

DDT DE LA NIÈVRE

ÉTUDE DE DANGERS DES DIGUES DE LA LOIRE DE CLASSE B ET C

***A - Etude de modélisation
hydraulique unidimensionnelle de la
Loire***

Juin 2017

800730_PG_A_ETUDE_M
Projet

BRL
Ingénierie





BRL ingénierie

1105, avenue Pierre Mendès France BP 94001
30 001 Nîmes Cedex 5
Tel : +33 4 66 87 50 85- Fax : +33 4 66 87 51 09 -
mail :
www.brl.fr/brli

PROJET	N	800730	Intitulé	ETUDES DE DANGERS DES DIGUES DE LA LOIRE DE CLASSE B ET C DANS LE DEPARTEMENT DE LA NIEVRE, DU CHER ET DE LA SAONE-ET-LOIRE
Maitre d'ouvrage			DDT 58	
Date de création du document			28 Avril 2014	
Contact			Marie-Christine GERMAIN	
Titre du document			Rapport relatif à l'hydraulique externe	
Référence du document			800730_rapport_hydraulique.doc	
Indice			V1	

Date émission	Indice	Observations	Dressé par	Vérifié et validé par
12/05/2015	V1	Première version	AMA	RRE

Version en cours envoyée le	Destinataires	organisme	Mode d'envoi
19/05/2015	COPIL		extranet

ETUDES DE DANGERS DES DIGUES DE LA LOIRE DE CLASSE B ET C DANS LE DÉPARTEMENT DE LA NIÈVRE, DU CHER ET DE LA SAÔNE-ET-LOIRE

Rapport relatif à l'hydraulique externe

SOMMAIRE

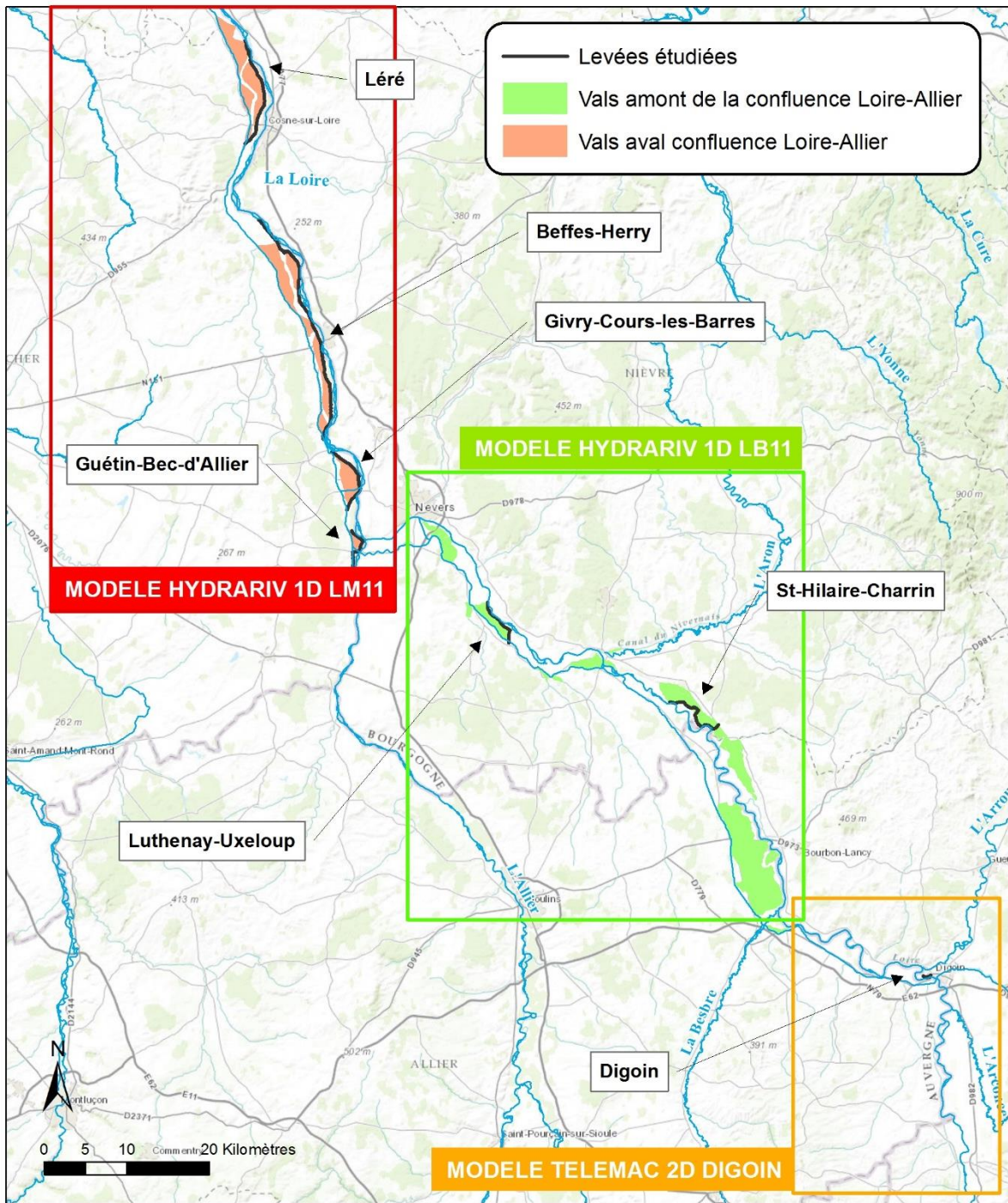
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	5
2. MÉTHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE	7
2.1 Hydrologie	7
2.2 Modélisation hydraulique	8
2.2.1 Modèles hydrauliques utilisés et améliorations apportées	8
2.2.2 Traitement des digues	14
2.3 Projection des lignes d'eau	15
3. PROFILS DE LIGNES D'EAU PAR VAL	17
3.1 Val de Digoin	17
3.2 Val de Saint Hilaire Fontaine (SHF)	19
3.3 Val de Luthenay Uxeloup	21
3.4 Val de Guétin	23
3.5 Val de Givry	25
3.6 Val de Beffes Herry	27
3.7 Val de Léré	30

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les objectifs de l'étude hydraulique externe consistent en la détermination des lignes d'eau dans le lit endigué pour différentes périodes de retour de crue afin :

- d'identifier les zones et occurrences de surverse,
- de définir des niveaux de protection apparents des différents vals
- de fournir les données hydrauliques alimentant le modèle de rupture CARDigue (essentiellement calcul de la charge hydraulique s'appliquant sur les levées)

L'étude concerne 7 vals en amont et en aval de Nevers, du val de Digoin au val de Léré (cf. figure ci-après).



Contexte des levées objets des études de danger et des modèles hydrauliques existant sur la zone

2. MÉTHODOLOGIE MISE EN ŒUVRE

2.1 HYDROLOGIE

Compte tenu de l'éventail des niveaux de protection apparents mis en évidence lors de l'analyse préliminaire des différents vals (aux deux extrêmes, de l'ordre de Q50 pour le val de Guétin et de Q1000 pour le val de Saint Hilaire Fontaine), ce sont au total 11 scénarios de crue qui ont été simulés (voir tableau ci-après).

Scénario		Val de Digoin (T2D)	Val amont Bec d'Allier (LB11)	Val aval Bec d'Allier (LM11)
Q2	2 ans	770	970	1800
Q5	5 ans	1300	1700	2560
Q10	10 ans	1450	1950	3100
Q20	20 ans	1600	2150	3600
Q50	50 ans	1900	2450	4200
Q70	70 ans	2080	2620	5000
Q100	100 ans	2620	3280	6000
Q170	170 ans	3500	3500	6500
Q200	200 ans	3870	3900	7000
Q500	500 ans	4500	4500	8500
Q1000	1000 ans	5000	5000	10000

- ▶ Vals aval du Bec d'Allier (LM11) : Les hypothèses utilisées sont reprises de l'étude transversale « hydrologie » menée par Hydro-Expertise. L'influence du barrage de Villerest n'est pas prise en compte pour Q2 et Q5 et est intégrée par interpolation pour les crues fréquentes de Q5 à Q50.
- ▶ Val amont du Bec d'Allier :
 - Val de Saint Hilaire et Luthenay (LB11) : Il a été pris, pour les crues moyennes à rares, le maximum des valeurs retenues pour l'étude de dangers de Decize et des valeurs ISL écrêtées et, pour les crues fréquentes, les valeurs retenues à la station de Nevers.
 - Val de Digoin (T2D) : Les hypothèses hydrologiques utilisées dans le modèle 2D du secteur sont issus de l'analyse menée par ISL dans le cadre de l' « étude hydrologique et hydraulique de la Loire dans l'Allier et la Saône-et-Loire ». L'influence du barrage de Villerest est prise en compte pour les crues Q5 à Q50 par interpolation. Pour les occurrences supérieures à Q100, les hypothèses de la Loire Moyenne sont reprises.

