



Etablissement Public
LOIRE

**RECONSTITUTION ET SIMULATION
DE LA CRUE DE DECEMBRE 2003
ENTRE NEVERS ET TOURS
AVEC ET SANS L'ACTION DU BARRAGE DE VILLEREST**

- Rapport -



hydratec
Tour Gamma D
58, quai de la Rapée
75583 PARIS CEDEX 12

Tèl : 01 40 04 62 42
Fax : 01 43 42 24 39
Hydra@hydra.setec.fr

Réf : 20039 TB/vh
Date : Juin 2004

SOMMAIRE

1	OBJET DE L'ETUDE	1
2	METHODOLOGIE DE L'ETUDE	2
2.1	COLLECTE DES DONNEES	2
2.2	LES TROIS SIMULATIONS DE LA CRUE DE DECEMBRE 2003	2
2.3	ROLE DE VILLEREST	3
3	LES RESULTATS DETAILLES DES SCENARIOS TESTES	4
3.1	COMPOSITION DES HYDROGRAMMES AU BEC D'ALLIER	4
3.2	DEVERSOIR DU BEC D'ALLIER	6
3.3	STATION DE GIVRY	8
3.4	STATION DE LA CHARITE SUR LOIRE	9
3.5	DEVERSOIR DE PASSY	11
3.6	STATION DE POUILLY SUR LOIRE	13
3.7	STATION DE SAINT-SATUR SAINT-THIBAULT	14
3.8	STATION DE COSNE SUR LOIRE	16
3.9	DEVERSOIR DE LERE	17
3.10	STATION DE CHATILLON SUR LOIRE	19
3.11	DEVERSOIR DE SAINT MARTIN SUR OCRE	21
3.12	STATION DE GIEN	23
3.13	DEVERSOIR DE DAMPIERRE	25
3.14	DEVERSOIR D'OUZOUER	27
3.15	DEVERSOIR DE JARGEAU	29
3.16	STATION D'ORLEANS	31
3.17	DEVERSOIR DE MAZAN	32
3.18	DEVERSOIR D'AVARAY	34
3.19	DEVERSOIR DE MONTLIVAUT	36
3.20	DEVERSOIR DE LA BOUILLIE	38
3.21	STATION DE BLOIS	40
3.22	STATION DE TOURS	41
4	SYNTHESE	43

1 OBJET DE L'ETUDE

L'Etablissement Public Loire a confié à Hydratec la réalisation d'une étude permettant dans un premier temps de reconstituer la propagation de la crue de décembre 2003 de Nevers jusqu'à Tours sur la base des données hydrologiques disponibles auprès du centre de gestion des crues et des étiages à la DIREN Centre à Orléans.

Puis, dans un second temps, de simuler la propagation de la crue sans l'action du barrage de Villerest pour évaluer le long du fleuve son rôle d'écrêtement d'une part et le bénéfice en terme de moindre sollicitation des déversoirs qu'il apporte.

Rappelons qu'Hydratec dispose des compétences techniques pour la réaliser : il possède une bonne connaissance du sujet et conserve le modèle de la Loire moyenne réalisée pour l'Etat, l'Agence de l'eau Loire Bretagne et l'Etablissement Public Loire en 1998.

2 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Hydratec a enchaîné les tâches suivantes, ce qui constitue la méthodologie de l'étude.

2.1 COLLECTE DES DONNEES

Les données de crue ont été fournies par la Diren Centre pour les données hydrologiques à injecter à Nevers et au Guétin pour simuler la crue de décembre 2003 et par l'Etablissement Public Loire pour la fourniture de l'hydrologie de la Loire calculée à Nevers avec et sans l'action du barrage de Villerest.

2.2 LES TROIS SIMULATIONS DE LA CRUE DE DECEMBRE 2003

Les simulations de la crue sont menées de Nevers à Tours avec le modèle Loire moyenne établi par hydratec pour le compte de l'Etat, de l'Epala et de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne dans le cadre de l'étude « Loire moyenne ».

Rappelons que ce modèle décrit la Loire entre Nevers et Angers, avec 450 km de Loire modélisés, les principaux affluents, 150 000 ha de zones inondables et 600 km de levées isolant 100 000 ha de val en 33 vals.

Le modèle Loire moyenne a été construit à partir d'une topographie précise de 1995, définie, pour le lit du fleuve, par un profil en travers de Loire tous les kilomètres, et, pour les vals, par la cartographie existante, principalement les cartes de l'Institut géographique national au 1/25 000^{ème}, et une série de profils réalisés sur certains axes routiers ou sur des ouvrages pouvant influencer les écoulements (ponts, buses...). Le fichier utilisé chaque fois est nommé lodec03a.bra.

Trois hydrologies sont simulées avec ce fichier géométrique et hydraulique :

La première simulation propage la Loire mesurée à Nevers et l'Allier mesuré au Veurdre décalé de 8 heures pour son introduction au pont du Guétin. Ce décalage optimise la composition de l'hydrogramme observée à Givry. Les résultats sont conservés dans les fichiers lodec032.***. Les résultats généraux – valeurs maximums des grandeurs hydrauliques aux nœuds de calcul - sont contenus dans le fichier lodec032.sor. La notation « mnv » pour modèle Nevers mesuré est utilisée sur certains graphiques présentant des résultats.

La seconde simulation propage la Loire calculée à Nevers et l'Allier mesuré au Veurdre décalé de 8 heures pour son introduction au pont du Guétin. Les résultats sont conservés dans les fichiers lodec03b.***. Les résultats généraux – valeurs maximums des grandeurs hydrauliques aux nœuds de calcul - sont contenus dans le fichier lodec03b.sor. La notation « av » pour modèle Nevers calculé « avec Villerest » est utilisée sur certains graphiques présentant des résultats.

La troisième simulation propage la Loire calculée à Nevers sans l'action du barrage de Villerest et l'Allier mesuré au Veudre décalé de 8 heures pour son introduction au pont du Guétin. Les résultats sont conservés dans les fichiers lodec03c.***. Les résultats généraux – valeurs maximums des grandeurs hydrauliques aux nœuds de calcul - sont contenus dans le fichier lodec03c.sor. La notation « sv » pour modèle Nevers calculé « sans Villerest » est utilisée sur certains graphiques présentant des résultats.

2.3 ROLE DE VILLEREST

Une fois les trois simulations effectuées, comme prévu au CCTP, la comparaison, principalement, des deux dernières simulations ainsi que l'écart aux observations sont présentés sous forme de graphiques et de tableaux Excel au droit des stations Cristal suivantes :

- Givry
- La Charité sur Loire
- Pouilly sur Loire
- Saint Thibault
- Cosne
- Châtillon
- Gien
- Orléans
- Blois
- Tours

La comparaison des deux simulations est présentée sous forme de graphiques et de tableau Excel au droit des déversoirs modélisés en Loire moyenne :

- Bec d'Allier
- Passy
- Léré
- Dampierre
- Ouzouer
- Jargeau
- Mazan
- Avaray
- Montlivault
- La Bouillie

Pour faciliter la lecture « géographique » du rapport, la présentation des résultats suit le cours de la Loire.

Les résultats synthétiques aux nœuds de calcul sont présentés en annexe.

3 LES RESULTATS DETAILLES DES SCENARIOS TESTES

3.1 COMPOSITION DES HYDROGRAMMES AU BEC D'ALLIER

La composition des hydrogrammes de la Loire et de l'Allier « fabrique » la crue Loire moyenne.

Pour quantifier et analyser cette construction, le tableau ci-après donne successivement les débits maximaux en Loire en aval de Nevers, en amont de la confluence avec l'Allier, en amont (8,44) et en aval (Marzy) de la liaison assurant l'échange d'eau entre le fleuve et le casier GU01 représentant le val du Bec d'Allier, les débits maximaux de l'Allier en amont du modèle, en amont et en aval du déversoir du Bec d'Allier, puis le débit maximum à Givry.

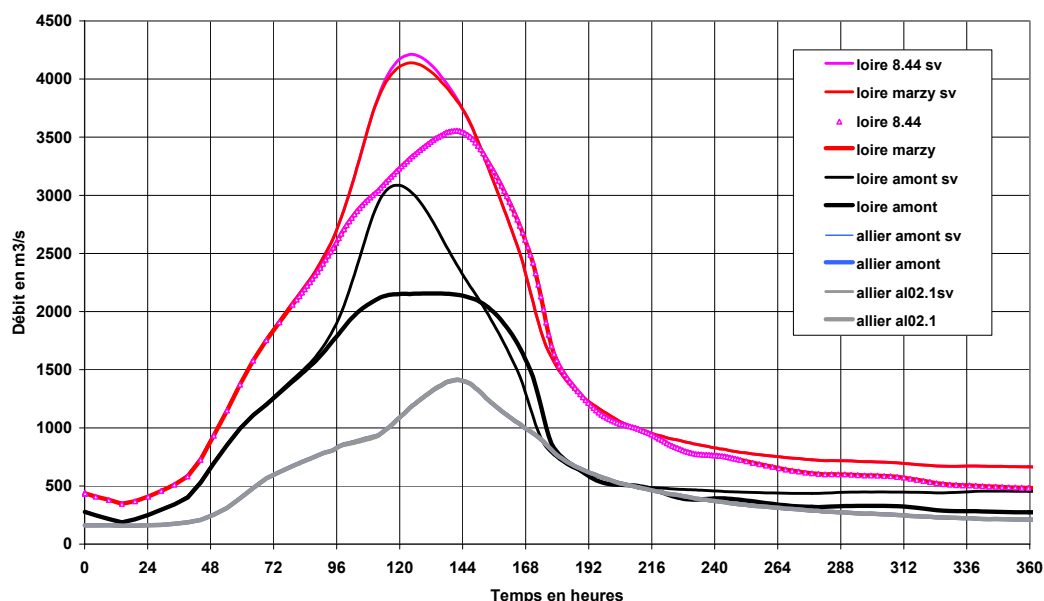
Les colonnes indiquent l'identification du point de calcul, le numéro du nœud dans le modèle, le débit pour la crue simulée avec le débit calculé à Nevers, le débit pour la crue simulée avec le débit calculé à Nevers sans l'action du barrage de Villerest, la différence entre les deux valeurs – soit le gain en débit sur la pointe de crue – le débit pour la crue simulée avec la valeur mesurée du débit à Nevers et la différence avec le débit calculé à Nevers.

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit	Crue simulée avec Nevers mesuré	Ecart de débit
		a	b	b-a	c	c-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
Loire Nevers	2	2 170	3 108	938	2 170	0
Loire amont confluence	14	2 156	3 087	931	2 148	-8
Loire 8,44	21	3 556	4 213	657	3 523	-33
Loire Marzy	22	3 556	4 140	584	3 523	-33
Allier amont modèle	1 433	1 413	1 413	0	1 413	0
Allier amont déversoir Bec d'Allier	1 436	1 413	1 420	7	1 414	1
Allier aval déversoir Bec d'Allier	1 437	1 413	1 421	8	1 414	1
Givry	38	3 553	4 137	584	3 519	-34

Un premier résultat : la composition des apports de la Loire et de l'Allier réduit le gain apporté par l'action de Villerest à Nevers de 938 m³/s à 584 m³/s à Marzy et Givry.

Pour décrire le mécanisme régissant cette réduction, nous avons regroupé sur un même graphique les hydrogrammes - pour la crue simulée avec le débit calculé à Nevers et pour la crue simulée avec le débit calculé à Nevers sans l'action du barrage de Villerest - en Loire en amont de la confluence avec l'Allier, en amont et en aval de la liaison assurant l'échange d'eau entre le fleuve et le val du Bec d'Allier, les hydrogrammes de l'Allier en amont et en aval du déversoir du Bec d'Allier.

Composition des hydrogrammes au Bec d'Allier



Nota : dans ce graphique, comme dans les suivants, le temps modèle est exprimé en heures et l'origine 0 heures correspond au 1^{er} décembre à 0 heures.

