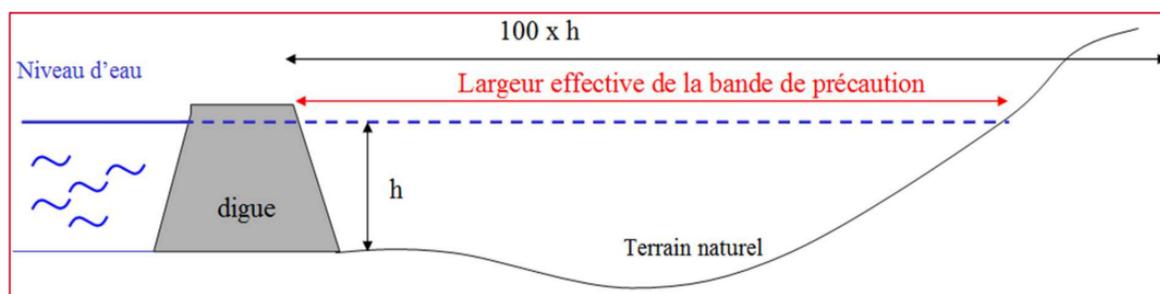


Fig. 71. Largeur de la bande de précaution (schéma de principe)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

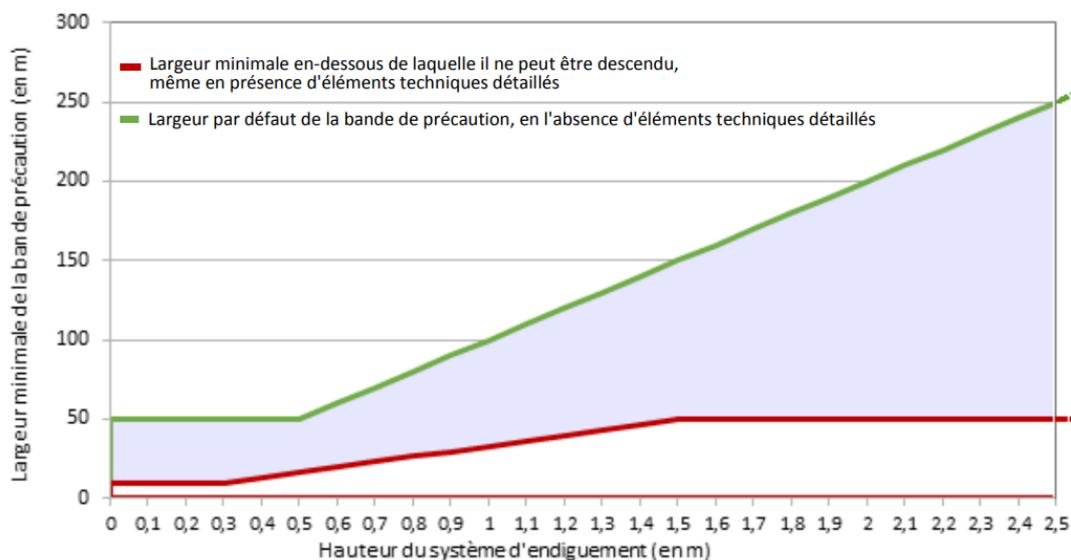


Fig. 72. Largeur de la bande de précaution en fonction de la hauteur

La cartographie de l'aléa intègre le classement de cette zone en aléa « très fort ». La bande de précaution est également présentée sur la carte.

2.8.2. CARTOGRAPHIE

La cartographie des aléas est présentée en annexe pour les scénarios suivants :

- ⇒ Scénario de référence : aléas issus des événements centennaux incluant **+20cm** de rehaussement du niveau marin avec la prise en compte du réchauffement climatique
- ⇒ Scénario à échéance 2100 : aléas issus des événements centennaux incluant **+60cm** de rehaussement du niveau marin avec la prise en compte du réchauffement climatique

2.8.2.1. CARTOGRAPHIE FINALE : LISSAGE

Les contours obtenus ont été « lissés » afin de rendre la cartographie plus lisible. Cette opération a également conduit à la suppression des « poches » isolées <300m² en les surclassant par la classe d'aléa alentours.

Dans un premier temps la superficie des poches isolées est calculée. Si celle-ci est supérieur à 300 m², elle reste telle quelle. Dans un cas contraire, elle est fusionnée avec la poche de l'aléa faible voisin. Le même calcul est réalisé et la nouvelle poche est surclassée. Cette méthode est appliquée jusqu'à l'aléa très fort. Si des superficies de poches restent inférieures à 300m², elles sont alors comparées aux poches voisines avec un aléa fort. Cette méthode est alors appliquée jusqu'à l'aléa faible.

Ainsi, un traitement long et complexe a été réalisé afin de limiter les poches dans la cartographie de l'aléa.

Les zones modélisées en 1D (amont) sont cartographiées de façon simplifiée :

- La cartographie est basée sur un MNT créé à partir des profils 1D (sur le Jet la cartographie est complétée à l'aide du scan 25 notamment au-delà de la voie ferrée) ;
- Les vitesses prises en compte sont les vitesses moyennes par profil.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.8.2.2. COTES DE REFERENCE

Des côtes de référence sont présentées sur la cartographie des aléas. Ces côtes de référence sont présentées sous deux formes :

- Profils en travers
- Isocote

Les profils en travers sont réalisés dans la zone représentée par le modèle 1D, ce qui correspond aux zones amont et aval. Dans ces zones encaissées ou estuariennes, le niveau d'eau reste presque identique le long d'un profil en travers.