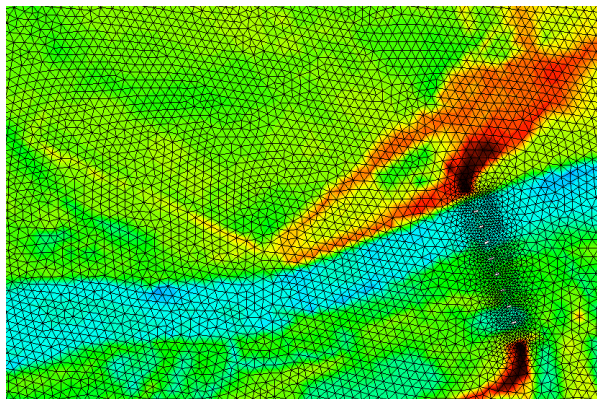
2.2 MODÉLISATION HYDRAULIQUE

2.2.1 Modèles hydrauliques utilisés et améliorations apportées

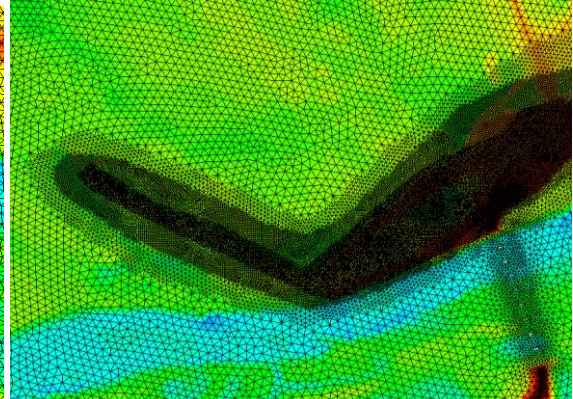
2.2.1.1 Modèle 2D : Val de Digoin

Le modèle TELEMAC Iguerande-Gilly est un modèle bidimensionnel réalisé par ISL pour le compte de la DDT de l'Allier et de la Saône et Loire en 2014 dans le cadre de l'étude hydrologique et hydraulique de la Loire dans l'Allier et la Saône et Loire. Il couvre un linéaire de 71 km. L'objectif de ce modèle est de permettre de cartographier le risque inondation sur la zone d'étude en question.

Il existe également un modèle TELEMAC 2D local de la confluence entre la Loire et l'Arroux au droit de laquelle se situe la ville de Digoin. Ce modèle sera utilisé dans le cadre de l'étude de dangers. Un travail d'affinage du modèle a été conduit dans le souci de garantir une meilleure représentation du système d'endiguement d'un point de vue géométrique et altimétrique.



Modèle T2D Digoin de base



Modèle T2D Digoin affiné

La taille de maille est passée au droit de la crête de digue de 15m à 2m et permet ainsi de prendre en compte de manière plus fine la topographie issue du levé Lidar.

2.2.1.2 Modèle 1D LM11 et LB11

Les deux modèles Hydrariv utilisés pour les vals objets de l'étude de dangers sont :

► **Modèle LM11** : Le modèle LM11 est un modèle filaire-casiers mis au point dans le cadre de l'étude des vals de Loire dans les départements du Cher et de la Nièvre (EP Loire / Hydratec). Il a pour origine la lignée de modèles de la Loire Moyenne qui s'étendent de Nevers à Angers (LM98 à LM10). Contrairement à ces précédents modèles, le modèle LM11 couvre uniquement les vals du Cher situés en aval du bec d'Allier. Les systèmes d'endiguement des présentes études de dangers inclus dans le modèle LM11 sont :

- Val de Léré
- Val de Beffes - Herry
- Val de Givry - Cours les Barres
- Val de Guétin – Bec d'Allier

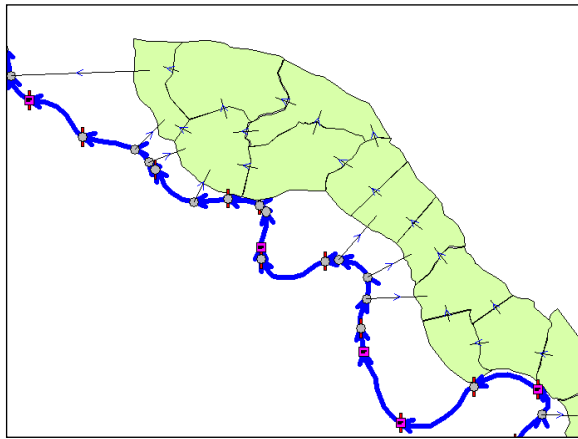
- **Modèle LB11** : Le modèle LB11 est un modèle filaire-casiers mis au point avec le logiciel Hydrariv par le SPC Loire-Cher-Indre en 2013, dans le but de disposer d'un outil de prévision des crues en remplacement de l'outil précédent sur le Loire Bourguignonne qui était un modèle de propagation simplifié. Il couvre le linéaire de la Loire de Gilly à Nevers. Les systèmes d'endiguement des présentes études de dangers inclus dans le modèle LB11 sont :
- Val de Luthenay – Uxeloup
 - Val de Saint Hilaire - Charrin

Une étape préliminaire a tout d'abord consisté à supprimer toutes les brèches par surverse retenues dans le modèle LM11. Cela permet à la fois de retenir une démarche sécuritaire (l'apparition d'une brèche suite à surverse est certes probable mais pas certaine) quant aux niveaux d'eau atteints en amont et en aval de ces secteurs de surverses mais également de préfigurer une situation où les digues auraient été rendues résistantes à la surverse.

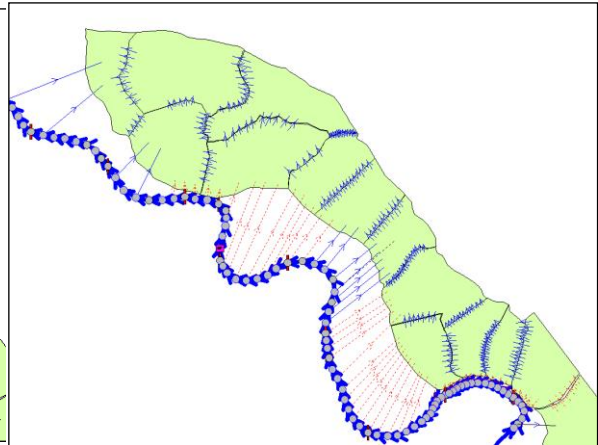
La démarche d'affinage des modèle est la même pour les deux modèles mis à part quelques spécificités qui avaient été présentées dans la note de diagnostic des modèles hydrauliques. Le travail d'affinage comporte les éléments suivants :

- Affinage de la ligne d'eau calculée au sein du lit endigué par densification des nœuds de calcul : réduction de la distance maximale entre chaque nœud à 200 m (contre plus de 500 m actuellement), soit, à raison d'une pente moyenne de la Loire de l'ordre de 0,04%, une dénivelée de la ligne d'eau de l'ordre de 10 cm entre chaque nœud
- Densification de la représentation des échanges lit endigué / val (discrétisation des zones de surverse et des nœuds d'échange) afin d'appréhender correctement la variabilité du profil en long des digues et de la ligne d'eau, selon le même pas d'espace qu'indiqué précédemment
- Affinage transversal (« diffusion » initiale de l'onde de rupture et/ou de la surverse) et longitudinal (propagation aval de l'onde de rupture et/ou de la surverse) du maillage du modèle au sein du val, s'appuyant notamment sur des ouvrages structurants et conduisant à une densification des casiers : maille projetée de l'ordre de 300 à 500 m (contre plus d' 1 km actuellement), soit une dénivelée de la ligne d'eau de l'ordre de 20 cm entre chaque casier ; cette discrétisation spatiale doit en outre permettre de pouvoir représenter explicitement l'hydraulique des brèches (conditions limites aval pertinentes, prise en compte des éventuels facteurs limitants amont, etc.)
- Discrétisation des liaisons entre casiers pour prendre en compte l'hétérogénéité des profils en travers d'écoulement

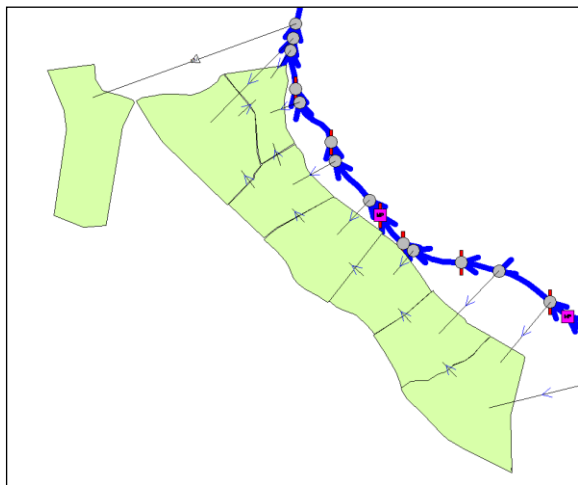
Les figures ci-après donnent un aperçu des différentes modifications apportées.



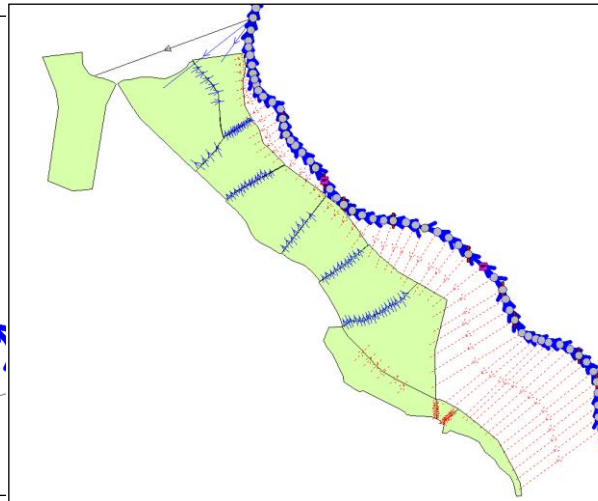
Modèle LM11 (secteur Saint Hilaire)