Nous constatons trois points :

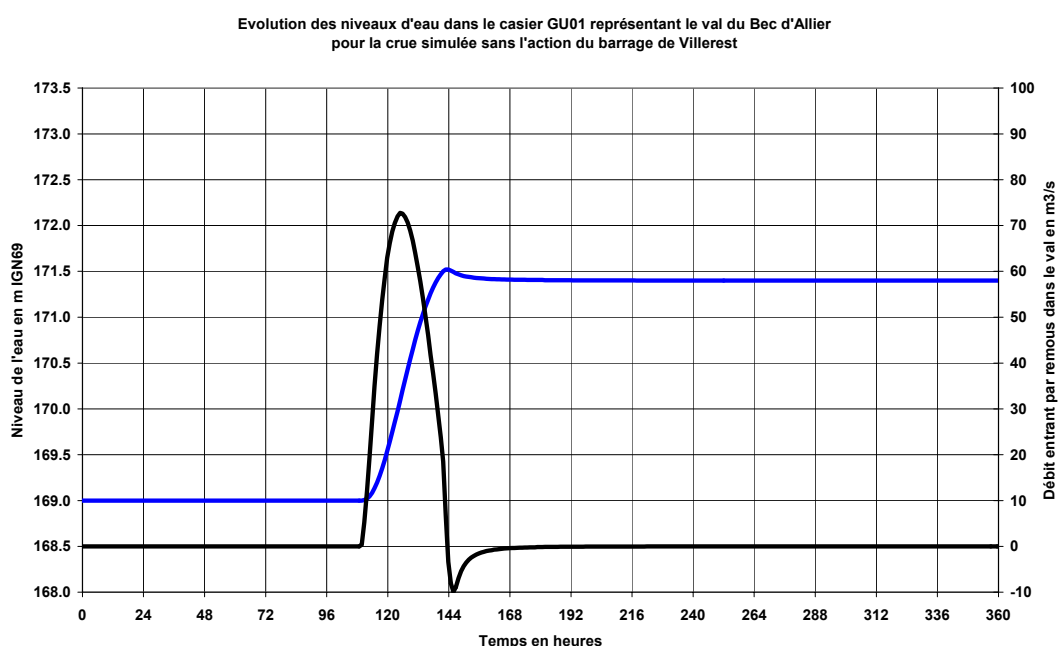
Sans l'action du barrage de Villerest, la pointe de la Loire arrive au Bec d'Allier au temps $t=120$ heures tandis que la pointe de l'Allier arrive à $t=143$ heures. La composition traduit la prédominance de la Loire ($Q_{max}= 3\,087\text{ m}^3/\text{s}$) sur l'Allier ($Q_{max}= 1\,420\text{ m}^3/\text{s}$) en donnant en aval de la confluence une pointe à $t= 125$ heures. Cette prédominance marquée de la Loire associée au décalage de 23 heures entre les deux pointes génèrent, in fine, un hydrogramme à une seule pointe où le maximum de la crue de l'Allier s'inscrit sans effet notable dans la descente forte de l'hydrogramme Loire.

L'action de Villerest, malgré l'apport des affluents morvandiaux, efface la pointe marquée de la Loire à Nevers et génère un plateau de débit au voisinage de $2\,200\text{ m}^3/\text{s}$ durant environ 1,5 jours. De ce fait, la composition ne traduit plus la prédominance de la Loire, mais fabrique une pointe de crue concomitante de celle de l'Allier en additionnant quasiment les débits maximaux des deux rivières.

Dans le premier cas, il y a « effacement » de la pointe de crue de l'Allier, dans le second, il y a addition des deux apports. Cela explique pourquoi l'écrêtement de $938\text{ m}^3/\text{s}$ à Nevers passe à $584\text{ m}^3/\text{s}$ à Givry. Toutefois, dans ce processus, est caché un autre gain : Villerest fait glisser le passage du maximum du temps $t = 122$ heures à $t= 143$ heures, c'est un gain temporel puisque l'arrivée de la pointe de crue est retardée d'un jour en Loire moyenne ce qui est intéressant pour la gestion de la crise.

L'observation attentive de la pointe des hydrogrammes calculés sans l'action de Villerest en amont (8,44) et en aval (Marzy) de la liaison assurant l'échange d'eau entre le fleuve et le casier GU01 montre un écrêtement en Loire de 4 213 m³/s à 4 140 m³/s. Il résulte de la mise en eau du Val du Bec d'Allier par remous comme l'atteste le graphique suivant qui présente :

- L'évolution des niveaux d'eau dans le casier GU01, ils passent de la cote 169 m (niveau des points les plus bas du Val) à la cote 171,5 m, soit une inondation maximale de 2,5 mètres.
- L'hydrogramme du débit entrant par remous dans le casier, au passage du maximum en Loire, c'est 70 m³/s qui entrent, d'après le modèle, dans le Val.

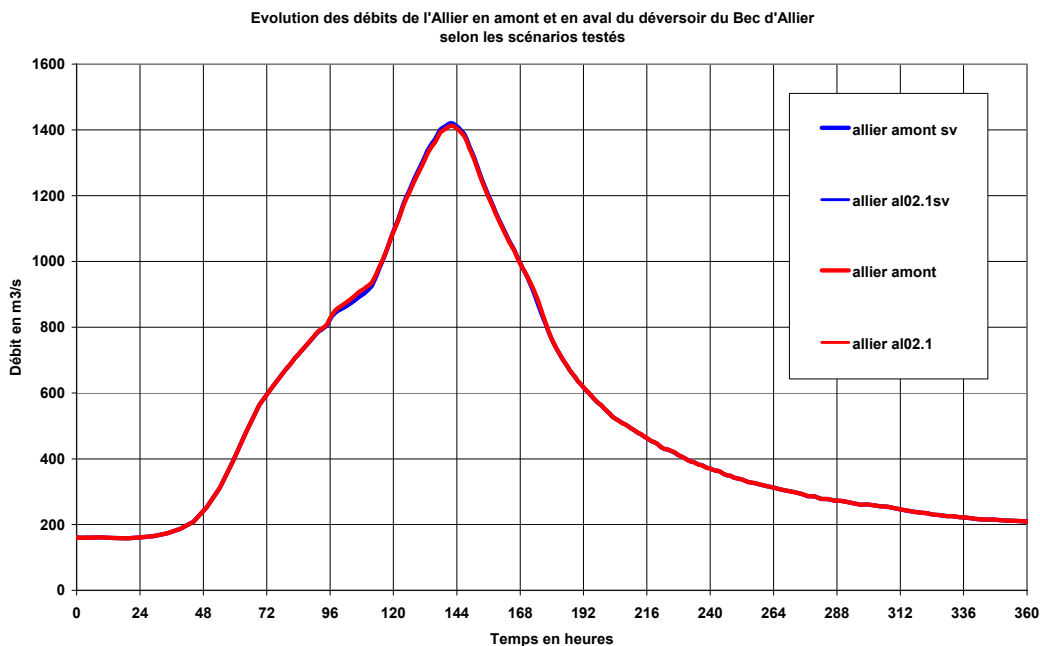


C'est un second résultat important : D'après le modèle Loire moyenne, sans l'action du barrage de Villerest, le val du Bec d'Allier aurait été fortement inondé par remous.

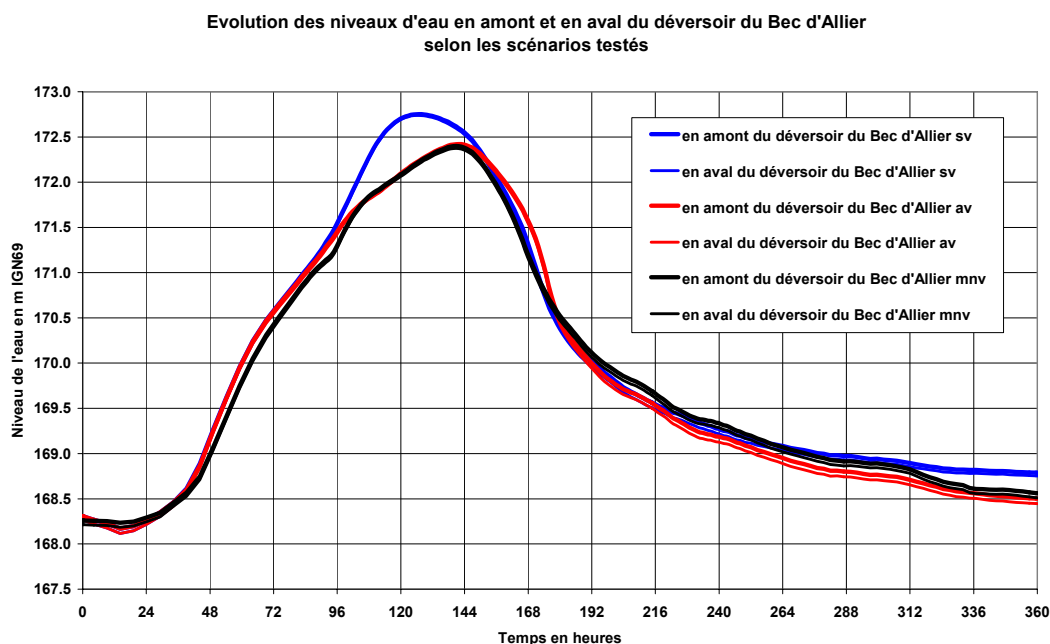
3.2 DEVERSOIR DU BEC D'ALLIER

Le déversoir du Bec d'Allier est représenté dans le modèle Loire moyenne par un seuil fixe calé à la cote 172,85 m et de longueur 400 m en liaison avec le tronçon filaire représentant l'Allier entre le pont SNCF et la Loire.

Ceci explique pourquoi les hydrogrammes sont quasiment identiques quelque soit le scénario testé.



Par contre les niveaux d'eau qui sont en relation avec le niveau de la Loire à la confluence différent d'un scénario à l'autre comme le montre le graphique suivant :



Ils sont à comparer au niveau 172,85 m correspondant à la cote du seuil fixe du déversoir.

Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

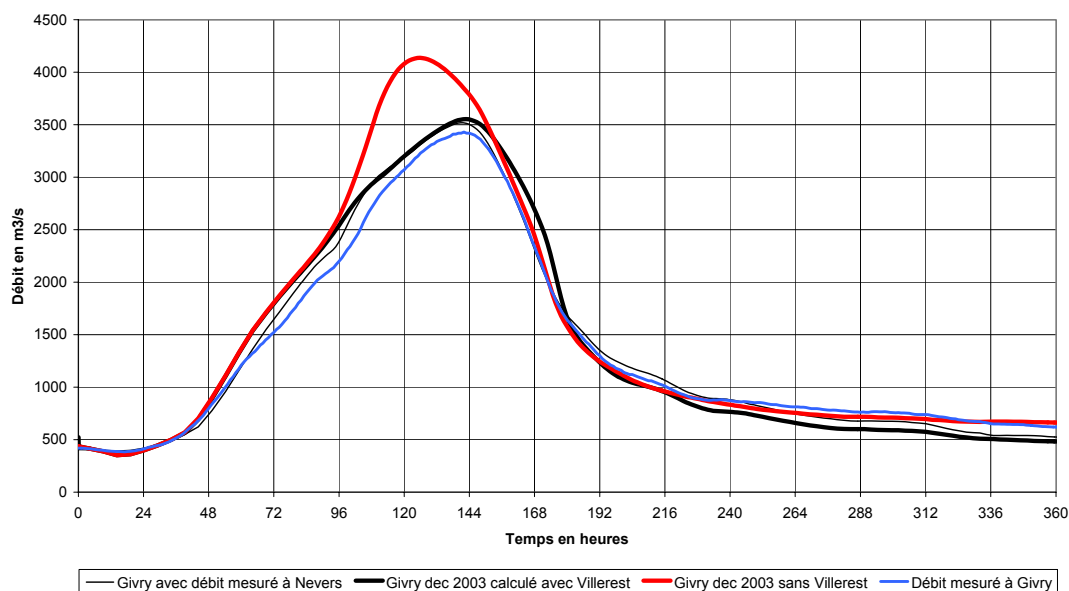
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil = 172,85 m	Revanche à Z seuil = 172,85 m
		a	b		b-a	a - 172,85
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Allier amont déversoir Bec d'Allier	1 436	172,42	172,75	0.33	-0.43	-0.10
Allier aval déversoir Bec d'Allier	1 437	172,40	172,74	0.34	-0.45	-0.11

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,33 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir, ce qui garantit une meilleure revanche avant la surverse par-dessus le déversoir.

3.3 STATION DE GIVRY

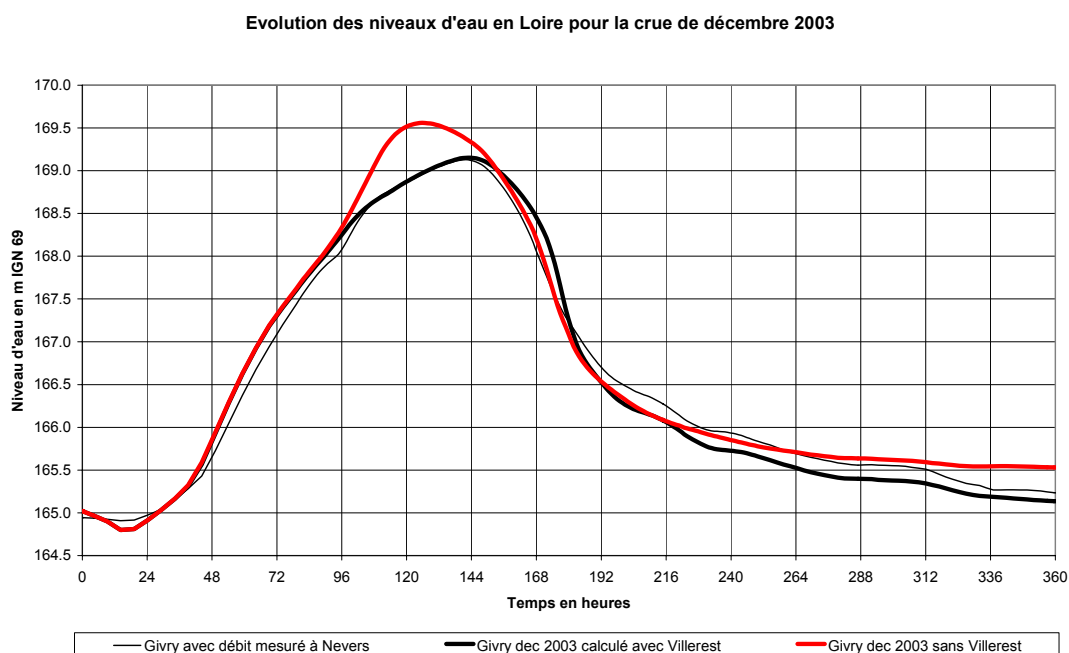
Dans le modèle Loire moyenne, la station de Givry est représentée par le nœud de calcul 38 au pk 13,78. A Givry, nous pouvons comparer les calculs effectués par le modèle à l'hydrogramme de la DIREN Centre. C'est l'objet du graphique ci-après :

Evolution des débits de la Loire pour la crue de décembre 2003



La composition temporelle des hydrogrammes à Givry est conforme à ce qui a été observé.

Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

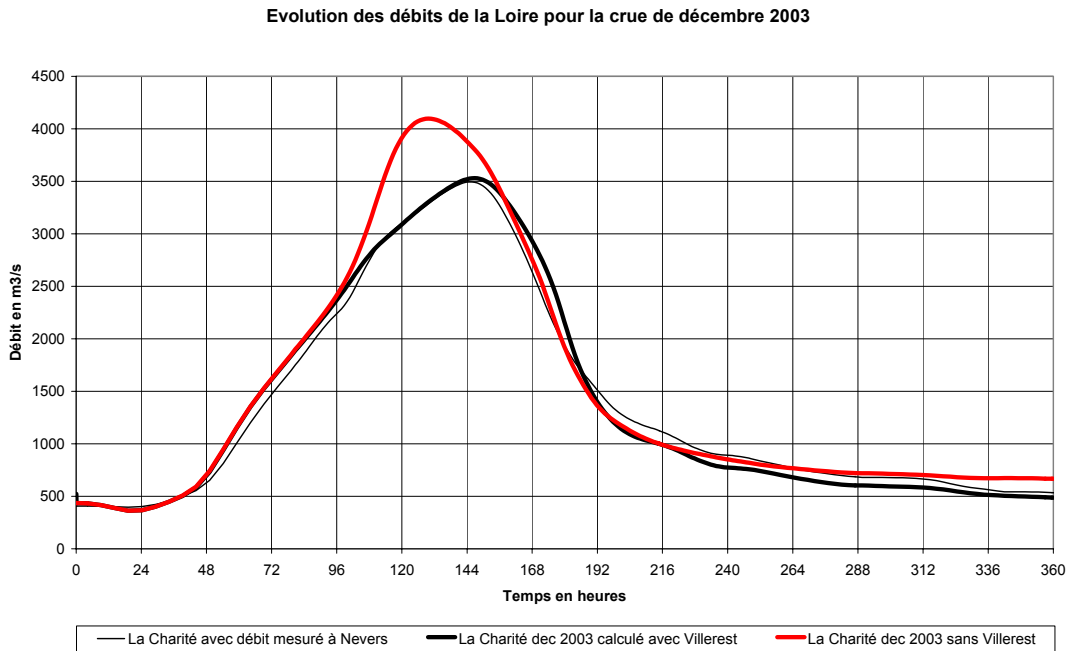
Givry	Nœud de calcul	38
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
a	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 553	4 137	584
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
169,15	169,56	0.41

Une autre appréciation de l'action de Villerest visible sur les limnigrammes : la crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 40 heures.

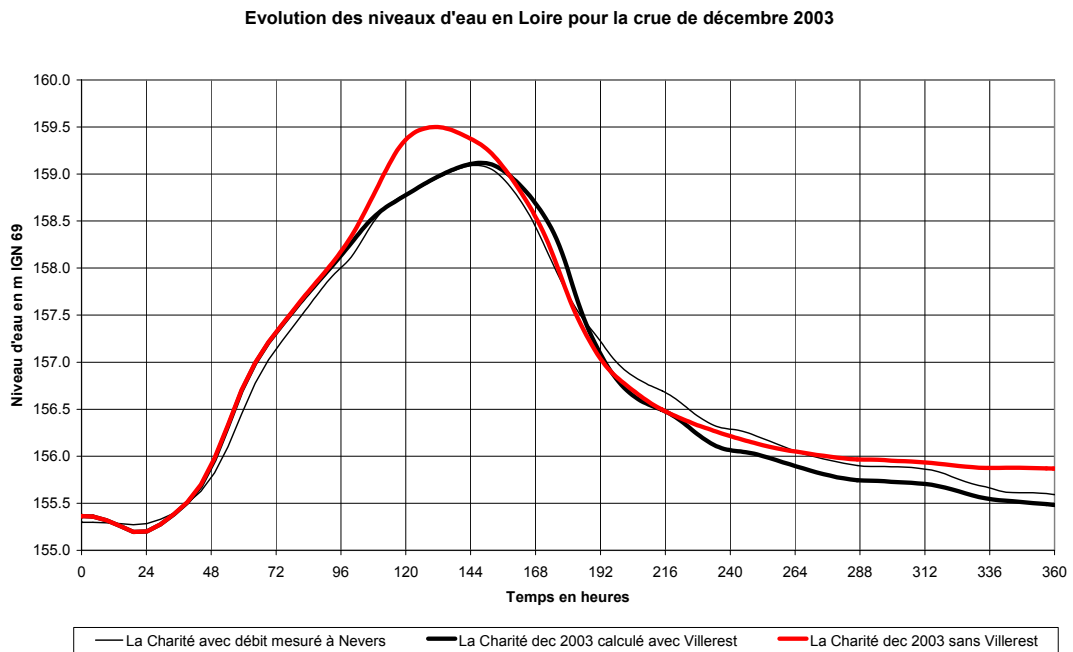
3.4 STATION DE LA CHARITE SUR LOIRE

Dans le modèle Loire moyenne, la station de La Charité est représentée par le nœud de calcul 115 (échelle aval du pont) au pk 35,15.

Voici l'évolution des débits à la station :



Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

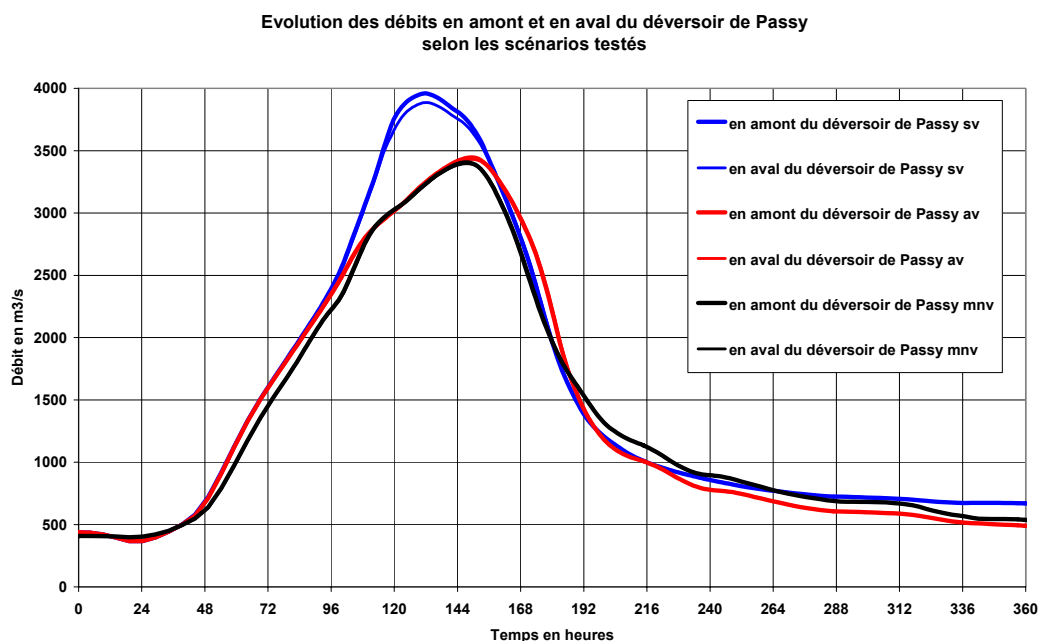
La Charité	Nœud de calcul	38
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 530	4 098	568
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
159,12	159,50	0.38

Une autre appréciation de l'action de Villerest visible sur les limnigrammes : la crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 40 heures.

3.5 DEVERSOIR DE PASSY

Le déversoir de Passy est représenté dans le modèle Loire moyenne par 6 éléments de seuil fixe calés entre les cotes 157,45 m à l'amont (Nœud 133 au pk 38,35) et 156,90 m à l'aval (Nœud 141 au pk 39,50) et de longueur 1 100 m.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

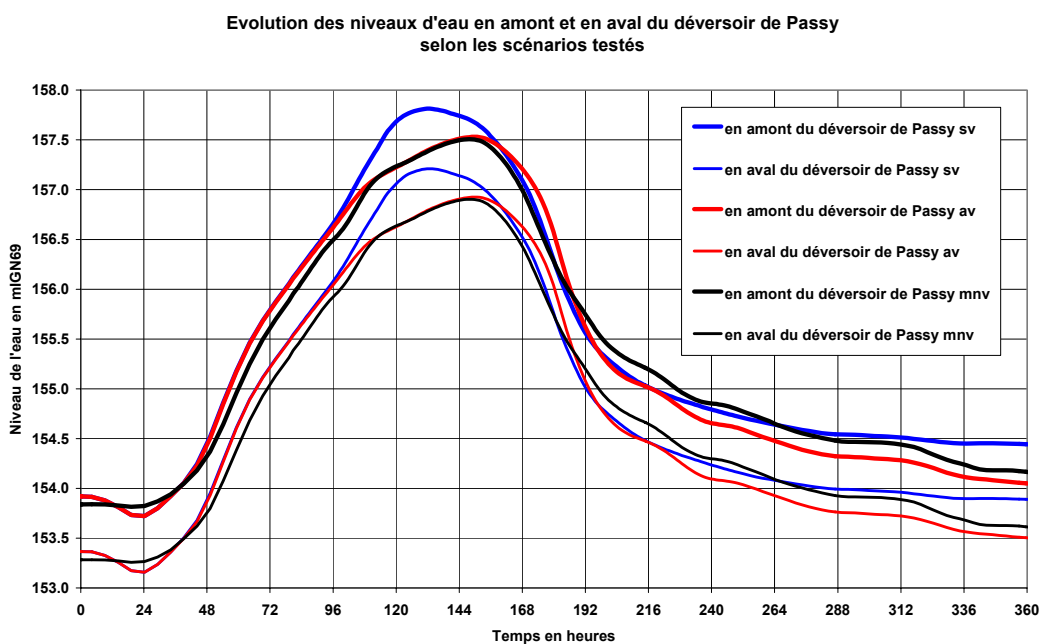


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir Passy	133	3 446	3 959	513
Aval déversoir Passy	141	3 430	3 886	456
Ecart		16	73	

La diminution de débit entre amont et aval du déversoir chiffre l'entrée d'eau dans le val au passage de la pointe de crue : sans le barrage, il y a quatre fois plus d'eau qui entre dans le val.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

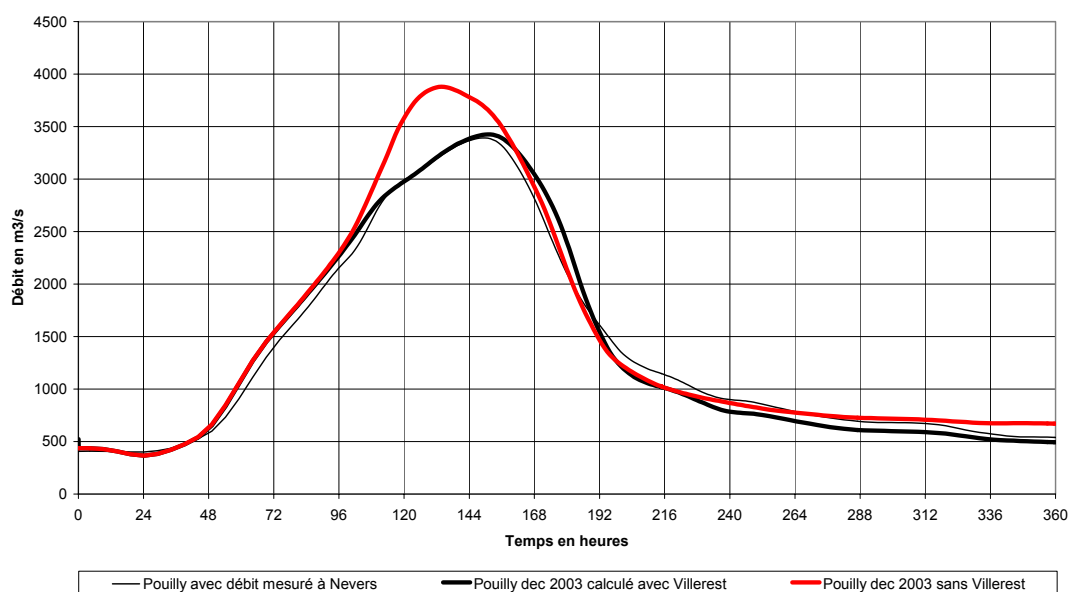
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a - Z seuil	b - Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Passy	133	157,53	157,81	0.28	157,45 0.08	157,45 0.36
Aval déversoir Passy	141	156,93	157,21	0.28	156,90 0.03	156,90 0.31

Les revanches sont positives car le déversoir fonctionne. L'action du barrage se traduit par un gain de 0,28 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir, ce n'est pas suffisant pour empêcher son fonctionnement. L'action de Villerest également visible sur les limnigrammes : sans barrage, la durée de fonctionnement du déversoir passerait de 6 à 43 heures.