En revanche, dans le centre de Quimper, il y a des différences fortes de niveaux d'eau entre le lit mineur et le lit majeur. L'isocote permet d'être beaucoup plus précise pour représenter les variations de niveau d'eau dans le lit majeur.

2.9. ANALYSE DES RESULTATS DES ALEAS DE REFERENCE

Les résultats donnent des différences par rapport aux cartes du PPRi actuel. L'analyse est basée sur 2 paramètres :

- Aléa
- Hauteur d'eau

2.9.1. ALEA

L'aléa est difficile à comparer car il n'est pas basé sur les mêmes paramètres. En effet, dans le PPRi de 2008, l'aléa était défini par le tableau suivant :

Tabl. 33 - Classement de l'aléa pour le PPRi de 2008

Niveau d'eau	aléa
$H < 0.5 \text{ m}$	Faible
$0.5\text{m} < H < 1 \text{ m}$	Moyen
$H > 1\text{m}$	Fort

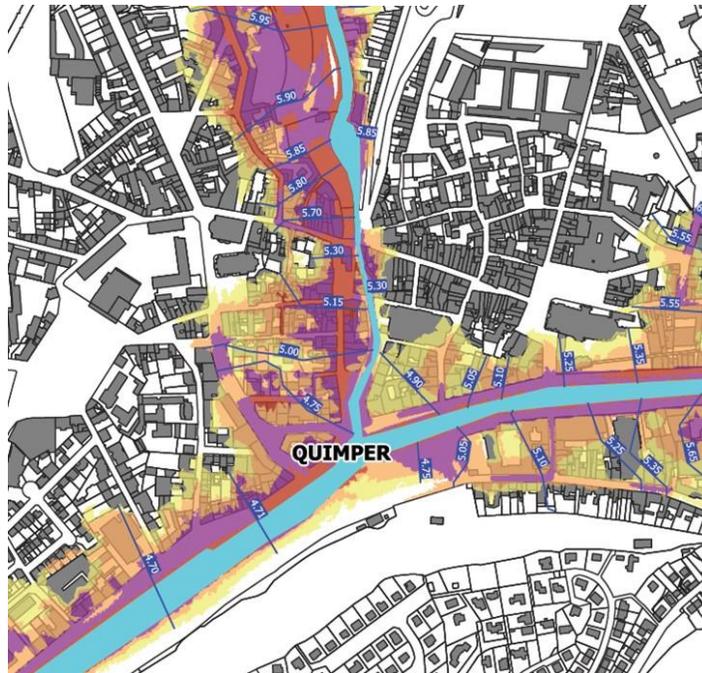
Ce tableau est différent du Tabl. 32 - utilisé pour définir l'aléa. Il est similaire si la vitesse est inférieure à 0.2 m/s ce qui est rarement le cas, donc l'analyse sur l'aléa montre une grande proportion de différences.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

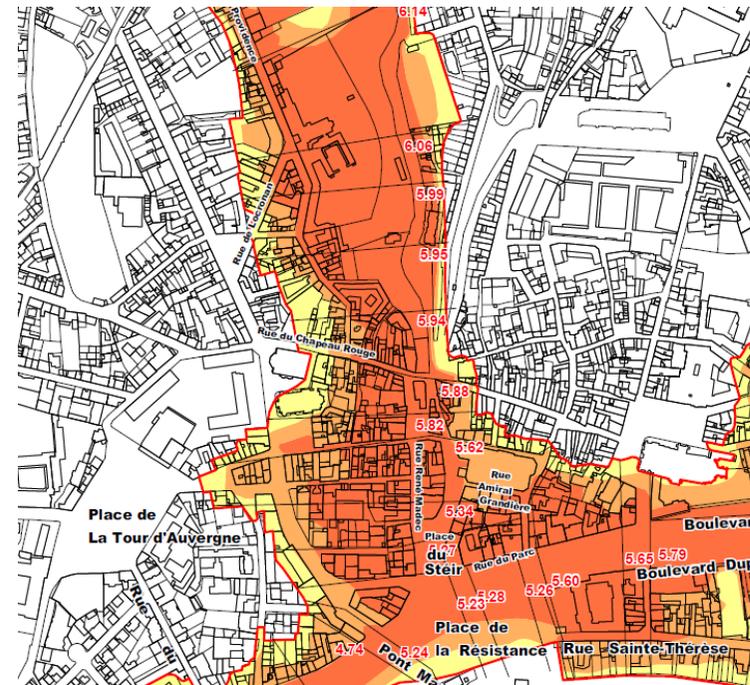
Etude inondation 2020



Aléa (combinaison hauteur et vitesse)

- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort
- Aléa très fort

PPRi 2008



- Hauteur d'eau comprise entre 0 et 0,50m pour une crue d'occurrence centennale
- Hauteur d'eau comprise entre 0,50 et 1m pour une crue d'occurrence centennale
- Hauteur d'eau supérieure à 1m pour une crue d'occurrence centennale

Fig. 73. Comparaison des aléas

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odét et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

La Fig. 73 montre que la comparaison des aléas n'est pas pertinente car les paramètres pris en compte sont différents. L'analyse ne peut donc se baser que sur les niveaux d'eau.

2.9.2. HAUTEUR D'EAU

Il est important de connaître les hypothèses des modèles pour expliquer les différences. Ainsi plusieurs aspects doivent être analysés :

- Condition aval
- Condition amont
- Structure du modèle (1D ou bidimensionnel)
- Type de modèle (permanent ou transitoire)
- Données topographiques et bathymétriques
- Evolution du site (avec ou sans travaux)
- Prise en compte des ouvrages hydrauliques (digues intégrées ou non)

2.9.2.1. CONDITION AVAL

Les conditions à l'aval du modèle du PPRi de 2008 sont différentes par rapport à celles de l'étude actuelle.