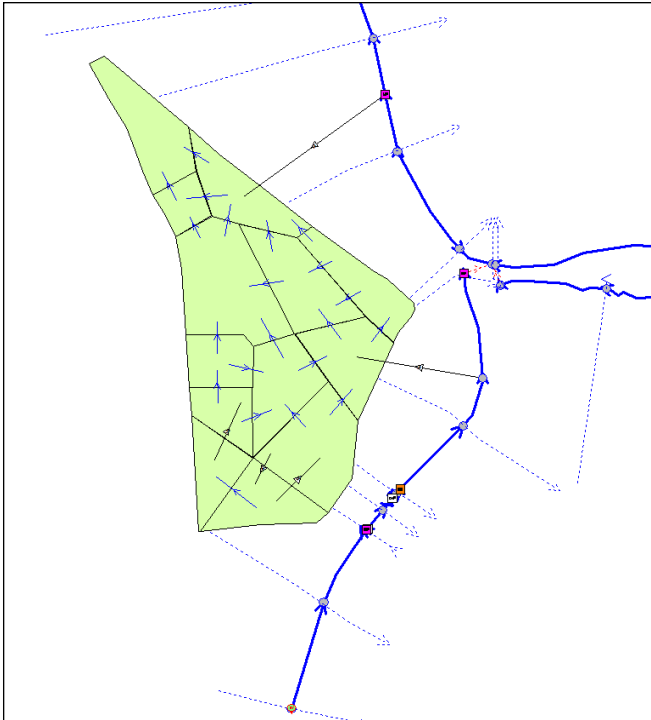
Modèle LM11 EDD58 (secteur Saint Hilaire)



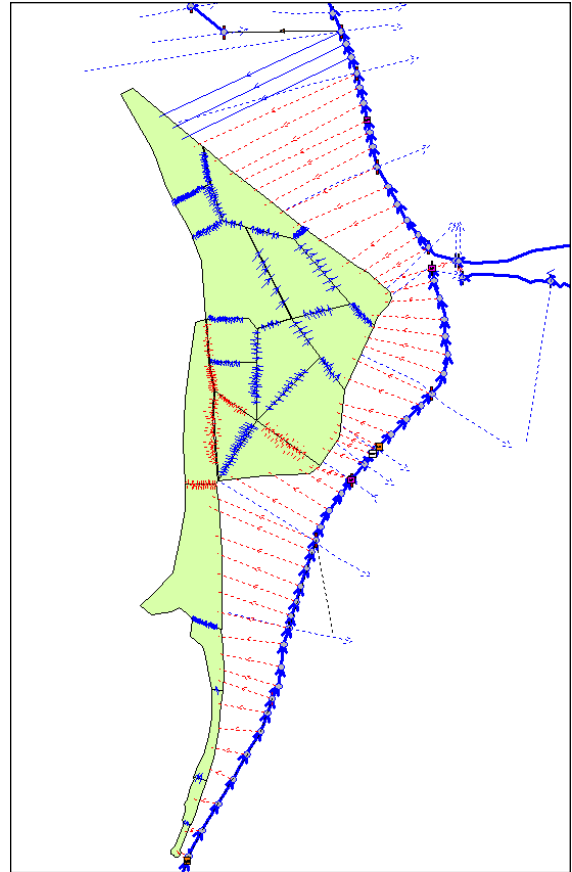
Modèle LM11 (secteur Luthenay-Uxeloup)



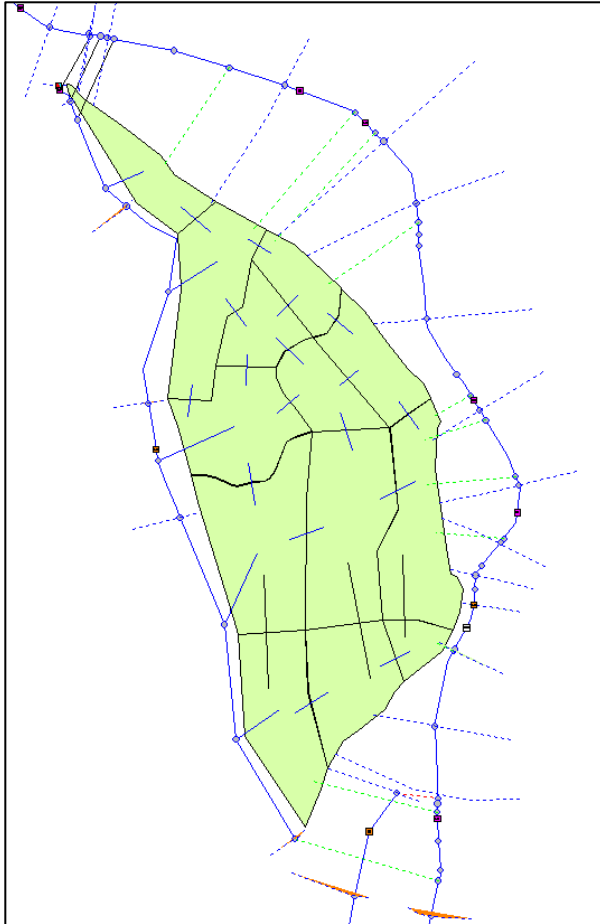
Modèle LM11 EDD58 (secteur Luthenay-Uxeloup)



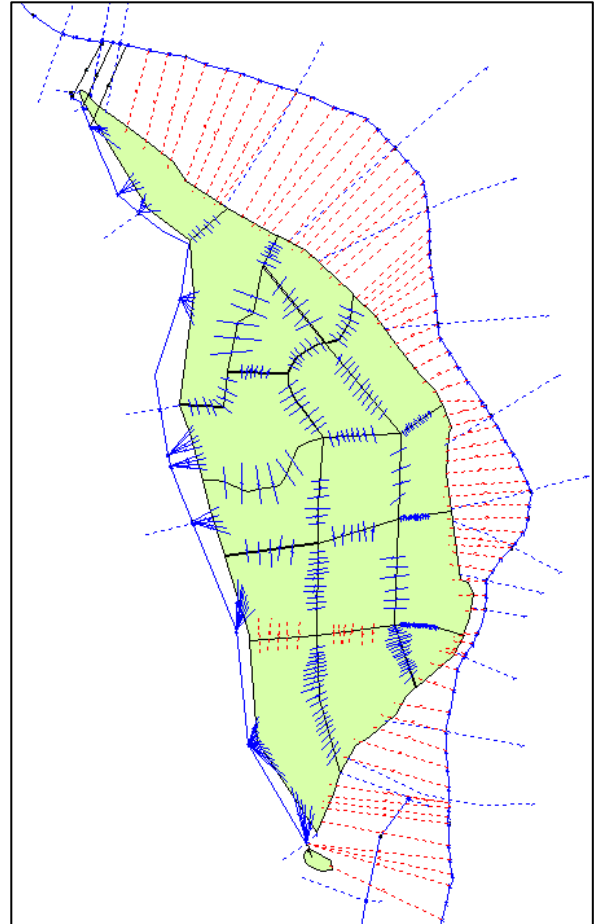
Modèle LM11 (secteur Guétin Bec d'Allier)



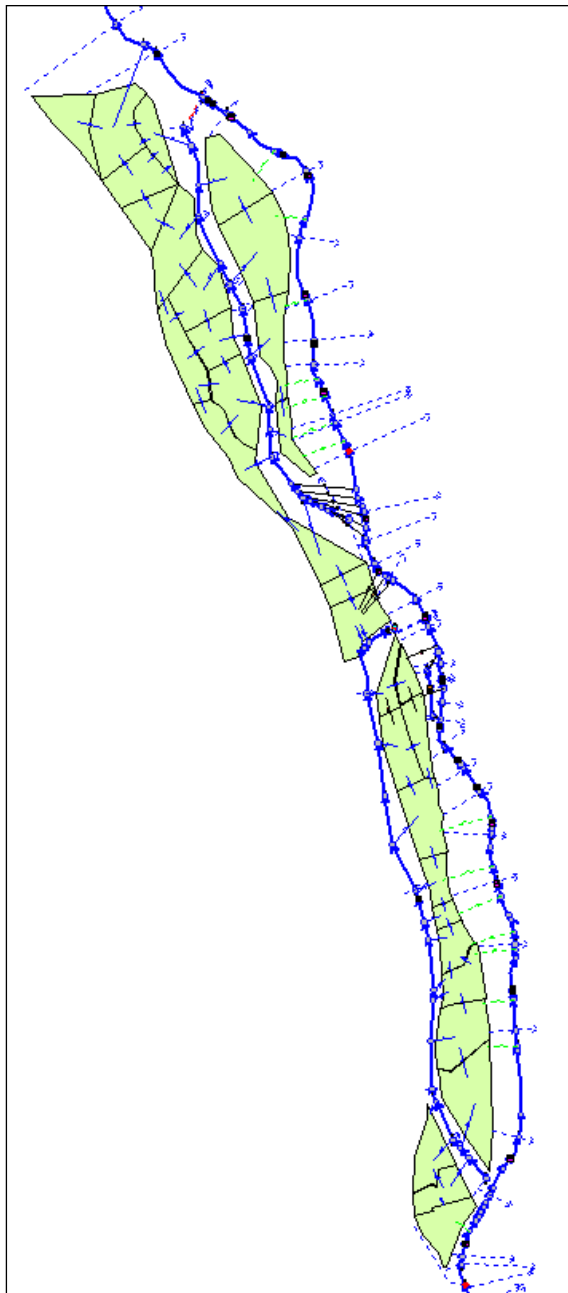
Modèle LM11 EDD58 (secteur Guétin Bec d'Allier)