3.6 STATION DE *POUILLY SUR LOIRE*

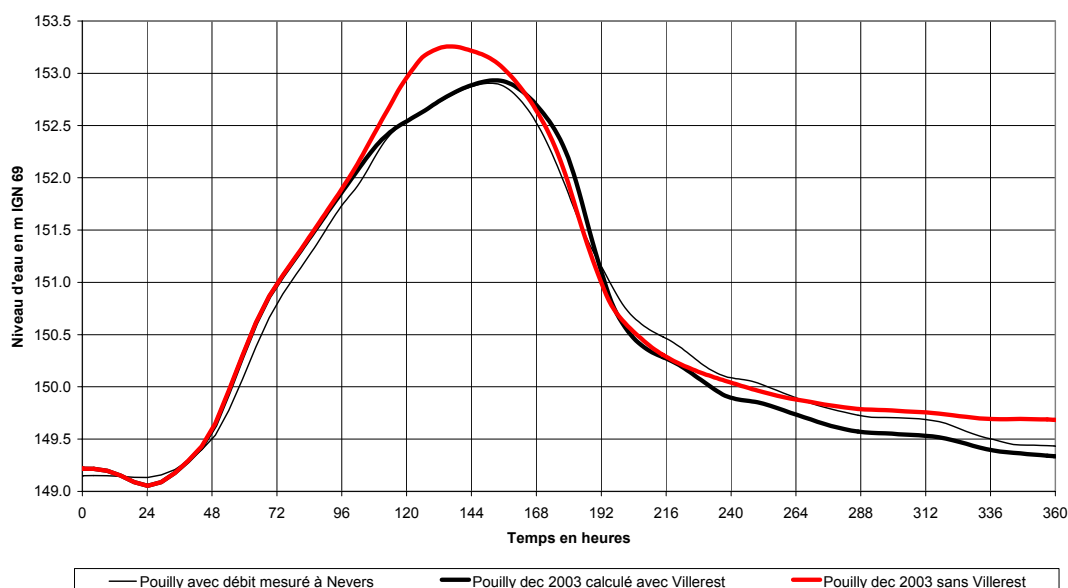
Dans le modèle Loire moyenne, la station de Pouilly sur Loire est représentée par le nœud de calcul 164 (échelle principale) au pk 48,36. Voici l'évolution des débits à la station :

Evolution des débits de la Loire pour la crue de décembre 2003



Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :

Evolution des niveaux d'eau en Loire pour la crue de décembre 2003



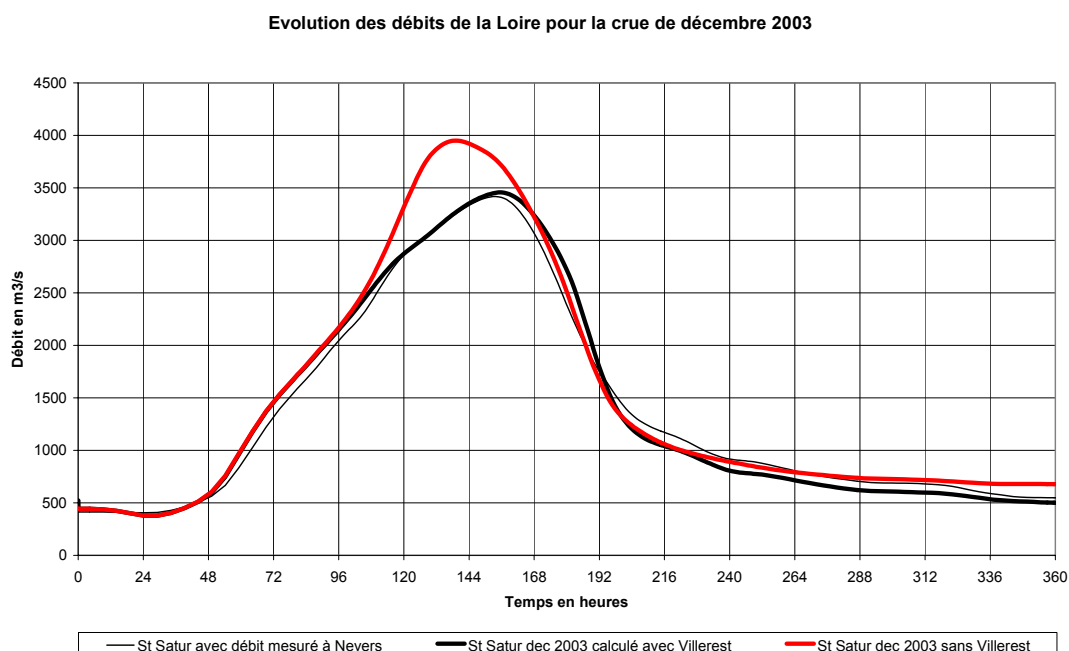
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Pouilly	Nœud de calcul	164
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 426	3 880	454
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
152,93	153,26	0.33

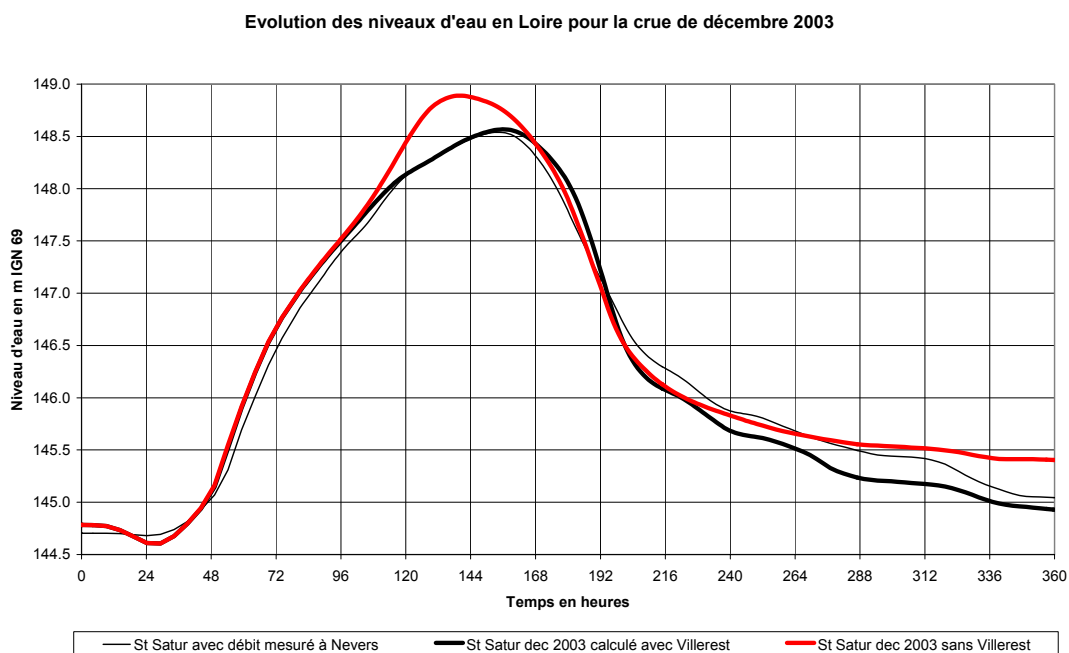
La crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 42 heures.

3.7 STATION DE SAINT-SATUR SAINT-THIBAULT

Dans le modèle Loire moyenne, la station de Saint Satur est représentée par le nœud de calcul 185 au pk 58,80. Voici l'évolution des débits à la station :



Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



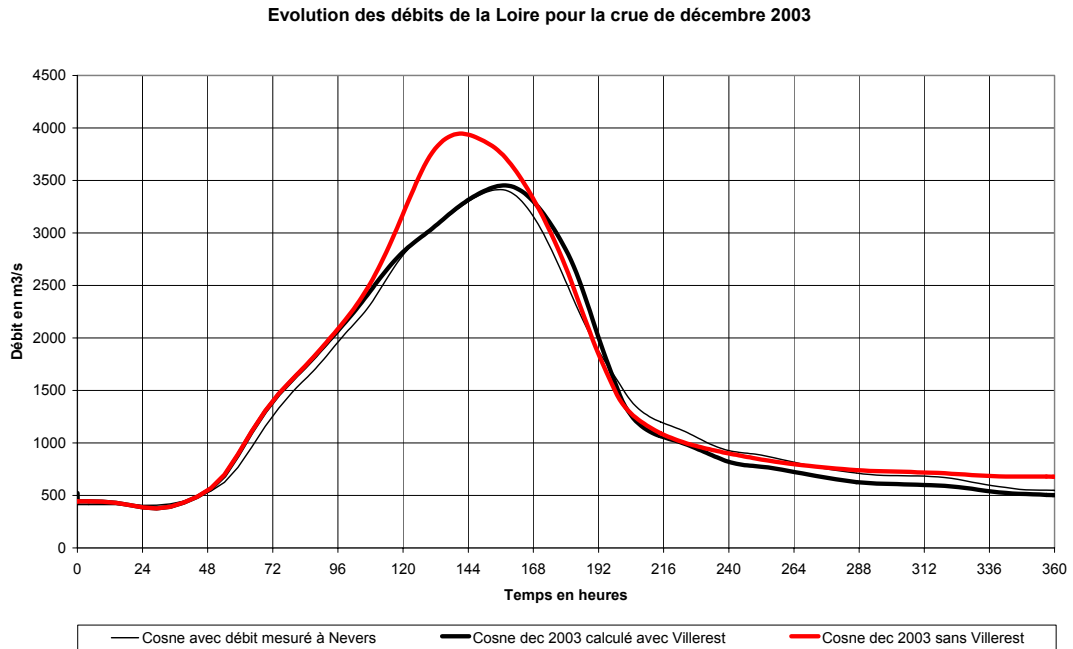
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

St Thibault	Nœud de calcul	185
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 457	3 951	494
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
148,57	148,89	0.32

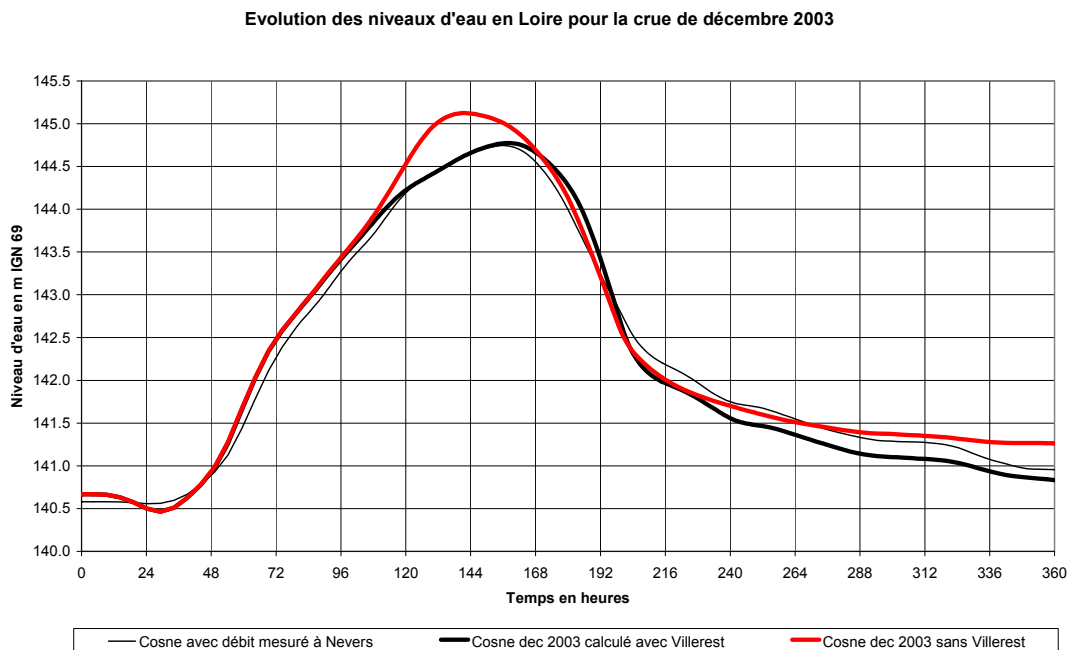
La crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 42 heures.