En effet le niveau à l'aval du modèle du PPRi de 2008 est de 3.70 m IGN69 (au Corniguel), donc le niveau est bien plus faible que dans l'étude actuelle (environ 4.70 m IGN69, issus du modèle hydraulique avec une condition aval à Bénodet de 4.43 m IGN69.)

2.9.2.2. CONDITION AMONT

En condition amont, les pics de débit sont presque identiques (moins de 5 % de différence).

Tabl. 34 - Débit en amont aux confluences (PPRi 2008 et étude 2020)

	Débit Etude 2008	Débit Etude 2020
Odét	145	150
Jet	68	70
Steir	123	130

En revanche dans l'étude de 2008, le débit est constant alors que dans l'étude de 2020, elle est basée sur un hydrogramme, donc les niveaux d'eau en amont sont probablement surestimés pour l'étude de 2008. Dans un écoulement permanent, les volumes mis en jeu, sont bien plus conséquents. En effet, on considère qu'il n'y a plus d'effet d'écrêtement car le débit reste constant. On aboutit ainsi dans des zones relativement plates, où l'écrêtement est un paramètre important, à des surestimations des hauteurs. En amont des stations hydrométriques, les vallées sont relativement encaissées et la pente des cours d'eau est forte, donc l'écrêtement est faible. En revanche, il n'est plus négligeable au niveau de Quimper.

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.9.2.3. TYPE DE MODELE (PERMANENT OU TRANSITOIRE)

Les 2 modèles sont lancés en régime transitoire. Il faut cependant indiquer que les débits en amont pour l'étude de 2008 sont constants donc représentent plus ou moins un modèle permanent. En effet, seule la condition de marée est variable lors de l'étude de 2008.

2.9.2.4. COMBINAISONS DE MODELE

Le modèle du PPRi de 2008 est basé sur un seul événement alors que le modèle de 2020 intègre plusieurs combinaisons. Pour rappel, l'ensemble des scénarios est présenté dans le chapitre 2.7.5.1. Afin d'obtenir une carte d'aléa de synthèse, les cartes d'aléa issues de l'ensemble des simulations (avec et sans brèche/effacement) ont été compilées afin d'en extraire l'aléa maximum sur le territoire.

2.9.2.5. STRUCTURE DU MODELE (1D OU BIDIMENSIONNEL)

Le modèle du PPRi de 2008 est basé sur une approche unidimensionnelle. Alors que la nouvelle étude considère une approche bidimensionnelle. L'approche unidimensionnelle a tendance à surestimer les niveaux d'eau car les axes d'écoulements préférentiels en lits majeurs ne peuvent pas être correctement représentés.

2.9.2.6. DONNEES TOPOGRAPHIQUES ET BATHYMETRIQUES

Les données topographiques et bathymétriques sont différentes. Les données topographiques étaient issues en 2008 de quelques points en lit majeur et le modèle était donc basé sur une interpolation entre ces points. Le modèle actuel est basé sur des données LIDAR avec 1 point /m². La représentation du lit majeur est donc bien meilleure dans l'étude de 2020.

En ce qui concerne, la bathymétrie, quelques profils complémentaires ont également pu apporter une meilleure connaissance du cours d'eau. Ainsi, les levés réalisés en particulier au niveau de la station de Ty-Planche ont permis de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique de cette station. La station a en effet été déplacée, comme il a été indiqué dans le chapitre 2.2.2.

2.9.2.7. EVOLUTION DU SITE (AVEC OU SANS TRAVAUX)

Le site a naturellement évolué entre la période pendant laquelle le PPRi de 2008 et l'étude actuelle ont été réalisés. En revanche, les travaux principaux dans le lit de la rivière avaient été réalisés.

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

2.9.2.8. ANALYSE DE CERTAINS POINTS STRATEGIQUES

Plusieurs points stratégiques ont été identifiés et présentent des fortes différences entre les 2 modèles.

Tabl. 35 - Niveau d'eau à plusieurs points stratégiques

Secteur	PPRI 2008 (m IGN69)	Etude 2020 (m IGN69)	Différence (m)
Coté Est de l'hippodrome. Aval du Pont de la rue Kerhuel	8.20	7.70	-0.50
Gare (salle des sports)	7.20	6.62	-0.58
Profil avant confluence avec le Steïr (parking Résistance)	5.60	5.04	-0.56
Dernier profil aval du Steïr	5.23	4.75	-0.48
Providence	6.14 à 6.36	6.01 à 6.05	-0.10 à -0.30
Aval de Quimper (entre Steïr et digue du Halage)	4.00 à 5.24	4.70	-0.54 à +0.70
Halage	3.70	4.70	+ 1.00

2.9.2.8.1. COTE EST DE L'HIPPODROME

On observe une différence de 50 cm. En effet, les aménagements ont contribué à cette différence (Passerelle Dornic et élargissement du lit au droit de l'Hippodrome). De plus, le modèle de 2008 considérait un débit amont constant et donc un volume de crue bien plus important.