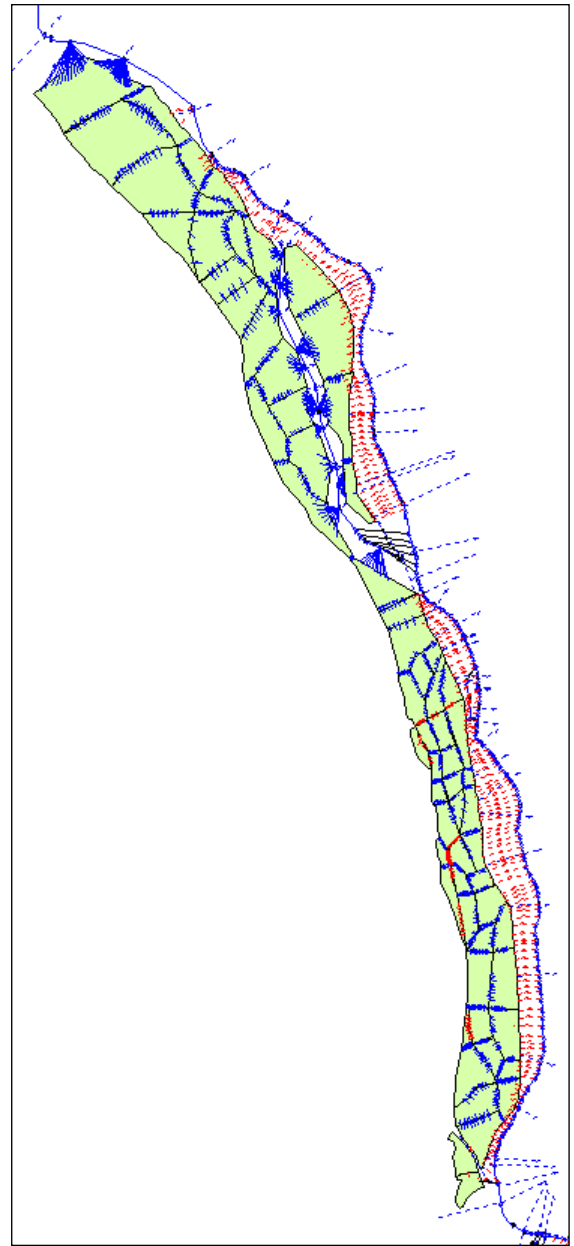
Modèle LM11 (secteur Givry)



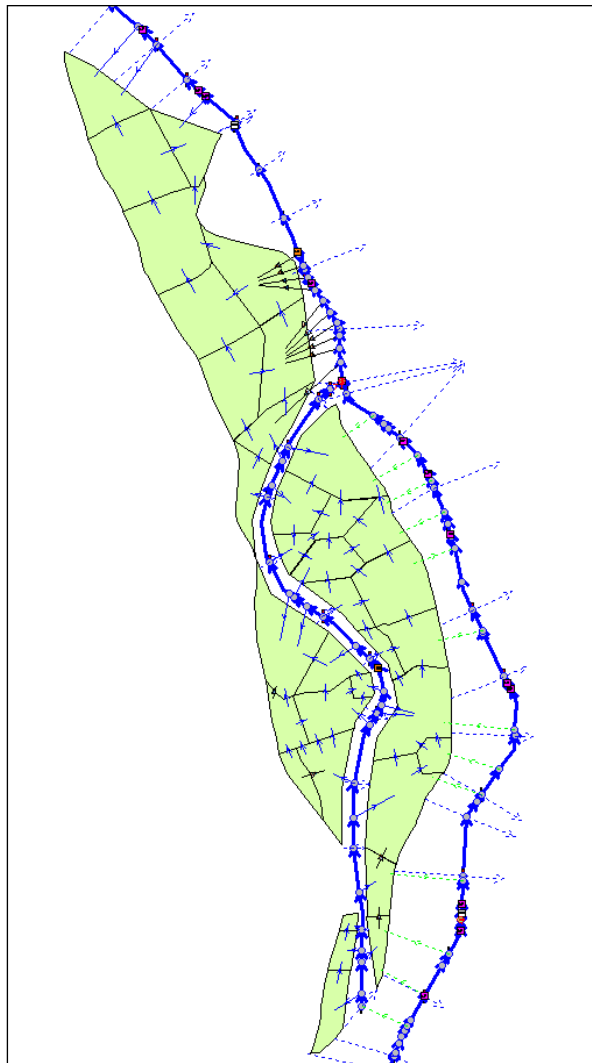
Modèle LM11 EDD58 (secteur Givry)



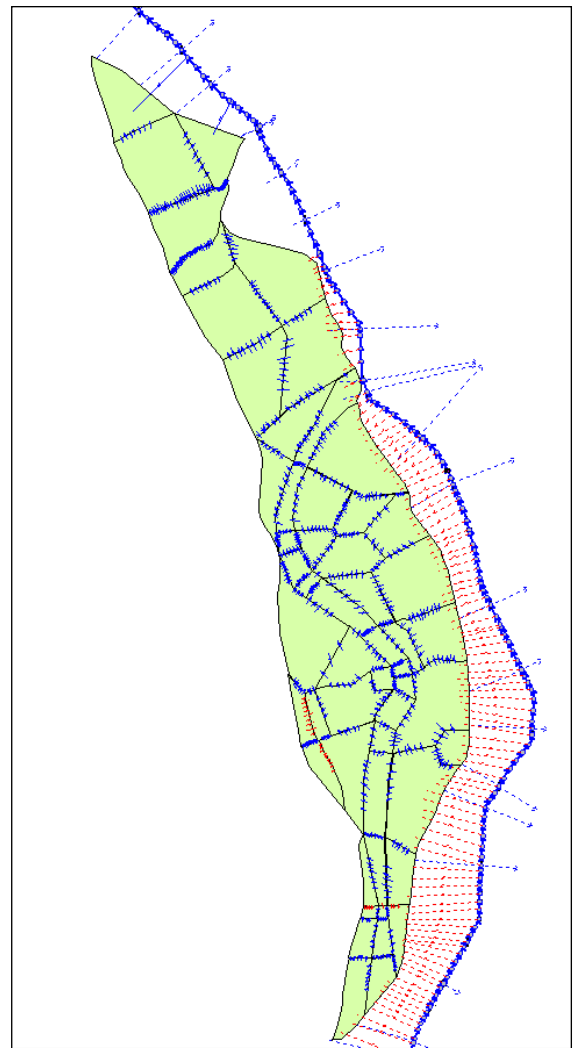
Modèle LM11 (secteur Beffes-Herry)



Modèle LM11 EDD58 (secteur Beffes-Herry)



Modèle LM11 (secteur Léré)

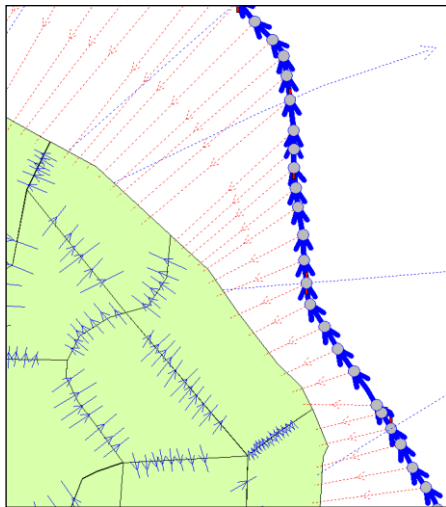


Modèle LM11 EDD58 (secteur Léré)

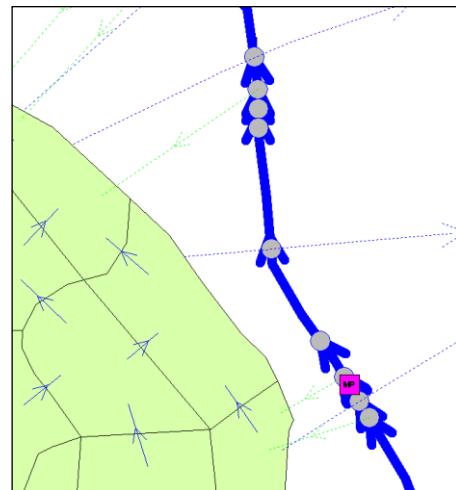
2.2.2 Traitement des digues

Compte tenu des objectifs de l'hydraulique externe, le traitement réservé à la représentation des digues est éminemment important.

Chaque nœud de calcul Hydrariv au sein du lit endigué est « rattaché » au moyen d'une liaison « seuil » au tronçon de digue qui lui fait face. Suite à l'augmentation de la densité de ces nœuds, chaque liaison « seuil » est désormais représentative d'un linéaire d'environ 150 m de digue (contre plus de 1000 m précédemment).



Modèle LM11 EDD58 (secteur Givry)



Modèle LM11 (secteur Givry)

Cela permet à la fois :

- Une meilleure représentativité de la variabilité des cotes de surverse (chaque liaison « seuil » n'étant associée qu'à une unique cote de surverse)
- Une progressivité spatiale des surverses