3.8 STATION DE COSNE SUR LOIRE

Dans le modèle Loire moyenne, la station de Cosne sur Loire est représentée par le nœud de calcul 207 (échelle principale) au pk 67,70. Voici l'évolution des débits à la station :



Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

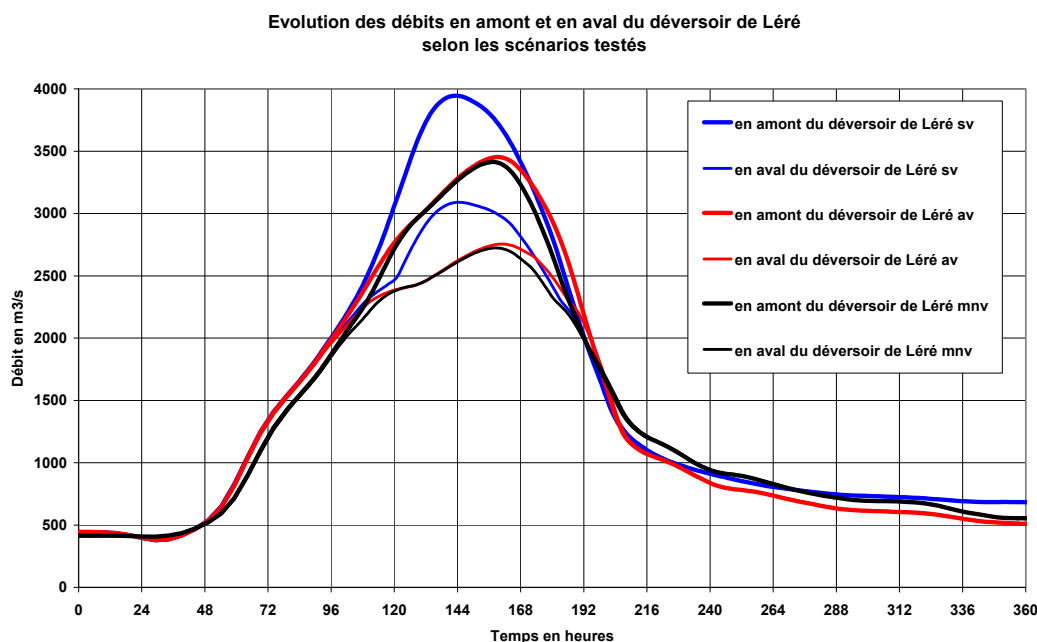
Cosne sur Loire	Nœud de calcul	207
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 453	3 946	493
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
144,77	145,12	0.35

La crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 42 heures.

3.9 DEVERSOIR DE LERE

Le déversoir de Léré est représenté dans le modèle Loire moyenne par 10 éléments de seuil fixe compris entre le pk 77 (Nœud 249) et le pk 79 (Nœud 260). Il est calé entre les cotes 139,40 m à l'amont, 138,40 au milieu du déversoir (Nœud 255 au pk 78,2) et 139,30 m à l'aval. Sa longueur est de 2 000 m environ.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

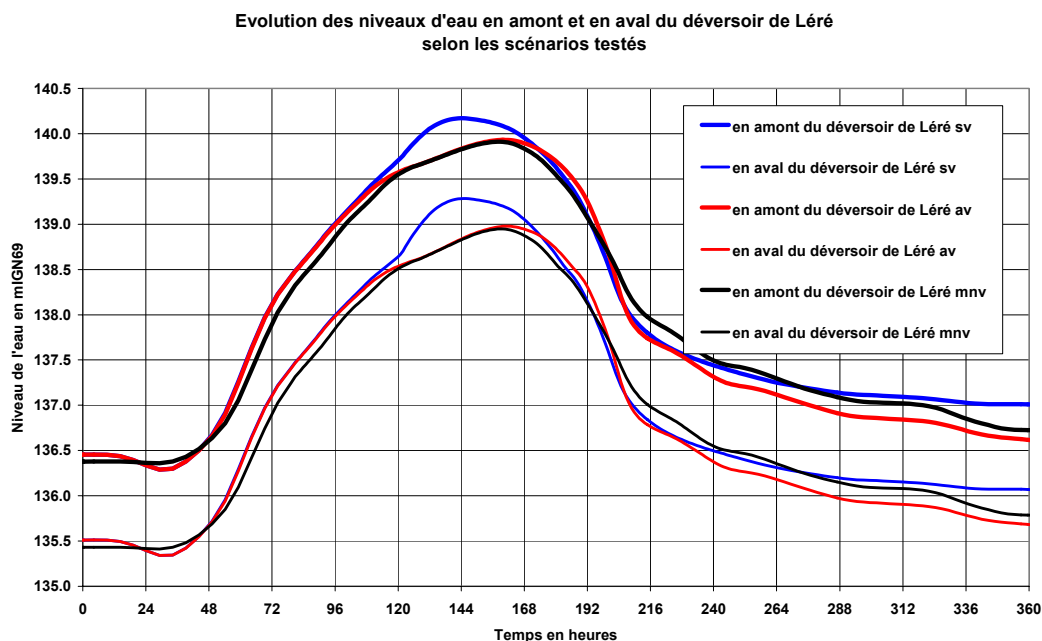


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir Léré	249	3 453	3 945	492
Aval déversoir Léré	260	2 754	3 090	336
Ecart		699	855	

La diminution de débit entre amont et aval du déversoir chiffre l'entrée d'eau dans le val au passage de la pointe de crue : dans les deux situations testées, beaucoup d'eau entre dans le val par le déversoir, sans le barrage, il y a 150 m³/s en plus qui entre dans le val.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

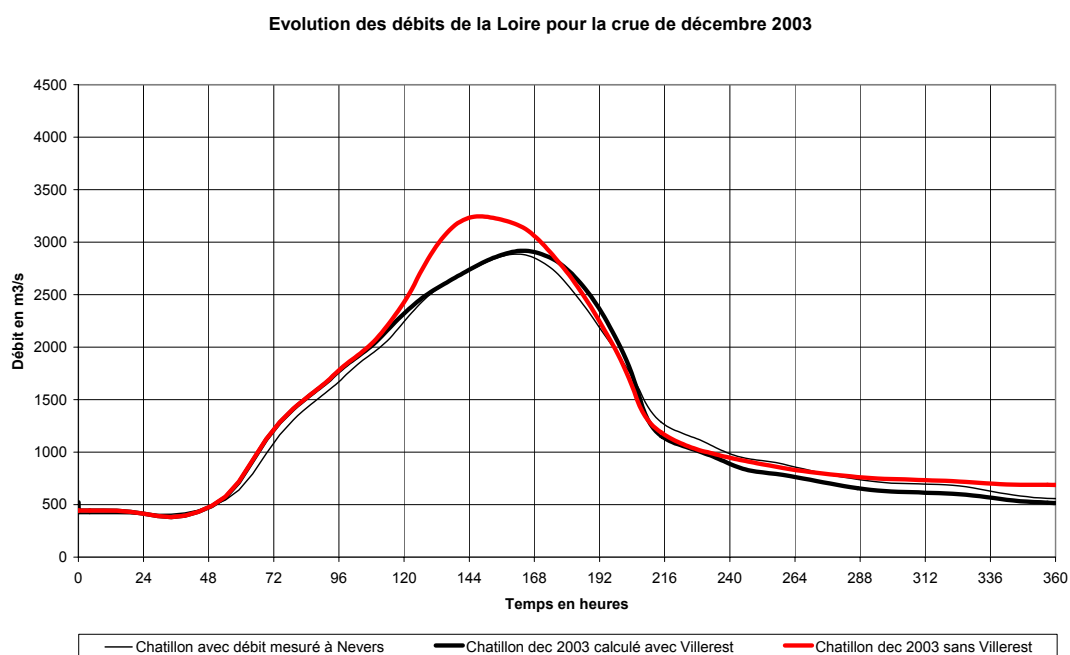
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Léré	249	139,93	140.17	0.24	139,40 0.53	139,40 0.77
Milieu déversoir Léré	255	139,41	139,68	0.27	138,40 1,01	138,40 1,28
Aval déversoir Léré	260	138,98	139,28	0.30	139,30 -0.32	139,30 -0.02

L'action du barrage se traduit par un gain compris entre 0,24 et 0,30 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir, ce n'est pas suffisant pour empêcher son fonctionnement.

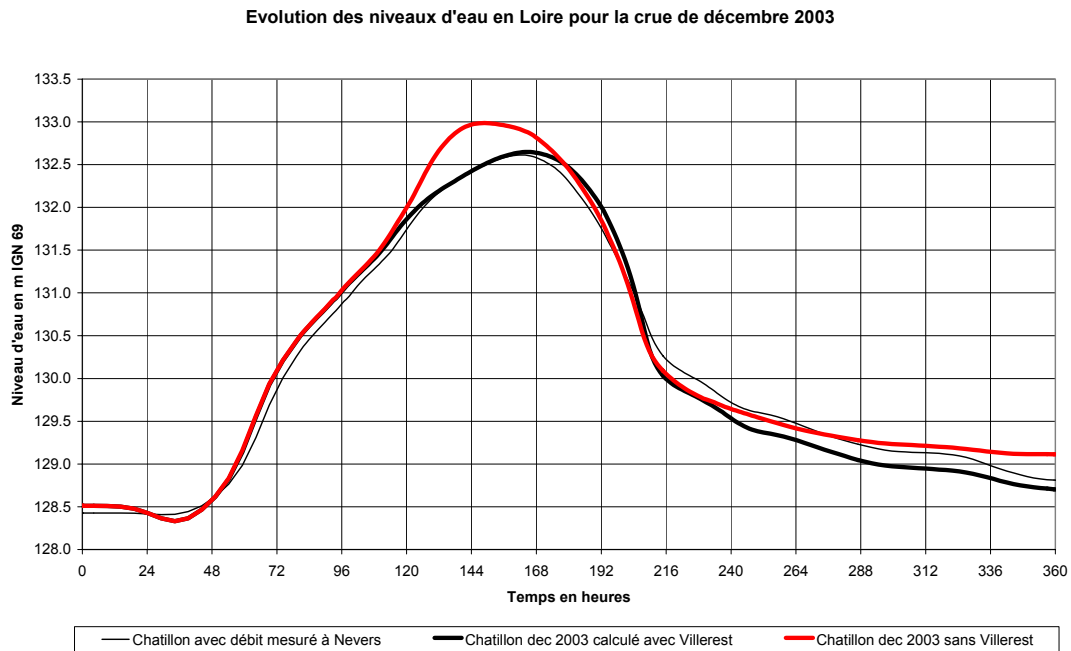
3.10 STATION DE CHATILLON SUR LOIRE

Dans le modèle Loire moyenne, la station de Chatillon sur Loire est représentée par le nœud de calcul 308 (échelle pont) au pk 93,88.

Voici l'évolution des débits à la station :



Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

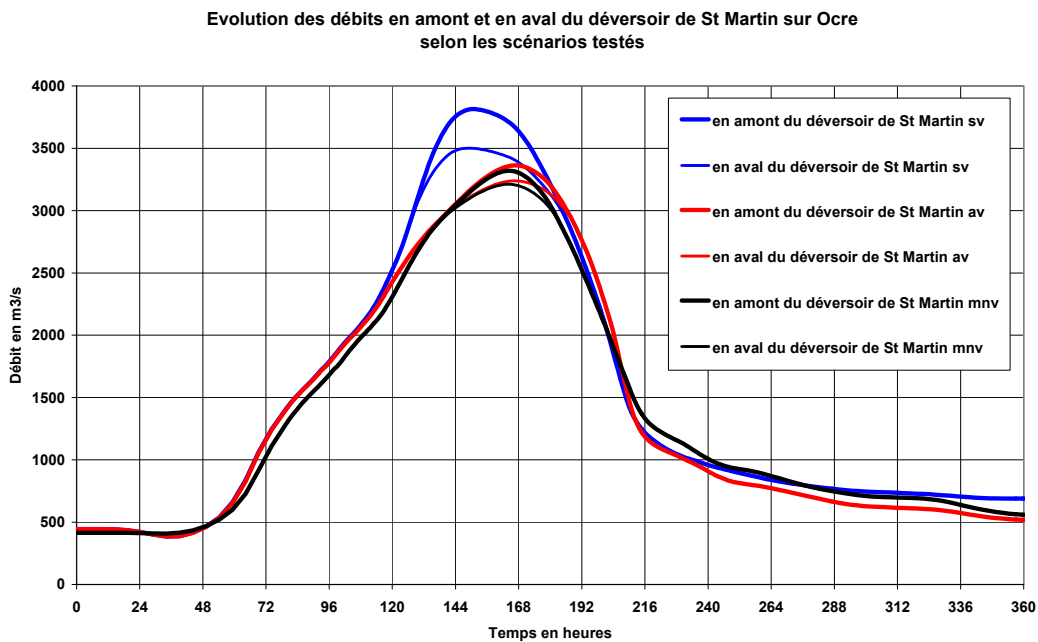
Châtillon	Nœud de calcul	308
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
2 918	3 246	328
Niveau En m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
132,65	132,99	0.34

La crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 42 heures.