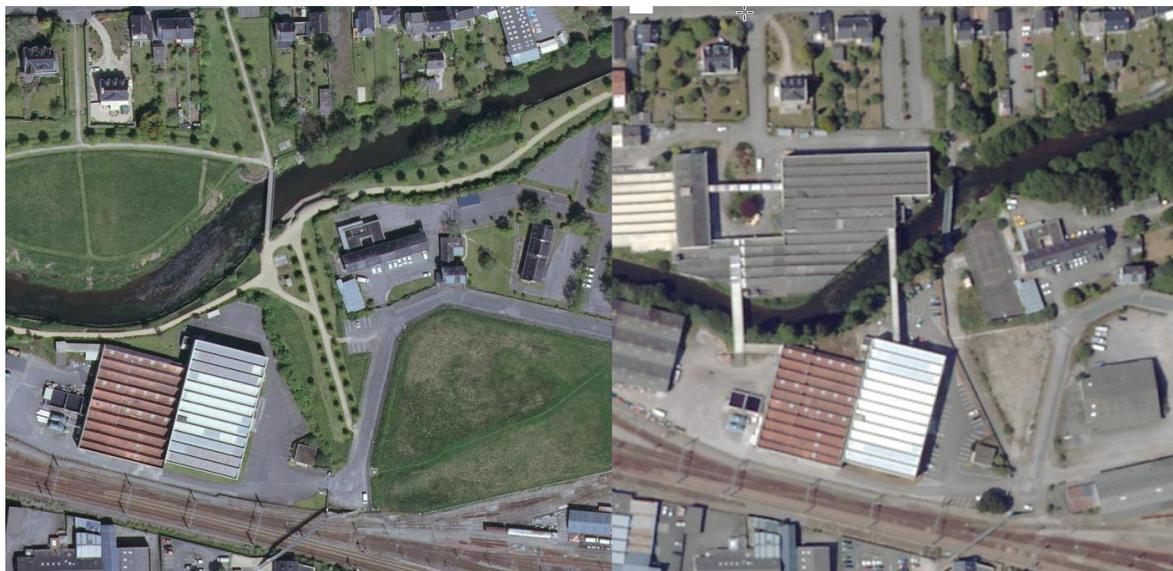


Fig. 74. Comparaison de l'état entre 2005 (à droite) et 2018 (à gauche)

2.9.2.8.2. GARE (SALLE DES SPORTS)

Au niveau de la gare, les explications sont similaires. De plus, les travaux sur le Pont Firmin ont contribué à accentuer cette différence sur le secteur de la gare.

2.9.2.8.3. PROFIL AVANT CONFLUENCE AVEC LE STEÏR (PARKING RESISTANCE)

Comme pour les sites précédents, le débit constant apporte un volume bien supérieur, ainsi les hauteurs d'eau sont plus élevées pour l'étude du PPRi 2008.

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

Il doit également être noté comme le montre la Fig. 73, que les enveloppes sont similaires. Des légères variations en termes de topographie du lit majeur pourraient donc également expliquer cette différence.

2.9.2.8.4. DERNIER PROFIL AVAL DU STEÏR

La raison est identique à celle donnée précédemment.

2.9.2.8.5. AU NIVEAU DE LA PROVIDENCE ET EN AMONT DU STEÏR

Les résultats sont identiques.

2.9.2.8.6. AVAL DE QUIMPER (ENTRE STEÏR ET DIGUE DU HALAGE)

Le gradient de niveau est plus fort dans le PPRi 2008. En effet, les débits sont constants en amont et le niveau aval est plus faible. Il est donc logique d'observer cette variation de niveau.

2.9.2.8.7. HALAGE

Les conditions à l'aval sont plus élevées dans l'étude de 2020 donc la différence d'un mètre au niveau du Halage est réaliste.

2.9.3. CONCLUSION

Il a pu être observé des différences d'enveloppe et de niveaux d'eau entre la carte d'aléa du PPRi de 2008 et cette étude de 2020.

En revanche, les différences observées sur les secteurs importants sont dues à plusieurs raisons expliquées dans le chapitre précédent.

Il reste cependant quelques incertitudes car il n'y a pas d'explications précises sur la construction du modèle hydraulique de 2008. Ainsi, l'intégration des ouvrages ou la topographie utilisée ne sont pas bien définies.

Il apparaît ainsi que, compte tenu des différences observées dans les hypothèses, les deux cartes d'aléas sont cohérentes.

L'approche de cette étude réalisée en 2020, intègre une hydrologie plus précise (intégration d'un hydrogramme), un outil hydraulique qui intègre précisément les écoulements en lit majeur, une nouvelle topographie, issue de la campagne LIDAR et les derniers aménagements sur le secteur d'étude.

ANNEXE 1

Données hydrométriques de la Banque Hydro (Décembre 2020)

Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT

L'Odet à Ergué-Gabéric [Tréodet] J4211910		Le Jet à Ergué-Gabéric [Kerjean] J4224010		Le Steir à Guengat [Ty-Planche) J4313011	
Date	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)	Date	Q (m ³ /s)
		19 fév. 1967	15.8		
		07 janv. 1968	11.2		
		17 janv. 1969	17.3		
		29 janv. 1970	15.9		
01 janv. 1970	29.7	26 janv. 1971	10.4		
27 janv. 1971	44.4	13 fév. 1972	18.3		
13 fév. 1972	53.8	13 déc. 1972	13.9		
13 déc. 1972	50.4	15 fév. 1974	35.5		
01 fév. 1974	93.5	20 janv. 1975	17.1		
14 nov. 1974	56.6	30 janv. 1976	6.31		
30 janv. 1976	18.5	20 fév. 1977	26.3	20 fév. 1977	42.3
01 fév. 1977	57.5	28 janv. 1978	15.9	28 janv. 1978	26.8
28 janv. 1978	43.9	09 fév. 1979	11.5	09 fév. 1979	24.3
10 fév. 1979	32.2	28 déc. 1979	13.3	28 déc. 1979	26.5
28 déc. 1979	60.8	24 mar. 1981	9.97	08 mar. 1981	14.5
08 mar. 1981	25.1	10 janv. 1982	14.7	10 janv. 1982	32.9
10 janv. 1982	55.3	20 déc. 1982	20	20 déc. 1982	35.4
20 déc. 1982	54.3	26 janv. 1984	15.3		
26 janv. 1984	37.9	21 janv. 1985	14.5		
21 janv. 1985	50.2	24 janv. 1986	15.1	29 janv. 1986	22.2
21 janv. 1986	39	19 déc. 1986	14.3	19 déc. 1986	22.9
19 déc. 1986	35	12 fév. 1988	30.3	12 fév. 1988	44.9
12 fév. 1988	63.2	24 fév. 1989	9.78	24 fév. 1989	12.3
16 mar. 1989	16.1	14 fév. 1990	22.4	14 fév. 1990	49.7
14 fév. 1990	71.5	06 juil. 1991	18.5	07 juil. 1991	34.5
10 janv. 1991	48.2	13 oct. 1991	8.46	15 fév. 1992	11
14 oct. 1991	13.2	02 déc. 1992	28.3	02 déc. 1992	45.2
02 déc. 1992	51.8	02 janv. 1994	14	02 janv. 1994	29.7
02 janv. 1994	38.3	22 janv. 1995	42.1	22 janv. 1995	55.4
22 janv. 1995	73	25 fév. 1996	12.3	23 déc. 1995	21.4
23 déc. 1995	26.7	25 fév. 1997	10	25 fév. 1997	12.3
26 fév. 1997	17	02 janv. 1998	17.4	05 janv. 1998	28.3
02 janv. 1998	27.4	23 avr. 1999	13	25 oct. 1998	27.3
25 oct. 1998	46	28 déc. 1999	19.4	28 déc. 1999	60.3
25 déc. 1999	56.5	12 déc. 2000	50.6	12 déc. 2000	89.5
13 déc. 2000	97.1	05 fév. 2002	10.5	05 fév. 2002	22.9
05 fév. 2002	47.7	14 nov. 2002	15.2	20 janv. 2003	37.9
20 janv. 2003	56.9	13 janv. 2004	12.3	13 janv. 2004	23.7
14 janv. 2004	38.1	30 oct. 2004	7.28	21 oct. 2004	8.25
30 oct. 2004	15.9	30 mar. 2006	11.3	02 nov. 2005	17.4
02 déc. 2005	32.7	08 déc. 2006	15.5	08 déc. 2006	33.5
08 déc. 2006	57.8	15 janv. 2008	15.7	15 janv. 2008	24.2
16 janv. 2008	55	25 janv. 2009	17.7	25 janv. 2009	44.1
25 janv. 2009	56.1	28 fév. 2010	18.4	28 fév. 2010	37.3
28 fév. 2010	58.3	13 nov. 2010	16.4	13 nov. 2010	31.9
14 nov. 2010	61.9	16 déc. 2011	23.7	16 déc. 2011	42.4
16 déc. 2011	76.5	20 déc. 2012	21.1	20 déc. 2012	46
20 déc. 2012	61.2	11 fév. 2014	38.3	07 fév. 2014	68.8
24 déc. 2013	78.9	15 janv. 2015	10.7	15 janv. 2015	32.8
15 janv. 2015	42.2	18 janv. 2016	22.9		
07 janv. 2016	49.9	21 nov. 2016	9.84	05 fév. 2017	14.3
21 nov. 2016	19.2	20 janv. 2018	14.6	20 janv. 2018	30.3
20 janv. 2018	44.8	21 déc. 2018	11.6	03 déc. 2018	26.8
04 déc. 2018	27.4	22 déc. 2019	24.4	22 déc. 2019	34.2
22 déc. 2019	50.1				

ANNEXE 2

Arrêtés

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine »

NOR : TREP1909017D

Publics concernés : tout public.

Objet : modalités d'élaboration des plans de prévention des risques concernant les aléas « débordement de cours d'eau et submersion marine ».

Entrée en vigueur : le texte entre en vigueur le lendemain de sa publication.

Notice : le décret a pour objet de définir les modalités de qualification des aléas « débordement de cours d'eau et submersion marine », les règles générales d'interdiction et d'encadrement des constructions, dans les zones exposées aux risques définies par les plans de prévention des risques naturels prévisibles, en application du VII de l'article L. 562-1 du code de l'environnement.

Références : le code de l'environnement modifié par le présent décret peut être consulté, dans sa rédaction issue de cette modification, sur le site Légifrance (<https://www.legifrance.gouv.fr>).

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre d'Etat, ministre de la transition écologique et solidaire,

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 562-1 à L. 562-9 et L. 566-7 ;

Vu l'avis de la mission interministérielle de l'eau en date du 27 juin 2018 ;

Vu l'avis du conseil d'orientation pour la prévention des risques naturels majeurs en date du 6 juillet 2018 ;

Vu l'avis du Conseil national d'évaluation des normes en date du 8 novembre 2018 ;

Vu les observations formulées lors de la consultation publique réalisée du 5 juillet 2018 au 9 septembre 2018, en application de l'article L. 123-19-1 du code de l'environnement ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu,

Décète :

Art. 1^{er}. – La section 1 du chapitre II du titre VI du livre V du code de l'environnement est ainsi modifiée :

I. – Il est créé une sous-section 1 intitulée « Dispositions communes », qui inclut les articles R. 562-1 à R. 562-11.

II. – Il est créé une sous-section 2 intitulée « Dispositions particulières relatives aux aléas débordement de cours d'eau et submersion marine », ainsi rédigée :

« Sous-section 2

« Dispositions particulières relatives aux aléas débordement de cours d'eau et submersion marine

« Paragraphe 1

« Introduction

« Art. R. 562-11-1. – Les dispositions de la présente sous-section sont applicables, en complément de la sous-section 1, aux aléas suivants :

« 1° Débordement de cours d'eau, à l'exclusion des débordements de cours d'eau torrentiels (qui ont pour caractéristiques une forte pente et un charriage important de matériaux solides) ;

« 2° Submersion marine.