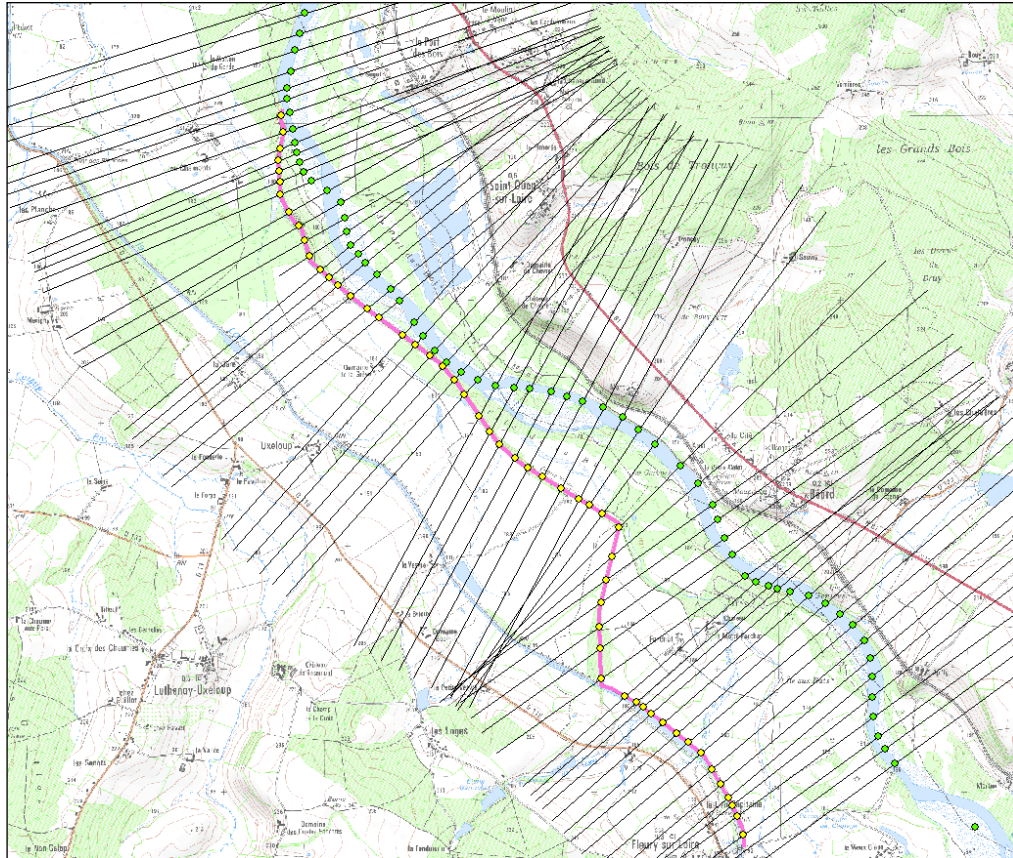
Outre la discrétisation longitudinale de la prise en compte des digues, une reprise complète de leur altimétrie a été conduite. En remplacement des cotes initiales issues de données topographiques peu précises, chaque liaison « seuil » se voit désormais attribuer, outre la longueur précise du tronçon de digue qu'elle est censée modéliser, une cote égale à la cote issue de l'analyse croisée du MNT Loire Moyenne et des mesures de terrain lors des VTA. La cote finalement utilisée est discrétisée tous les 50m et, afin de prendre en compte la situation la plus défavorable pour l'aval¹, c'est systématiquement la cote avec banquette (le cas échéant) qui a été retenue.

2.3 PROJECTION DES LIGNES D'EAU

Contrairement au cadre classique de représentation d'une ligne d'eau, les cotes calculées pour chaque scénario hydrologique ne sont pas représentées en fonction du profil en long du fleuve mais du profil en long des digues. Cela peut conduire à des résultats très différents lorsque le tracé de la digue ne suit pas celui de la Loire.

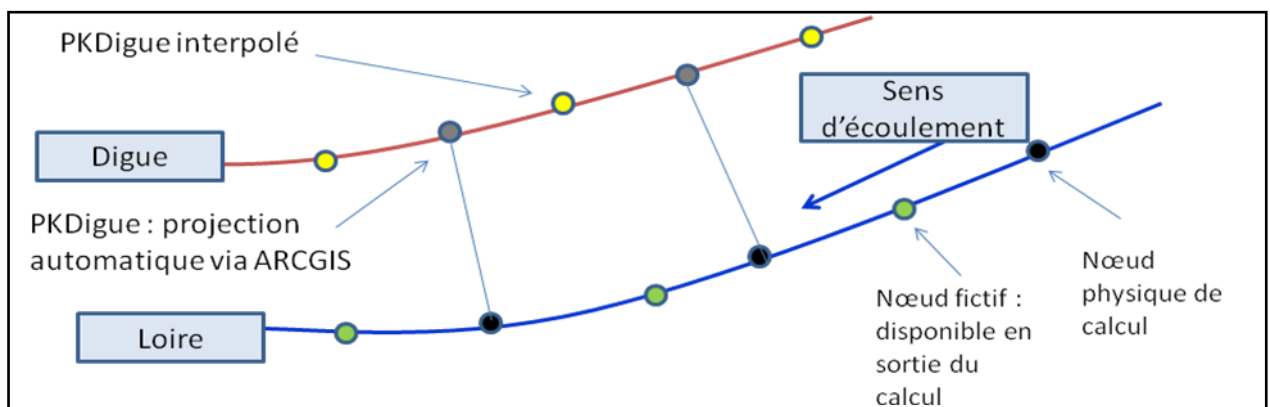
Pour ce faire, une projection de chaque nœud de calcul Hydrariv sur la ou les digues qui lui font face a été réalisée de manière orthogonale à l'axe d'écoulement moyen de la Loire en crue (potentiellement différent de l'axe du lit mineur). Chaque nœud, associé à un PK Loire, s'est donc vu attribuer le PK digue de sa projection sur celle-ci.

¹ A l'inverse, pour la projection des lignes d'eau et l'identification des zones de surverse, c'est souvent la cote de digue jugée résistante à la surverse qui servira d'élément de comparaison.



Projection des nœuds de calcul sur la digue (secteur de Luthenay-Uxeloup)

Les résultats bruts de calcul d'Hydrariv sont cependant disponibles de manière beaucoup plus dense que les seuls nœuds de calcul et permettent en outre de faire apparaître les discontinuités de ligne d'eau dues aux pertes de charge singulières. Aussi, une détermination des PK digue des différents points où les résultats sont fournis a été réalisée par interpolation linéaire à partir du tableau de conversion PK Loire / PK digue des nœuds Hydrariv et des PK Loire des points précités. Au final, pour chaque val et chaque scénario hydrologique, un ensemble dense² de couples PK digue / cote max calculée est obtenu. La cote en un point quelconque est obtenue par simple interpolation linéaire.



² Intervalle de l'ordre de 50 m entre les différents points.

Par ailleurs, à partir du traitement du MNT LiDAR Loire moyenne de 2002 et de l'exploitation des profils CARDigue au pas de 50 m, deux profils en long (avec ou sans banquette) au pas de 5 m de la digue ont été obtenus.

L'identification des zones de surverse repose sur la superposition de ces deux profils en long de la crête de digue avec les profils en long de ligne d'eau obtenus par la méthode décrite ci-avant.

3. PROFILS DE LIGNES D'EAU PAR VAL

Les niveaux caractéristiques du système d'endiguement issus du traitement CARDigue sont les suivants (*cf. rapport topographique*):

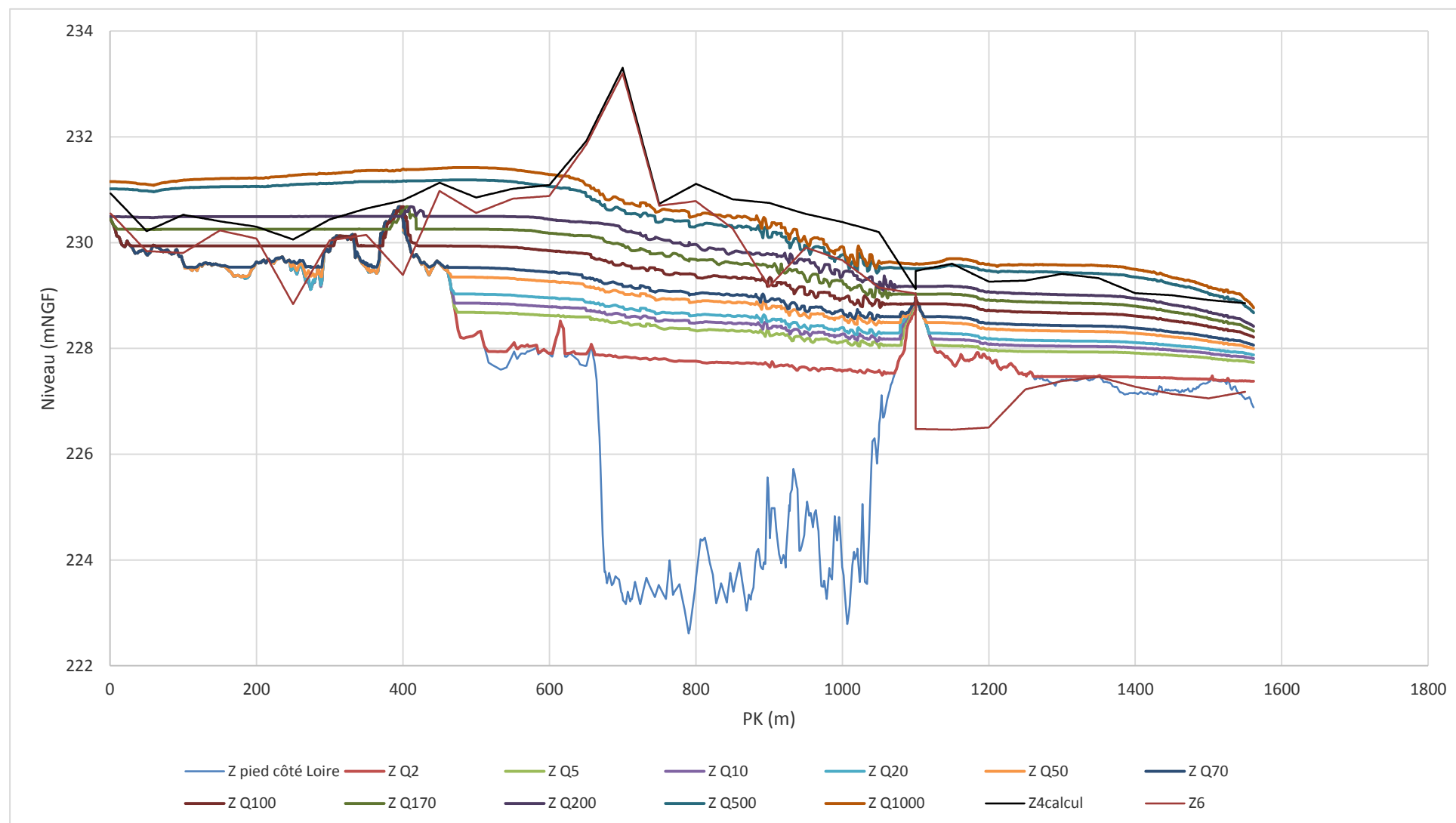
- ▶ Z4 : Profil en long au pas de 50m de la crête de la digue
- ▶ Z3 Profil en long au pas de 50m de la crête de banquette côté Loire
- ▶ Z6 : Profil en long au pas de 50m du pied de digue côté val de l'ouvrage
- ▶ Z4calcul : Profil en long au pas de 50m de la rehausse fiable sur la base de la nature et de l'état de la banquette côté Loire, Z4 augmenté d'une hauteur considérée comme fiable (i.e résistante à la pression de l'eau).