3.11 DEVERSOIR DE SAINT MARTIN SUR OCRE

Le déversoir de Saint Martin sur Ocre est représenté dans le modèle Loire moyenne par 4 éléments de seuil fixe compris entre le pk 105,3 (Nœud 340) et le pk 105,7 (Nœud 344). Il est calé à la cote 127 m et sa longueur est 508 m.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

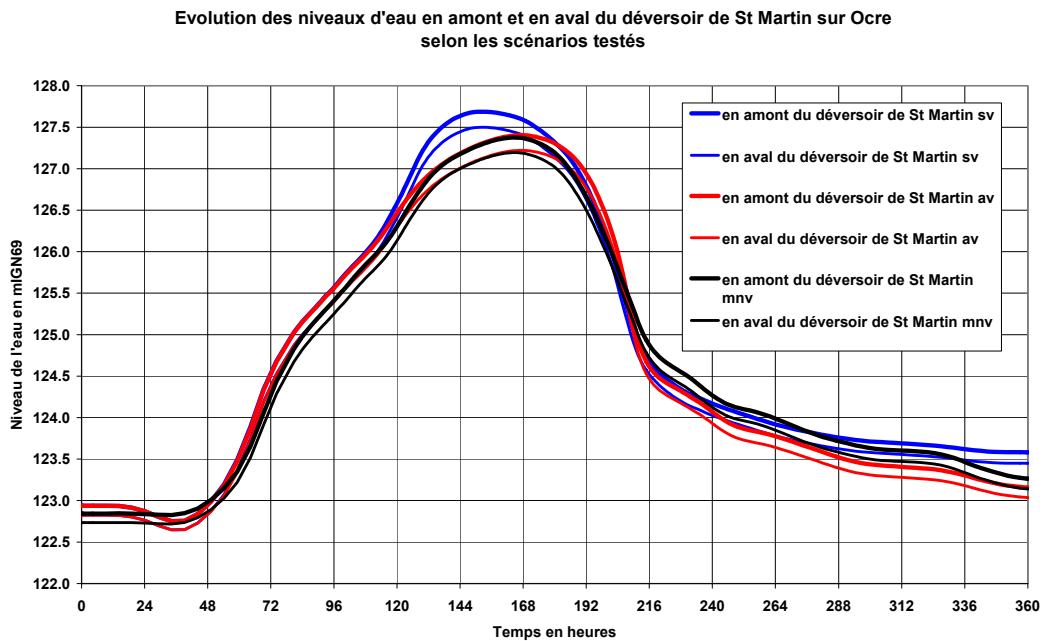


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m³/s
Amont déversoir St Martin	340	3 363	3 814	451
Aval déversoir St Martin	344	3 239	3 500	261
Ecart		124	314	

La diminution de débit entre amont et aval du déversoir chiffre l'entrée d'eau dans le val au passage de la pointe de crue : sans le barrage, il y a un trois fois plus d'eau qui entre dans le val.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

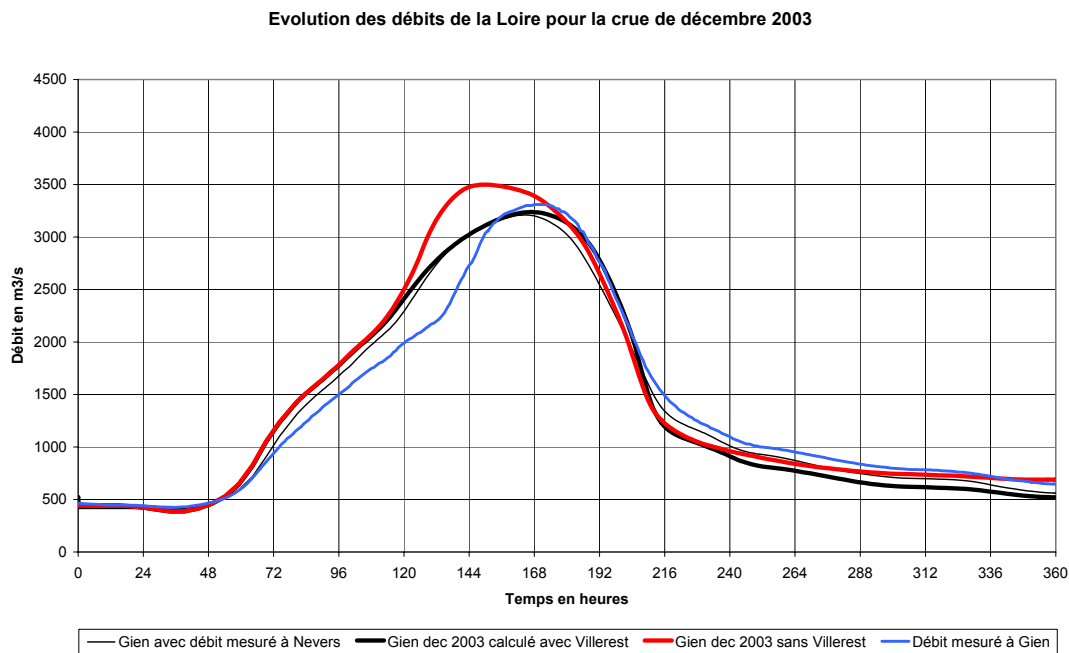
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil = 127 m	Revanche à Z seuil = 127 m
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir St Martin	340	127,40	127,69	0.29	0.40	0.69
Aval déversoir St Martin	344	127,22	127,50	0.28	0.22	0.50

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,28 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir, ce n'est pas suffisant pour empêcher son fonctionnement.

3.12 STATION DE GIEN

Dans le modèle Loire moyenne, la station de Gien est représentée par le nœud de calcul 351 (échelle limni) au pk 107,57.

Voici l'évolution des débits à la station :

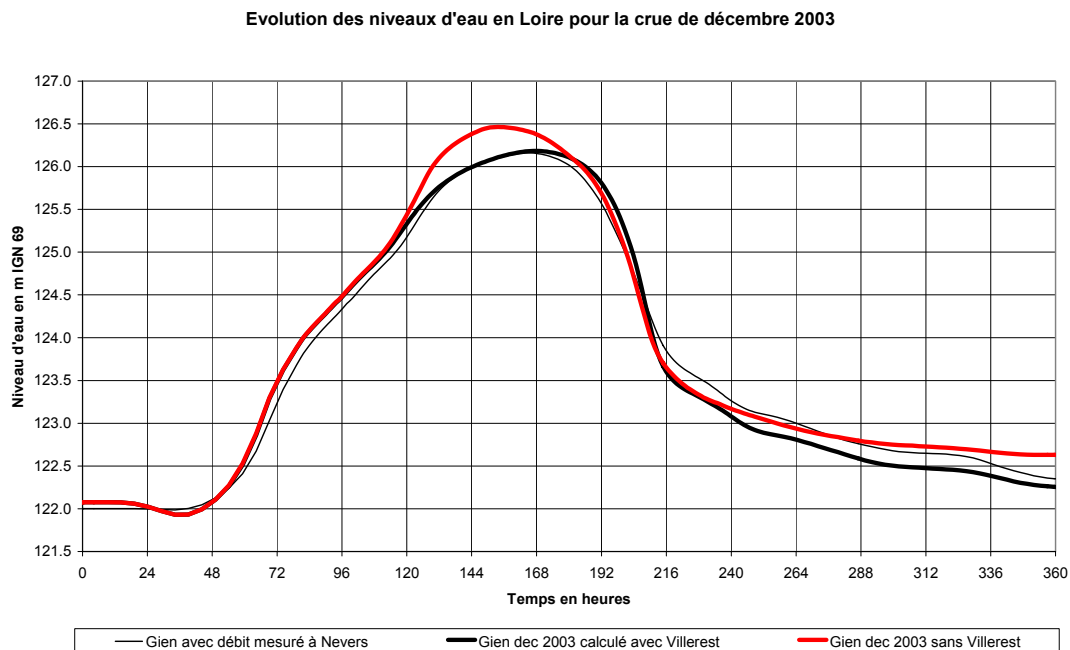


La comparaison entre la propagation des débits par le modèle et les mesures effectuées à Gien montre un excellent respect de ce qui a été observé en ce qui concerne le passage de la pointe de crue et la descente.

Par contre, et contrairement à ce qui a été constaté à Givry, les montées sont différentes. Le modèle propage une montée homogène, la réalité fait apparaître un creux au voisinage de 2 000 - 2 500 m³/s qui semble correspondre à un prélèvement de volume restitué après la descente forte, entre t= 216h et t= 360h.

Au vu des valeurs de débits en Loire concernées par le phénomène, ce prélèvement se produit lors de la mise en eau de la tranche supérieure du lit mineur, puis lors de celle du lit majeur endigué, puis dans les vals lorsqu'ils sont inondés.

Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

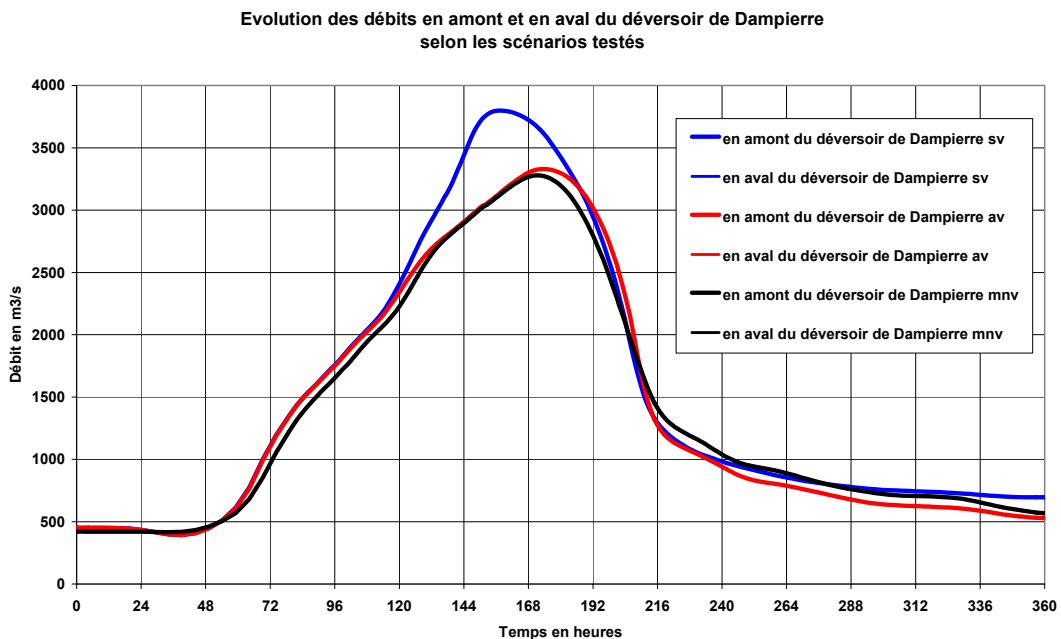
Gien	Nœud de calcul	351
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 239	3 499	260
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
126,18	126,46	0.28

La crue aurait tenu un niveau égal ou supérieur au niveau maximum constaté en décembre pendant 40 heures.

3.13 DEVERSOIR DE DAMPIERRE

Le déversoir de Dampierre est représenté dans le modèle Loire moyenne par un élément de seuil fixe compris entre le pk 118,05 (Nœud 401) et le pk 118,15 (Nœud 402). Il est calé à la cote 122,0 m et sa longueur est de 250 m.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

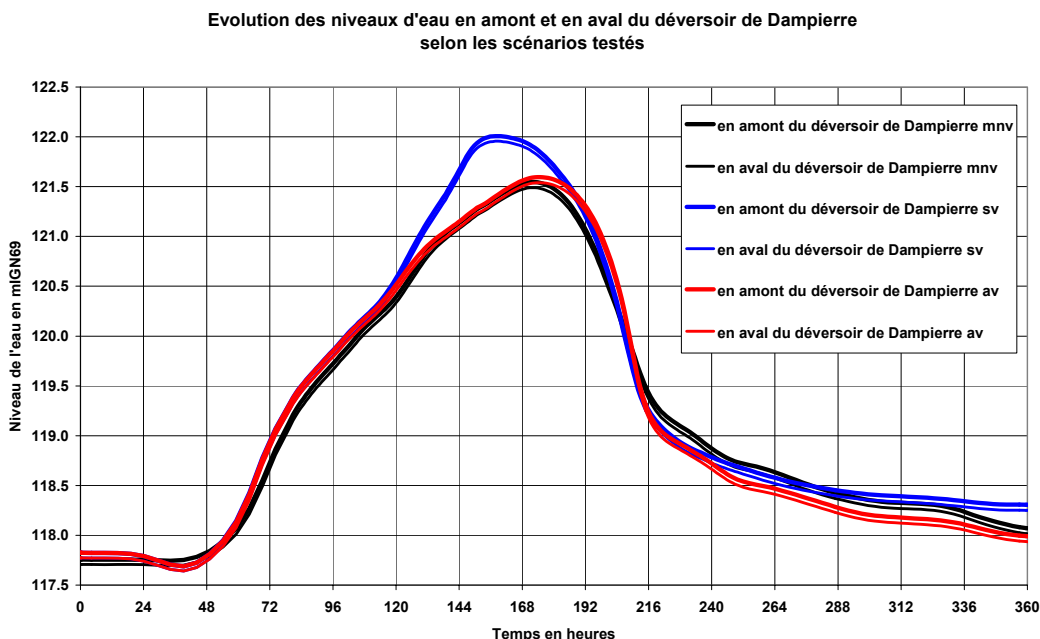


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir Dampierre	401	3 330	3 799	469
Aval déversoir Dampierre	402	3 330	3 799	469
Ecart		0	0	