« Art. R. 562-11-2. – Dans le cas de plans de prévention des risques naturels prévisibles pour les aléas débordement de cours d'eau et submersion marine, la délimitation des zones et la définition des mesures prévues à l'article L. 562-1 se fondent sur :

« 1° La carte de l'aléa de référence mentionnée à l'article R. 562-11-4 ;

« 2° La carte de l'aléa à échéance 100 ans mentionnée à l'article R. 562-11-5 dans le cas de l'aléa submersion marine ;

« 3° L'analyse des enjeux, que sont notamment les personnes, les biens et les activités économiques, susceptibles d'être affectés par l'aléa.

« *Paragraphe 2*

« *Détermination, qualification et représentation cartographique de l'aléa de référence*

« *Art. R. 562-11-3.* – L'élaboration d'un plan de prévention des risques concernant les aléas débordement de cours d'eau et submersion marine nécessite la détermination préalable d'un aléa de référence. Cet aléa de référence est déterminé à partir de l'évènement le plus important connu et documenté ou d'un évènement théorique de fréquence centennale, si ce dernier est plus important. Dans le cas de l'aléa de référence pour la submersion marine, une hauteur supplémentaire, précisée par arrêté du ministre chargé de la prévention des risques majeurs, est intégrée afin de tenir compte de l'élévation du niveau moyen de la mer due aux conséquences à court terme du changement climatique.

« S'agissant des plans de prévention des risques concernant l'aléa débordement de cours d'eau, sur certains secteurs à faibles ou sans enjeux, l'approche hydrogéomorphologique peut être utilisée pour déterminer l'aléa de référence.

« En ce qui concerne les systèmes d'endiguement autorisés au titre de l'article R. 562-14, la détermination de l'aléa de référence prend en compte des scénarios de défaillance de ces systèmes.

« *Art. R562-11-4.* – I. – L'aléa de référence est qualifié et représenté de manière cartographique, selon au maximum quatre niveaux : "faible", "modéré", "fort" et "très fort", en fonction de la hauteur d'eau ainsi que de la dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux.

« Les modalités de qualification des niveaux de l'aléa de référence sont précisées par arrêté du ministre chargé de la prévention des risques majeurs.

« Toutefois, les bandes de précaution à l'arrière des systèmes d'endiguement sont classées en zone d'aléa de référence très fort. La largeur de cette bande de précaution est égale à cent fois la différence entre la hauteur d'eau maximale qui serait atteinte à l'amont de l'ouvrage du fait de la survenance de l'aléa de référence et le terrain naturel immédiatement derrière lui. Cette largeur peut être adaptée sur la base d'éléments techniques de l'ouvrage fournis par son propriétaire ou son gestionnaire ; elle ne peut toutefois pas être inférieure à une largeur définie par arrêté du ministre chargé de la prévention des risques majeurs.

« De même, dans le cas des plans de prévention des risques relatifs à l'aléa submersion marine, l'aléa de référence intègre la prise en compte des chocs mécaniques des vagues et des projections de matériaux. Dans les secteurs qui y sont soumis, cette prise en compte se traduit par la matérialisation d'une bande particulière. Cette bande particulière est classée en zone d'aléa de référence modéré à très fort, en fonction de l'intensité du phénomène.

« II. – En sus de l'aléa de référence, la représentation cartographique fait également apparaître, à titre informatif, les zones protégées par un système d'endiguement dont le niveau de protection est au moins égal à l'aléa de référence. Cette représentation est sans incidence sur la qualification de l'aléa de référence.

« *Art. R. 562-11-5.* – S'agissant de la submersion marine, l'aléa à échéance 100 ans correspond à l'aléa de référence mentionné à l'article R. 562-11-3 auquel est ajoutée une marge supplémentaire, précisée par arrêté du ministre chargé de la prévention des risques majeurs. Cet aléa supplémentaire correspond à la prise en compte des impacts du changement climatique à échéance 100 ans. L'aléa à échéance 100 ans est qualifié et représenté de manière cartographique selon les mêmes dispositions que celles prévues à l'article R. 562-11-4.

« *Paragraphe 3*

« *Zonage réglementaire et règlement*

« *Art. R. 562-11-6.* – Le règlement détermine notamment les limitations au droit de construire dans les zones définies par le plan de prévention des risques. Pour ce qui concerne les constructions nouvelles, les limitations au droit de construire prévues au 3° de l'article R. 562-3 sont les suivantes :

« I. – Dans les zones non urbanisées, dans les zones d'aléas de référence faible, modéré, fort ou très fort, le règlement du plan de prévention des risques interdit toute construction nouvelle ;

« Toutefois, dans les zones d'aléas de référence faible ou modéré, des exceptions peuvent être autorisées si elles répondent aux conditions définies à l'article R. 562-11-7 ; le règlement du plan de prévention des risques impose alors des prescriptions.

« II. – Dans les zones urbanisées, en dehors des centres urbains :

« 1° Dans les zones d'aléa de référence faible et modéré, le règlement du plan de prévention des risques impose des prescriptions aux constructions nouvelles ;

« 2° Dans les zones d'aléa de référence fort et très fort, le règlement du plan de prévention des risques impose des prescriptions aux constructions réalisées dans le cadre d'une opération de renouvellement urbain ayant pour effet de réduire la vulnérabilité sur le périmètre de l'opération. Toute autre construction nouvelle est interdite.