3.1 VAL DE DIGOIN

Le système d'endiguement du Val de Digoïn n'est pas équipé de rehausses. Le val de Digoïn a la particularité de disposer d'un système de défense principale et une digue seconde constituée du linéaire amont de la levée de la Crue.

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes ($<T2$)
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T170 ($100 < T < 170$)
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T170 ($100 < T < 170$)



3.2 VAL DE SAINT HILAIRE FONTAINE (SHF)

Le système d'endiguement du Val de Saint-Hilaire-Fontaine n'est pas équipé de rehausses.

Compte tenu de la longueur du val et de l'ouverture intermédiaire constatée au niveau du système d'endiguement, il semble opportun de décomposer en deux secteurs le val en termes de niveau de protection: le val de Saint Hilaire et le val de Charrin.

VAL DE SAINT HILAIRE

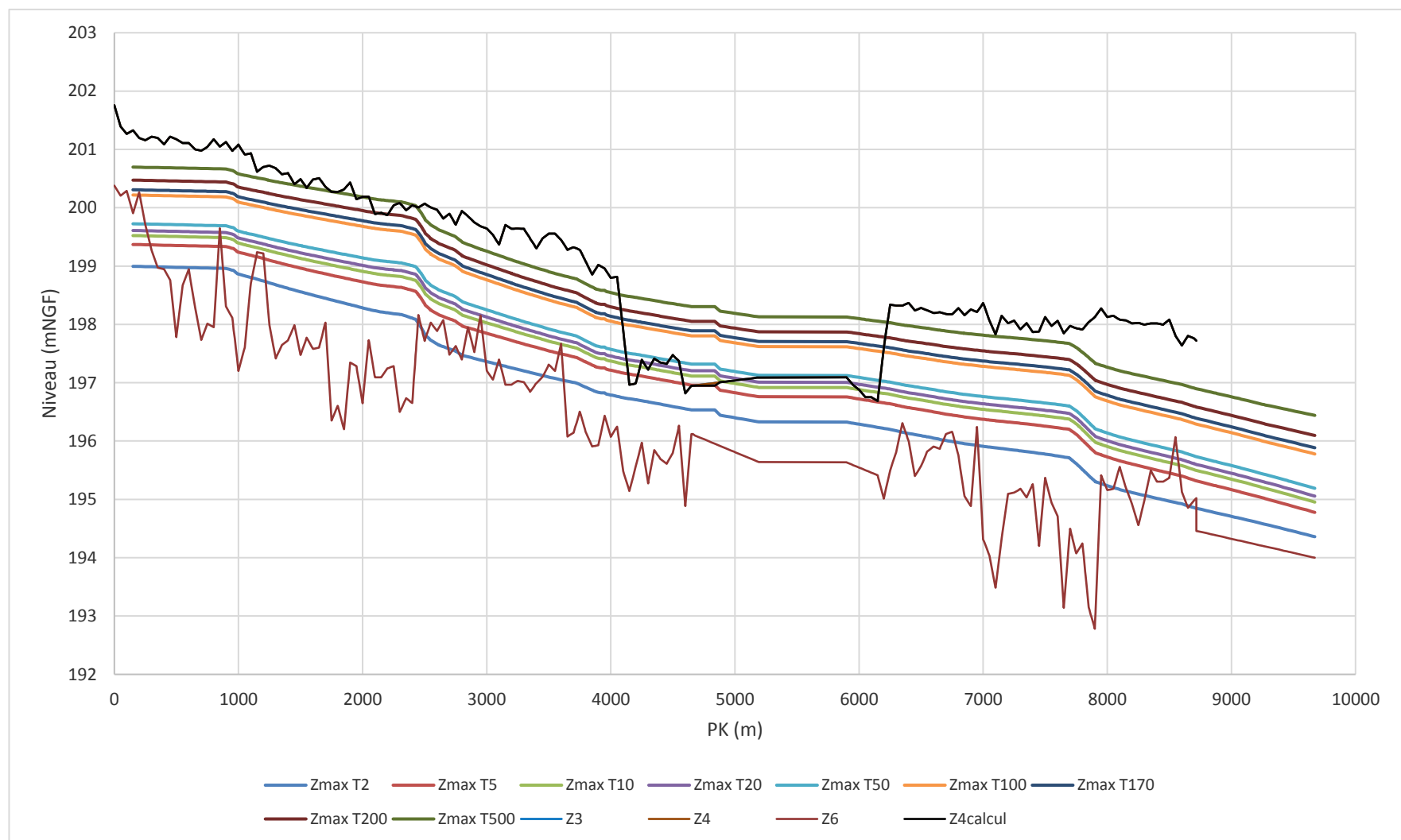
Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes (<T2),
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T200,
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T200.

VAL DE CHARRIN

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes (<T2),
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T500, sans considérer l'ouverture amont ou T10 en considérant l'ouverture amont
- ▶ Z4 calcul: crue d'occurrence environ T500, sans considérer l'ouverture amont ou T10 en considérant l'ouverture amont



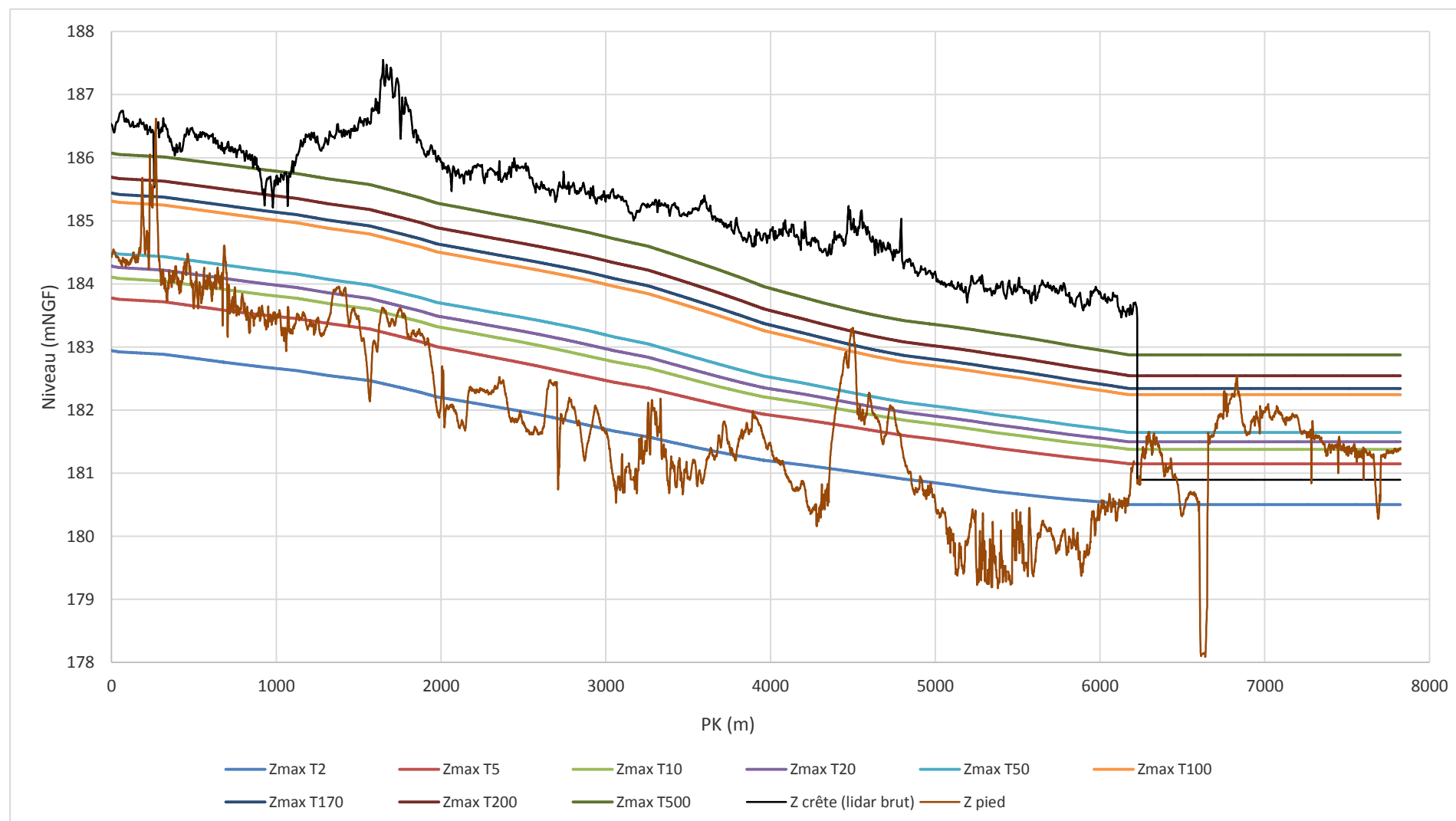
3.3 VAL DE LUTHENAY UXELOUP

Le système d'endiguement du Val de Luthenay Uxeloup n'est pas équipé de rehausses.

Le val de Luthenay n'a pas fait l'objet de modélisation CARDigue. Les niveaux caractéristiques n'ont pas été définis.

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z Pied de digue : crues fréquentes (<T2),
- ▶ Z Crête de digue : crue d'occurrence environ T200.