Le déversoir ne fonctionne pas.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

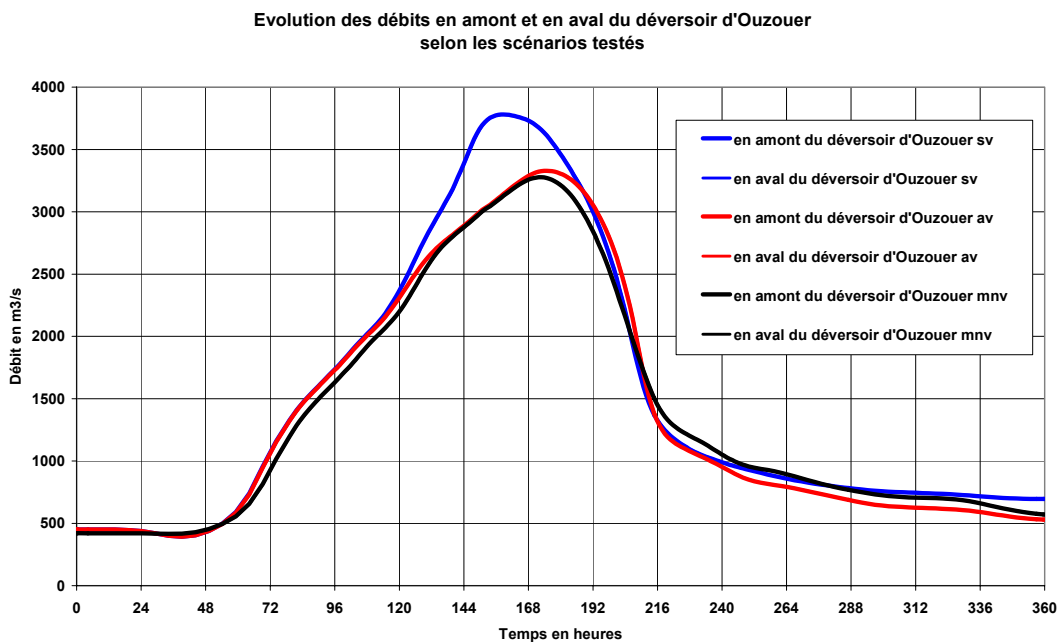
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil = 122 m	Revanche à Z seuil = 122 m
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Dampierre	401	121,60	122,01	0.41	-0.40	0.01
Aval déversoir Dampierre	402	121,54	121,96	0.42	-0.46	-0.04

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,41 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. Dans le scénario sans barrage, le déversoir de Dampierre est en limite de déclenchement de son fonctionnement.

3.14 DEVERSOIR D'OUZOUER

Le déversoir d'Ouzouer est représenté dans le modèle Loire moyenne par 9 éléments de seuil équipé de fusible, calés entre les cotes 120,96 m à l'amont (Nœud 420 au pk 123,70) et 120.70 m à l'aval (Nœud 430 au pk 124,60) et de longueur 900 m. La hauteur du fusible est de 1 mètre environ.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

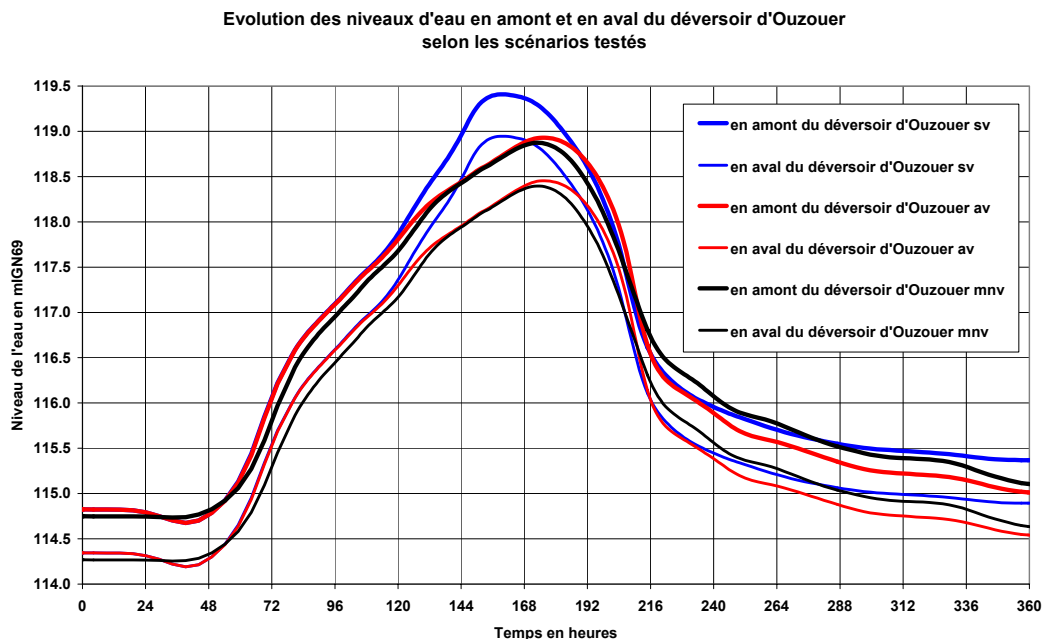


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir d'Ouzouer	420	3 329	3 780	451
Aval déversoir d'Ouzouer	430	3 329	3 780	451
Ecart		0	0	

Le déversoir ne fonctionne pas.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

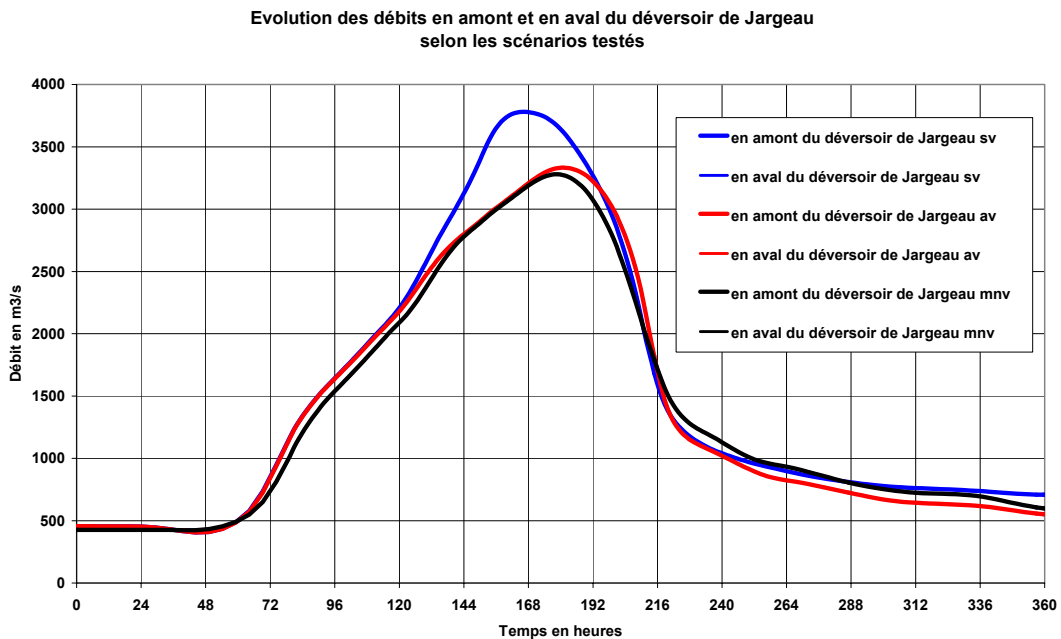
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir d'Ouzouer	420	118,93	119,41	0.48	120.96 -2,03	120.96 -1,55
Aval déversoir d'Ouzouer	430	118,46	118,95	0.49	120.70 -2,24	120.70 -1,75

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,49 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. La revanche par rapport au sommet du fusible est supérieure à la hauteur du fusible (1m) pour les deux scénarios étudiés.

3.15 DEVERSOIR DE JARGEAU

Le déversoir de Jargeau est représenté dans le modèle Loire moyenne par 7 éléments de seuil équipé de fusible, calés entre les cotes 106,70 m à l'amont (Nœud 499 au pk 158,0) et 106,57 m à l'aval (Nœud 506 au pk 158,56) et de longueur 575 m. La hauteur du fusible est de 1,6 mètres environ.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

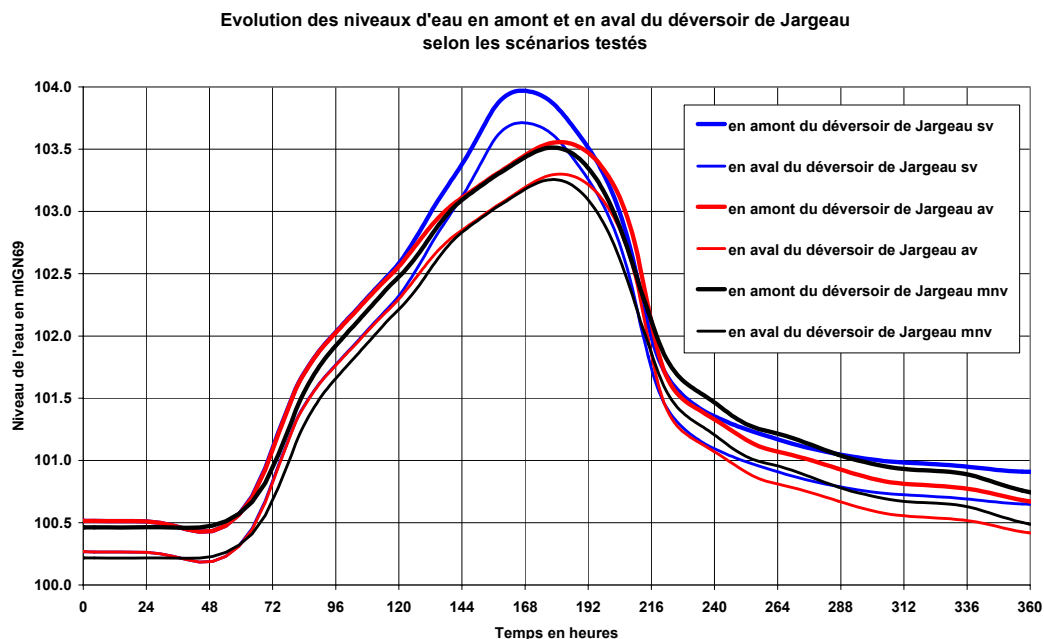


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir Jargeau	499	3 332	3 780	448
Aval déversoir Jargeau	506	3 332	3 780	448
Ecart		0	0	

Le déversoir ne fonctionne pas.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

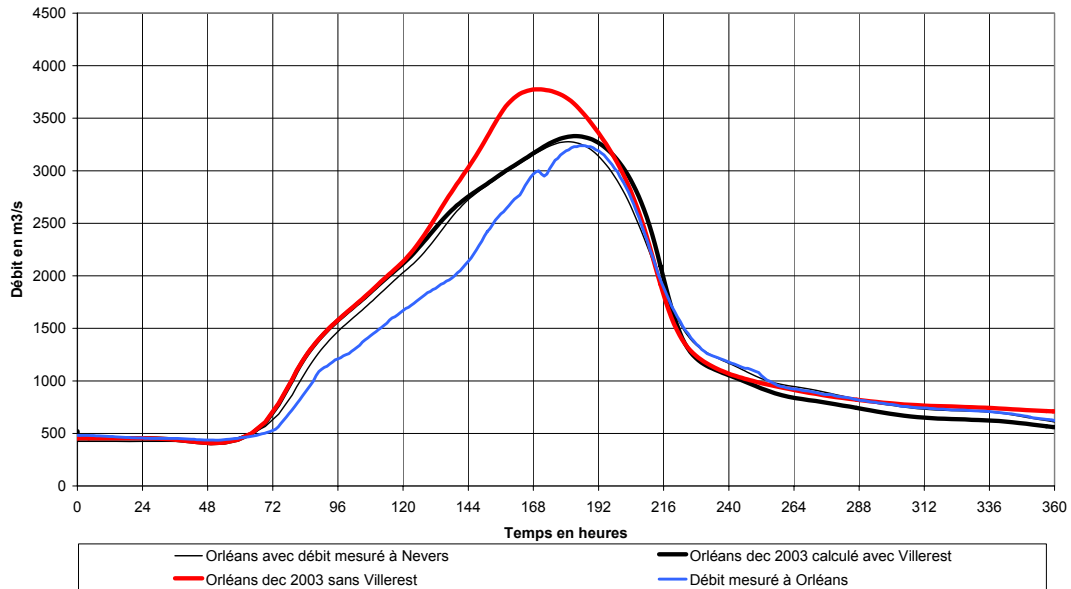
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau En m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Jargeau	499	103,56	103,97	0.41	106,70 -3,14	106,70 -2,73
Aval déversoir Jargeau	506	103,30	103,71	0.41	106,57 -3,27	106,57 -2,86

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,41 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. La revanche par rapport au sommet du fusible est largement supérieure à la hauteur du fusible (1,6m) pour les deux scénarios étudiés.