« Toutefois, dans les zones protégées par un système d'endiguement dont le niveau de protection est au moins égal à l'aléa de référence, des exceptions peuvent être autorisées si elles répondent aux conditions définies à l'article R. 562-11-7 ; le règlement du plan de prévention des risques impose alors des prescriptions.

« III. – Dans les centres urbains :

« 1° Dans les zones d'aléa de référence faible et modéré, le règlement du plan de prévention des risques impose des prescriptions aux constructions nouvelles ;

« 2° Dans les zones d'aléa de référence fort, le règlement du plan de prévention des risques impose des prescriptions aux constructions nouvelles suivantes :

« a) Les constructions dans les dents creuses (qui se définissent comme un espace résiduel, de taille limitée, entre deux bâtis existants) ;

« b) Les constructions réalisées dans le cadre d'une opération de renouvellement urbain ayant pour effet de réduire la vulnérabilité sur le périmètre de l'opération.

« Toute autre construction nouvelle est interdite.

« Toutefois, des exceptions peuvent être autorisées si elles répondent aux conditions définies à l'article R. 562-11-7 ; le règlement du plan de prévention des risques impose alors des prescriptions.

« 3° Dans les zones d'aléa de référence très fort, le règlement du plan de prévention des risques impose des prescriptions aux constructions réalisées dans le cadre d'une opération de renouvellement urbain ayant pour effet de réduire la vulnérabilité sur le périmètre de l'opération. Toute autre construction nouvelle est interdite.

« Toutefois, des exceptions peuvent être autorisées si elles répondent aux conditions définies à l'article R. 562-11-7 ; le règlement du plan de prévention des risques impose alors des prescriptions.

« IV. – Au sein des zones d'aléa de référence, le règlement du plan de prévention des risques peut également distinguer des zones particulières au regard du risque de débordement de cours d'eau et de submersion marine, dans lesquelles toute construction nouvelle est interdite.

« A l'intérieur ou en dehors des zones d'aléa de référence, le règlement du plan de prévention des risques peut également interdire :

« – les constructions nouvelles dont les caractéristiques ou l'usage rendent l'évacuation complexe ;

« – les constructions nécessaires à la gestion de crise ;

« – les constructions pouvant engendrer des pollutions en cas d'inondation.

« V. – Une reconstruction après sinistre n'est pas considérée comme une construction nouvelle au sens du présent article.

« Art. R. 562-11-7. – 1° Peuvent faire l'objet d'une exception, mentionnée à l'article R. 562-11-6, les demandes répondant aux conditions suivantes :

« Le secteur, objet de la demande d'exception, est porteur d'un projet d'aménagement :

« – qui est essentiel pour le bassin de vie,

« et

« – qui est sans solution d'implantation alternative à l'échelle du bassin de vie, ou pour lequel les éventuelles solutions d'implantations alternatives à l'échelle du bassin de vie présentent des inconvénients supérieurs à ceux résultant des effets de l'aléa de référence.

« Si le secteur objet de la demande d'exception est situé dans une zone non urbanisée, les constructions nouvelles dans ce secteur sont compensées par la démolition de l'ensemble d'une zone urbanisée existante située dans les zones d'aléa de référence de niveau plus important, permettant ainsi de réduire la vulnérabilité globale.

« 2° Toute demande d'exception est adressée au préfet, sous la forme d'une délibération motivée, par l'autorité compétente en matière de plan local d'urbanisme, de document en tenant lieu ou de carte communale dans le cadre de la procédure d'élaboration ou de révision du plan de prévention des risques, au plus tard à l'occasion de la consultation des organes délibérants de la collectivité prévue aux articles R. 562-7 et R. 562-10.

« La demande d'exception est accompagnée d'un avis de l'autorité compétente en matière de gestion des milieux aquatiques et de prévention des inondations.

« Cette demande est annexée au registre d'enquête dans les conditions prévues par l'article R. 123-13 du code de l'environnement.

« 3° Le préfet refuse la demande d'exception si elle présente des risques excessifs auxquels il ne peut être remédié par des prescriptions. Il se prononce après avoir examiné la demande au regard des éléments d'appréciation suivants :

« a) La capacité du projet à assurer le libre écoulement des eaux, et la conservation, la restauration ou l'extension des champs d'inondation ;

« b) Le niveau de protection du ou des éventuels systèmes d'endiguement, leurs conditions d'entretien et d'exploitation, ainsi que la connaissance des écoulements des eaux pour un évènement exceptionnel ;

« c) Une conception de l'aménagement permettant la sécurité des personnes et des biens et un retour rapide à une situation normale, ainsi que les dispositions en matière de sensibilisation des populations ;

« d) Les dispositions en matière d'alerte et de gestion de crise, y compris les délais prévisibles d'alerte et de secours au vu des caractéristiques de l'aléa ;

« e) La réduction de la vulnérabilité à l'échelle du bassin de vie, par une action à une échelle plus large que celle du projet.

« *Art. R. 562-11-8.* – Dans les zones en principe inconstructibles en application de l'article R. 562-11-6, par exception, le règlement du plan de prévention des risques précise, le cas échéant, les types de construction qui, compte tenu de leurs caractéristiques, peuvent ne pas être interdits et les soumet à prescriptions. Dans tous les cas, ces constructions n'ont pas pour vocation d'accueillir des personnes vulnérables et ne sont pas des lieux de sommeil.