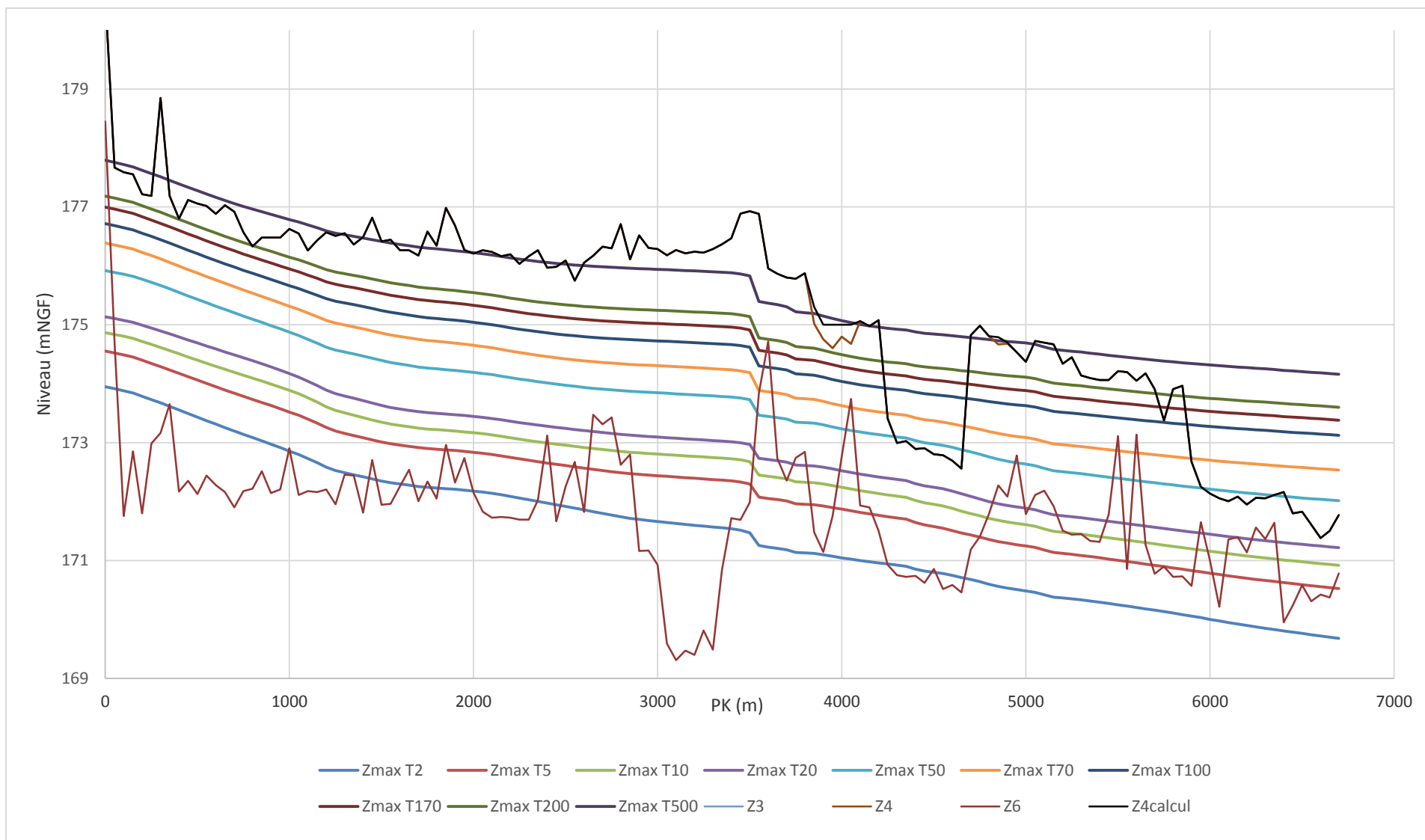


3.4 VAL DE GUÉTIN

Le système d'endiguement du Val de Guétin-Bec d'Allier présente un linéaire de banquette de 400m environ (cf. 3.1.5.1). Compte tenu de sa composition en terre hétérogène et sa hauteur de 20cm, elle ne sera pas considérée en termes de protection. La cote de la crête de digue se confond donc systématiquement avec la cote de son point haut. On aura ainsi $Z_3=Z_4$.

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes ($<T_2$)
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T_{40} ($20 < T < 50$) au niveau du déversoir et T_{200} sur les autres tronçons
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T_{40} ($20 < T < 50$) au niveau du déversoir et T_{200} sur les autres tronçons

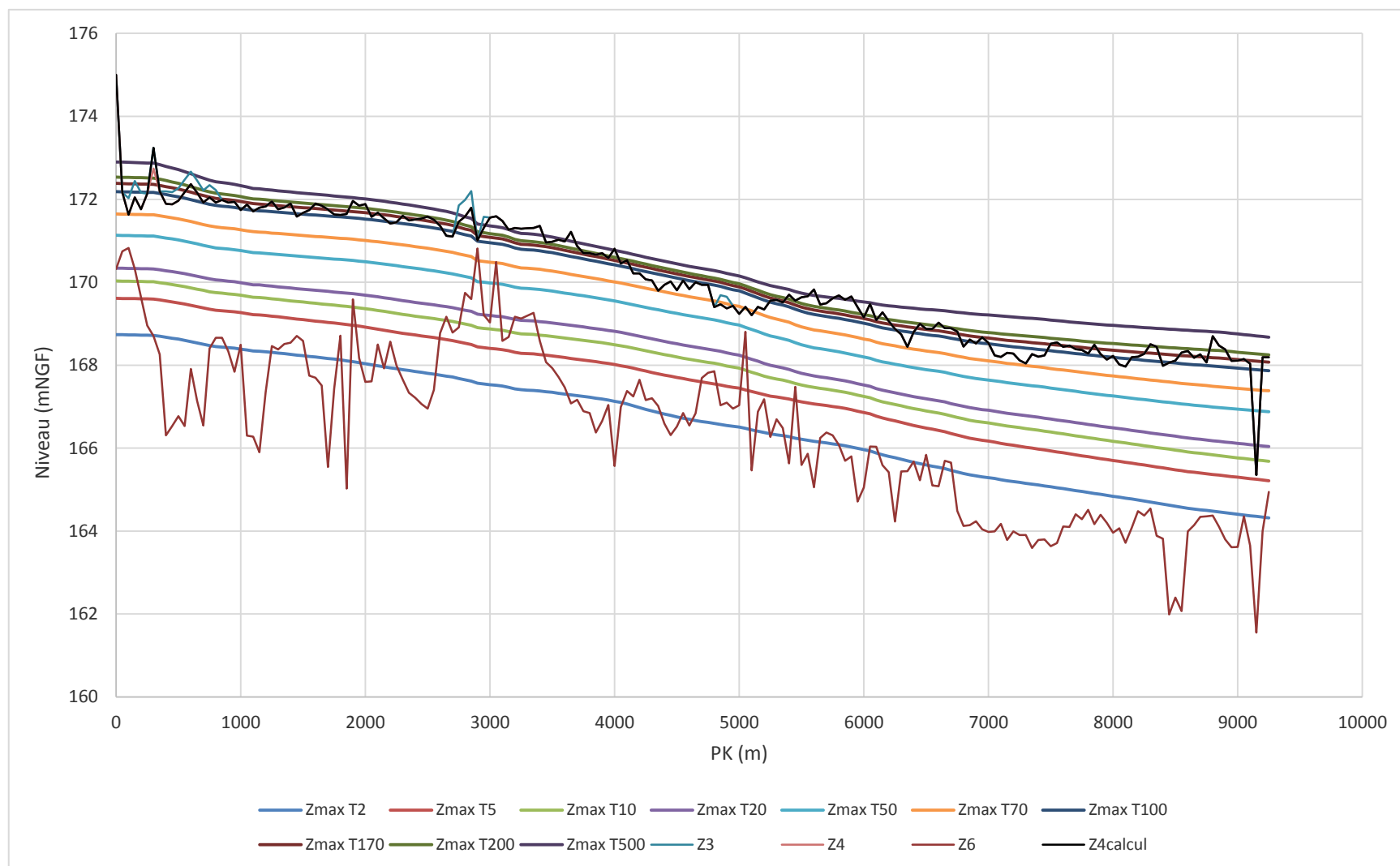


3.5 VAL DE GIVRY

Le système d'endiguement du val de Givry comporte des banquettes en terre coté val sur un linéaire total cumulé de 4,88km.

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes ($<T2$)
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T60 ($50 < T < 70$)
- ▶ Z3 – Crête de banquette : crue d'occurrence environ T60 ($50 < T < 70$)
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T60 ($50 < T < 70$)



3.6 VAL DE BEFFES HERRY

Le système d'endiguement du val de Beffes Herry comporte des banquettes en terre coté val sur un linéaire total cumulé de 17,2km, principalement situées sur la partie amont.

Compte tenu de la longueur du val et de l'ouverture intermédiaire constatée au niveau du système d'endiguement, il semble opportun de décomposer en deux secteurs le val en termes de niveau de protection: le val de Beffes et le val de Herry.

VAL DE BEFFES

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes ($<T_2$),
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T_{70} ($50 < T < 70$), sans considérer la particularité amont (voir ci-après),
- ▶ Z3 – Crête de banquette : crue d'occurrence environ T_{70} ($50 < T < 70$), sans considérer la particularité amont,
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T_{70} ($50 < T < 70$), sans considérer la particularité amont.