« *Art. 562-11-9.* – I. – En complément des exigences mentionnées à l'article R. 562-11-6, s'agissant des plans de prévention des risques relatifs à l'aléa submersion marine, le règlement respecte les dispositions suivantes :

« 1° Dans les zones non urbanisées où le niveau de l'aléa de référence est nul mais le niveau de l'aléa à échéance 100 ans est fort ou très fort, le règlement du plan de prévention des risques interdit les constructions nouvelles ;

« 2° Dans les zones non urbanisées où le niveau de l'aléa de référence est nul mais le niveau de l'aléa à échéance 100 ans est faible ou modéré, le règlement du plan de prévention des risques soumet à prescriptions les constructions nouvelles ou les interdit ;

« 3° Dans les zones urbanisées où le niveau de l'aléa de référence est nul mais le niveau de l'aléa à échéance 100 ans n'est pas nul, le règlement du plan de prévention des risques soumet à prescriptions les constructions nouvelles.

« II. – Lorsque le règlement du plan de prévention des risques relatifs à l'aléa submersion marine soumet à prescriptions les constructions nouvelles, ces prescriptions sont définies à partir de l'aléa à échéance 100 ans. »

Art. 2. – Le 1° de l'article R. 562-3 du code de l'environnement est remplacé par les dispositions suivantes :

« 1° Une note de présentation indiquant le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles, compte tenu de l'état des connaissances. S'agissant des aléas débordement de cours d'eau et submersion marine, sont intégrées à cette note de présentation les cartes suivantes :

« a) La carte de l'aléa de référence mentionnée à l'article R. 562-11-4 ;

« b) La carte de l'aléa à échéance 100 ans mentionnée à l'article R. 562-11-5 dans le cas de l'aléa submersion marine. »

Art. 3. – Les dispositions du présent décret sont applicables aux plans de prévention des risques naturels prévisibles prévus à l'article L. 562-1 du code de l'environnement concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine », dont l'élaboration ou la révision est prescrite par un arrêté pris postérieurement au jour de la publication du présent décret ou dont la procédure d'adaptation prévue au III de l'article L. 562-4-1 du code de l'environnement a été engagée postérieurement au jour de la publication du présent décret.

Art. 4. – Quand une disposition du plan de gestion des risques d'inondation adopté antérieurement à l'entrée en vigueur du présent décret est incompatible avec les dispositions des articles R. 562-11-1 à R. 562-11-9 du code de l'environnement, elle n'est pas opposable aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine ».

Art. 5. – Le ministre d'Etat, ministre de la transition écologique et solidaire, est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 5 juillet 2019.

EDOUARD PHILIPPE

Par le Premier ministre :

*Le ministre d'Etat,
ministre de la transition écologique
et solidaire,*

FRANÇOIS DE RUGY

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Arrêté du 5 juillet 2019 relatif à la détermination, qualification et représentation cartographique de l'aléa de référence et de l'aléa à échéance 100 ans s'agissant de la submersion marine, dans le cadre de l'élaboration ou de la révision des plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine »

NOR : TREP1910234A

Le ministre d'Etat, ministre de la transition écologique et solidaire,
Vu le code de l'environnement, notamment ses articles R. 562-11-3 à R. 562-11-5,

Arrête :

Art. 1^{er}. – La hauteur supplémentaire prévue à l'article R. 562-11-3 du code de l'environnement est fixée à vingt centimètres.

Art. 2. – La dynamique liée à la combinaison de la vitesse d'écoulement de l'eau et de la vitesse de montée des eaux prévue à l'article R. 562-11-4 du code de l'environnement est qualifiée suivant au moins deux classes : « lente » et « rapide ». Une classe intermédiaire « moyenne » peut être ajoutée si nécessaire.

Les modalités de qualification des niveaux de l'aléa de référence sont synthétisées dans le tableau suivant :

Hauteur	Dynamique	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
	H < 0,5 mètre		Faible	Modéré
0,5 < H < 1 mètre		Modéré	Modéré	Fort
1 < H < 2 mètres		Fort	Fort	Très fort
H > 2 mètres		Très fort	Très fort	Très fort

Toutefois, dans le cas d'une hauteur inférieure à 0,5 mètre et d'une dynamique rapide, le niveau de l'aléa de référence peut, pour des hauteurs extrêmement faibles, être qualifié en modéré.

Art. 3. – La largeur minimale de la bande de précaution définie au troisième alinéa du I de l'article R. 562-11-4 est fixée à cinquante mètres, sauf dans le cas où le terrain naturel atteint la cote NGF de la hauteur d'eau de l'aléa de référence avant les cinquante mètres. Pour les tronçons de système d'endiguement d'une hauteur inférieure à 1,5 mètre, cette largeur minimale de cinquante mètres peut être ramenée à 33 fois la différence entre la hauteur d'eau maximale qui serait atteinte à l'amont de l'ouvrage du fait de la survenance de l'aléa de référence et le terrain naturel immédiatement derrière lui, sans pouvoir être inférieure à dix mètres.

Art. 4. – La marge supplémentaire prévue à l'article R. 562-11-5 du code de l'environnement est fixée à au moins quarante centimètres.

Art. 5. – Le directeur général de la prévention des risques est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 5 juillet 2019.

Pour le ministre d'Etat et par délégation :
*Le directeur général
de la prévention des risques,*
C. BOURILLET

ANNEXE 3

Cartographie des aléas

**Révision du Plan de Prévention du Risque d'inondation de l'Odet et ses affluents
à Quimper, Guengat et Ergué Gabéric**

Phase 2 : Caractérisation des aléas

RAPPORT