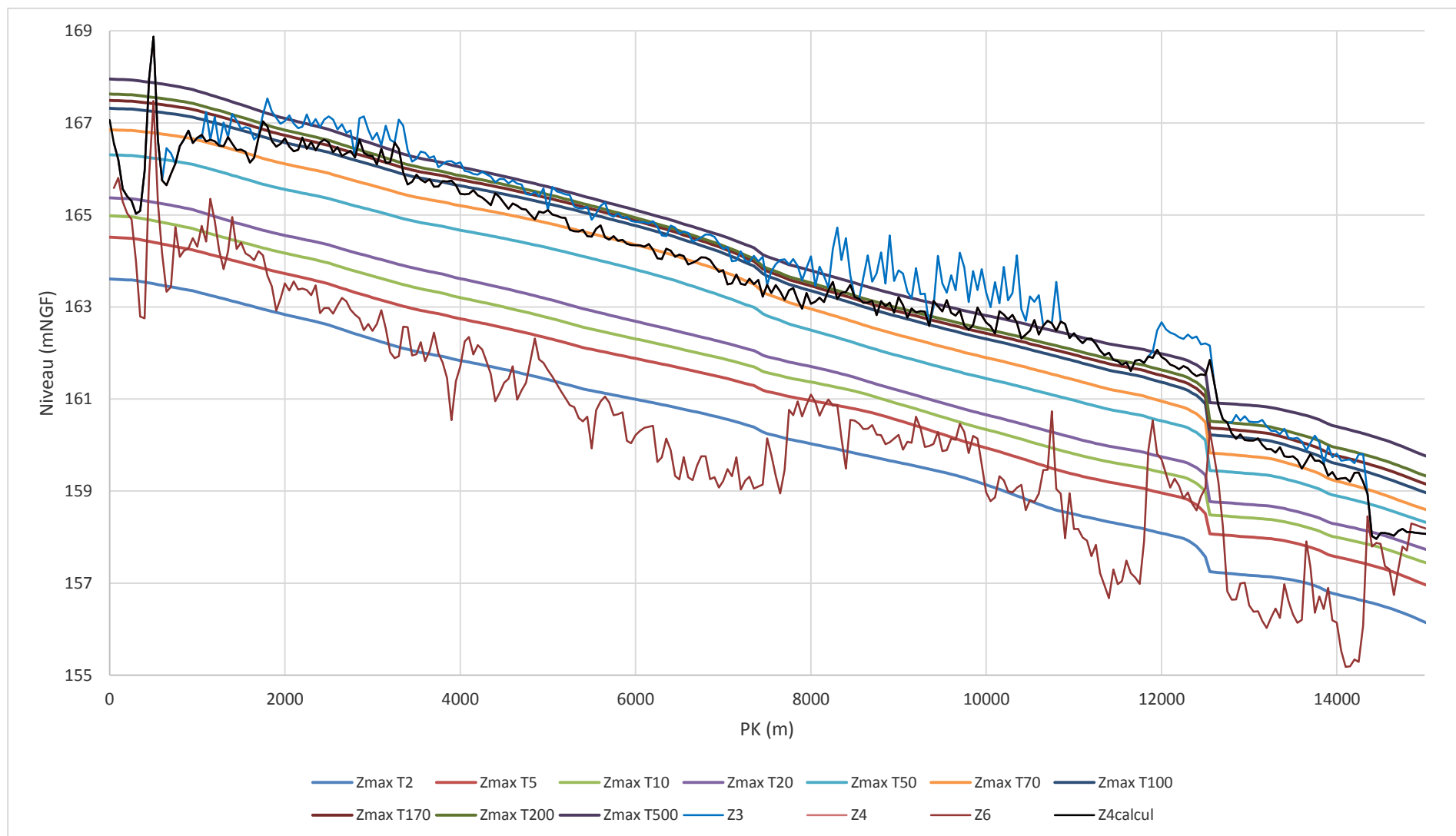
La configuration à l'amont est complexe et le niveau de protection apparent peut se décliner en trois parties :

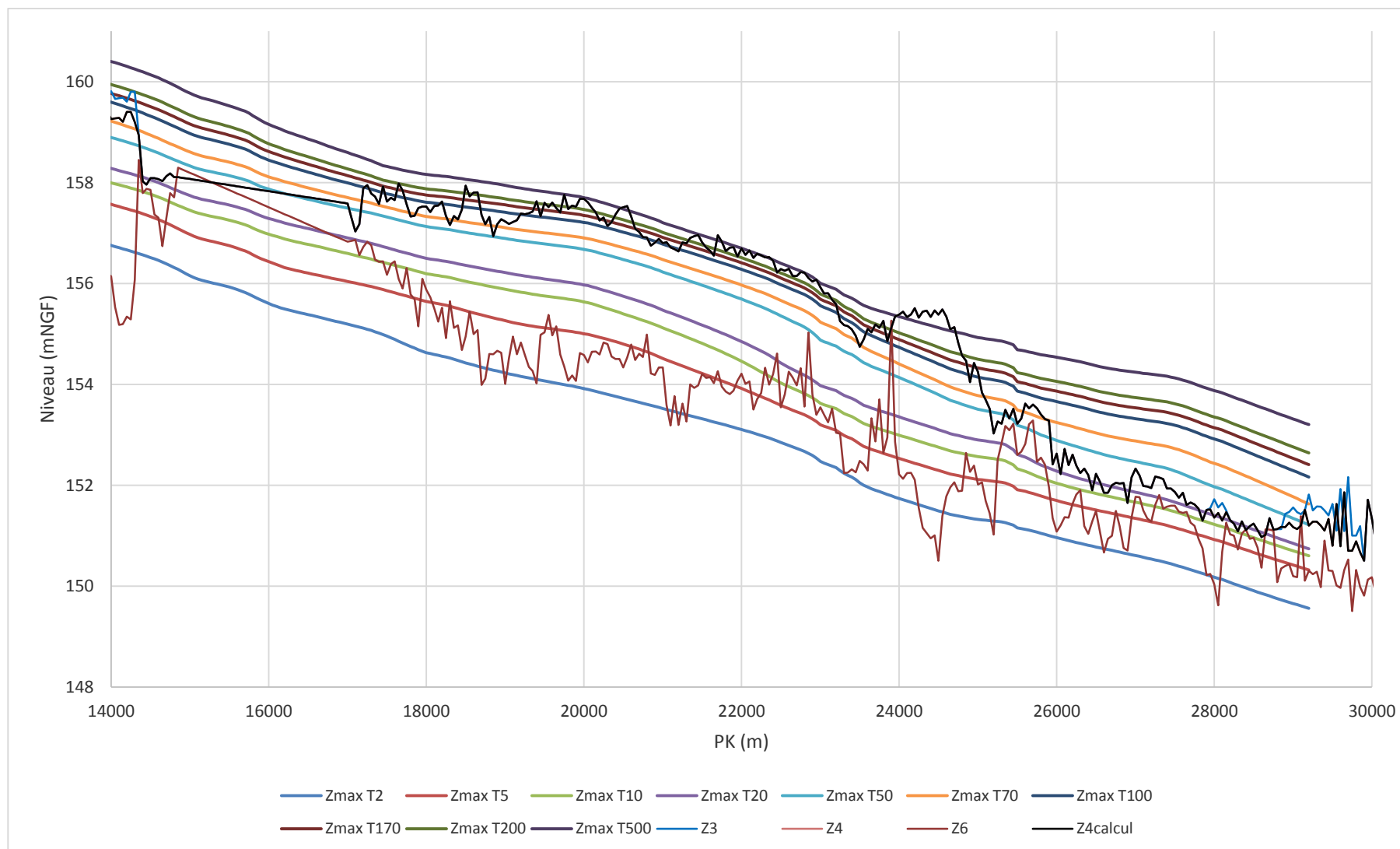
- ▶ Un premier casier correspond au lit de l'Aubois. Il se remplit par remous dès les crues faibles, l'ouvrage d'évacuation n'étant pas muni d'un clapet. Ce casier se trouve hors zone protégée. Un second casier délimité par le léger remblais de la rue du Vieux Marseilles, le coteau et la digue du canal Latéral. Il est situé en zone protégée. Il est submergé à partir de l'occurrence Q10. Le débit de surverse est alors limité par la section d'écoulement de l'ouvrage de connexion de l'Aubois. A noter que le remblai de la voie ferrée est plus élevé que celui de la rue du Vieux Marseilles mais il possède des ouvrages de franchissements.
- ▶ Une surverse dans le canal latéral, soit depuis les casiers précédemment cités, soit directement depuis la Loire. La surverse dans le canal a lieu pour une crue Q30 environ. Elle provoquera un écoulement dans le canal latéral. A ce jour, en l'absence d'une part d'information sur le niveau de sûreté du canal et d'autre part de levés topographiques précis des berges du canal, les impacts éventuels de cet écoulement (de type surverse au droit de points bas éventuels et/ou rupture des digues du canal du fait de l'augmentation de charge induite et/ou de la surverse) ne peuvent être appréciés dans le cadre de la présente EDD. De fait, une étude complémentaire est recommandée.
- ▶ Une surverse par-dessus le système d'endiguement principal qui connecte au canal (levée de Marseilles les Aubigny). Elle débute dès la crue Q70 et se produit en plusieurs lieux du linéaire.

VAL DE HERRY

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes ($<T_2$),
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T_{20} ,
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T_{20} .





3.7 VAL DE LÉRÉ

Le système d'endiguement du val de Léré comporte un linéaire de banquette coté Loire de 3.7 km, en général maçonnées.

Les divers niveaux caractéristiques de l'endiguement sont atteints pour les occurrences suivantes :

- ▶ Z6 – Pied de digue : crues fréquentes ($<T2$),
- ▶ Z4 – Crête de digue : crue d'occurrence environ T70 ($50 < T < 70$),
- ▶ Z3 – Crête de banquette : crue d'occurrence environ T70 ($70 < T < 100$),
- ▶ Z4 calcul : crue d'occurrence environ T70 ($50 < T < 70$).