3.16 STATION D'ORLEANS

Dans le modèle Loire moyenne, la station d'Orléans est représentée par le nœud de calcul 569 (échelle Georges V) au pk 180.93. Voici l'évolution des débits à la station :

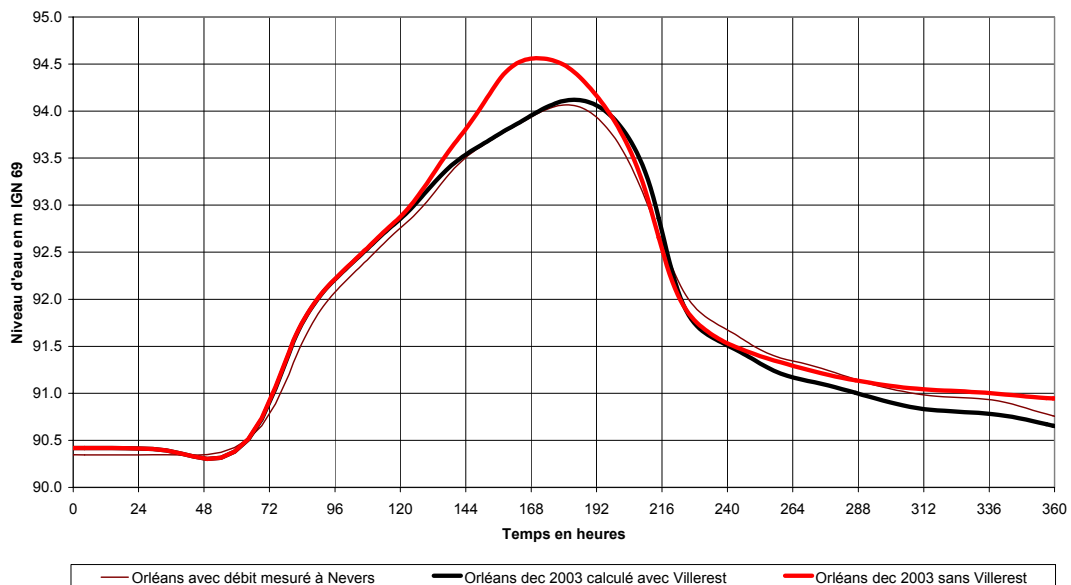
Evolution des débits de la Loire pour la crue de décembre 2003



Le décalage entre la montée des débits observée et calculée, mis en évidence à Gien, est accentué à Orléans. Il est marqué entre 1 000 et 2 000 m³/s, ce qui correspond plutôt au remplissage du lit mineur, et il diminue entre 2 000 et 3 000 m³/s, une fois ce dernier plein.

Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :

Evolution des niveaux d'eau en Loire pour la crue de décembre 2003



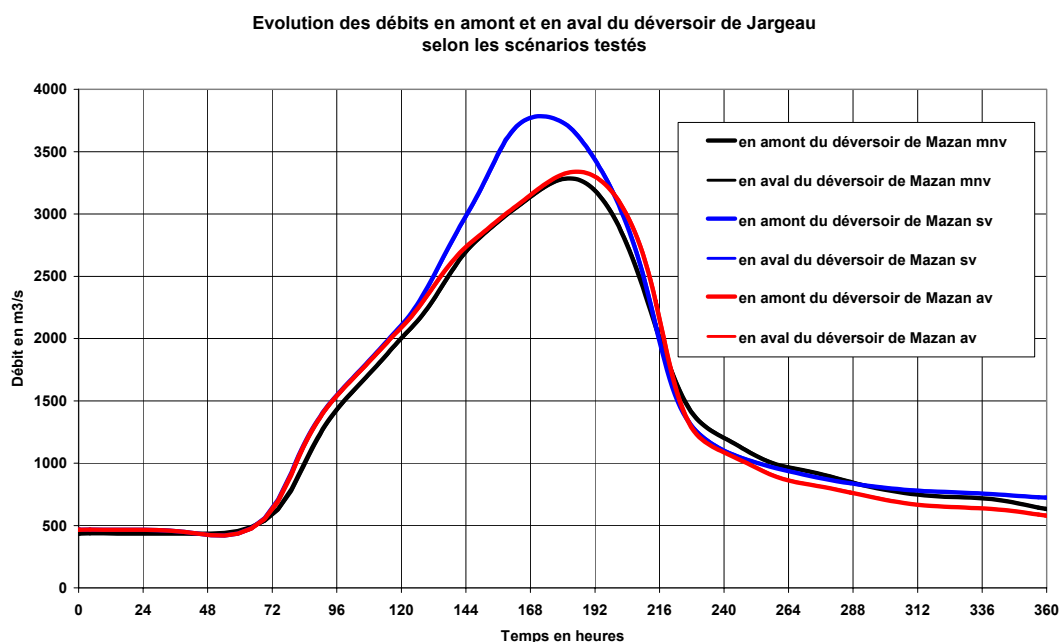
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Orléans	Nœud de calcul	569
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 330	3 776	446
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
94,12	95,56	0.44

3.17 DEVERSOIR DE MAZAN

Le déversoir de Mazan est représenté dans le modèle Loire moyenne par 16 éléments de seuil fixe calés entre les cotes 88,40 m à l'amont (Nœud 613 au pk 196,16) et 87,60 m à l'aval (Nœud 630 au pk 198,96) avec une série de points bas calés à la cote 87,17 m (Nœud 627 au pk 198,66) et de longueur 2 800 m environ.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

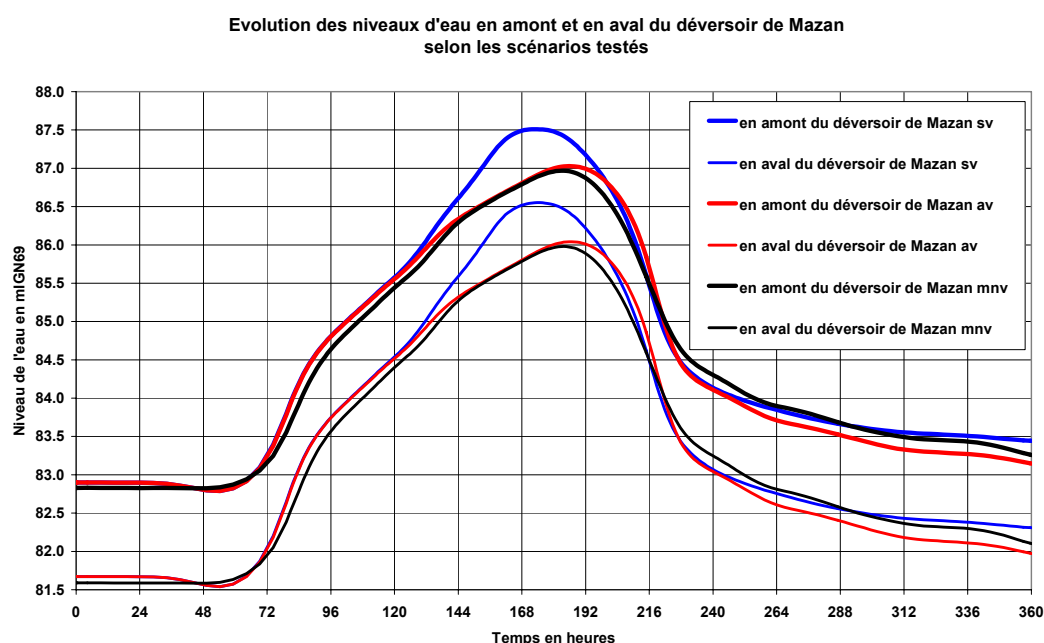


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir Mazan	613	3 339	3 784	445
Aval déversoir Mazan	630	3 339	3 783	444
Ecart		0	1	

Le déversoir ne fonctionne pas.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

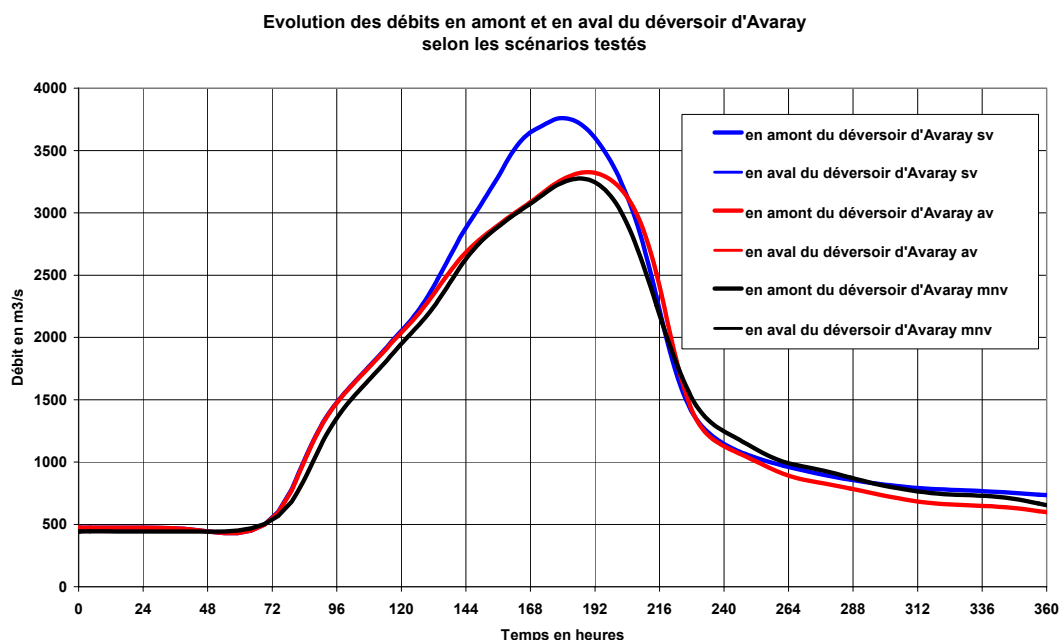
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a - Z seuil	b - Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Mazan	613	87,03	87,51	0.48	88,40 -1,37	88,40 -0.89
Points bas déversoir Mazan	627	86,14	86,64	0.50	87,17 -1,03	87,17 -0.53
Aval déversoir Mazan	630	86,04	86,55	0.51	87,60 -1,56	87,60 -1,05

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,50 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. La revanche par rapport au sommet du déversoir est au moins de 1 mètre pour la crue avec Villerest.

3.18 DEVERSOIR D'AVARAY

Le déversoir d'Avaray est représenté dans le modèle Loire moyenne par 5 éléments de seuil équipé d'un fusible calés entre les cotes 81,10 m à l'amont (Nœud 700 au pk 217,80) et 81,07 m à l'aval (Nœud 705 au pk 218,315) et de longueur 500 m. La hauteur du fusible est de 1,10 mètres environ.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

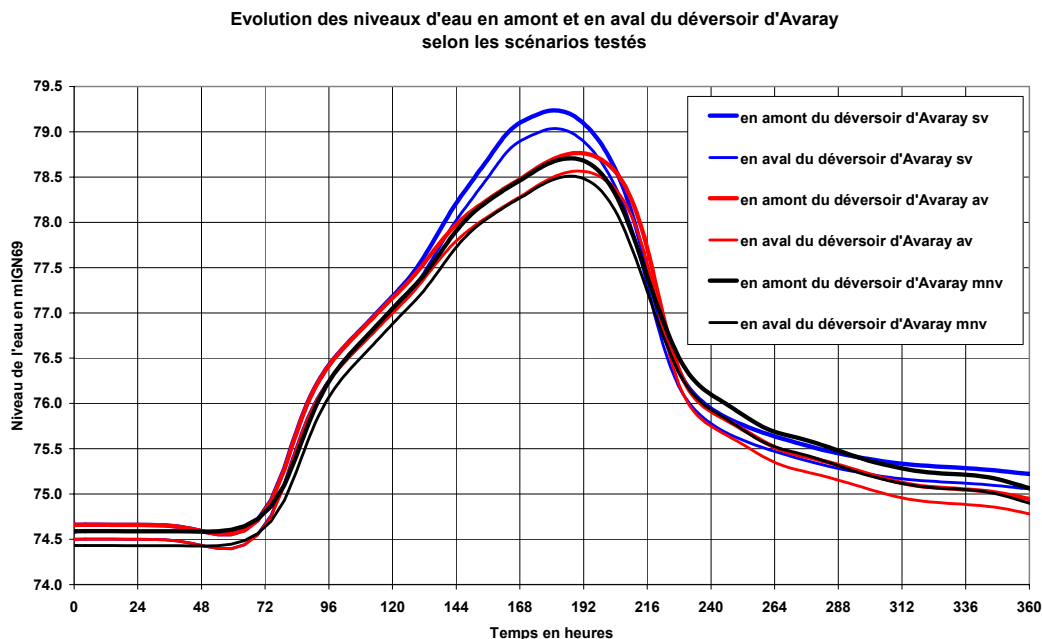


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir Avaray	700	3 325	3 760	435
Aval déversoir Avaray	705	3 325	3 759	434
Ecart		0	1	

Le déversoir ne fonctionne pas. La diminution de 1m³/s correspond à un écrêtement dans le filaire de la Loire.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

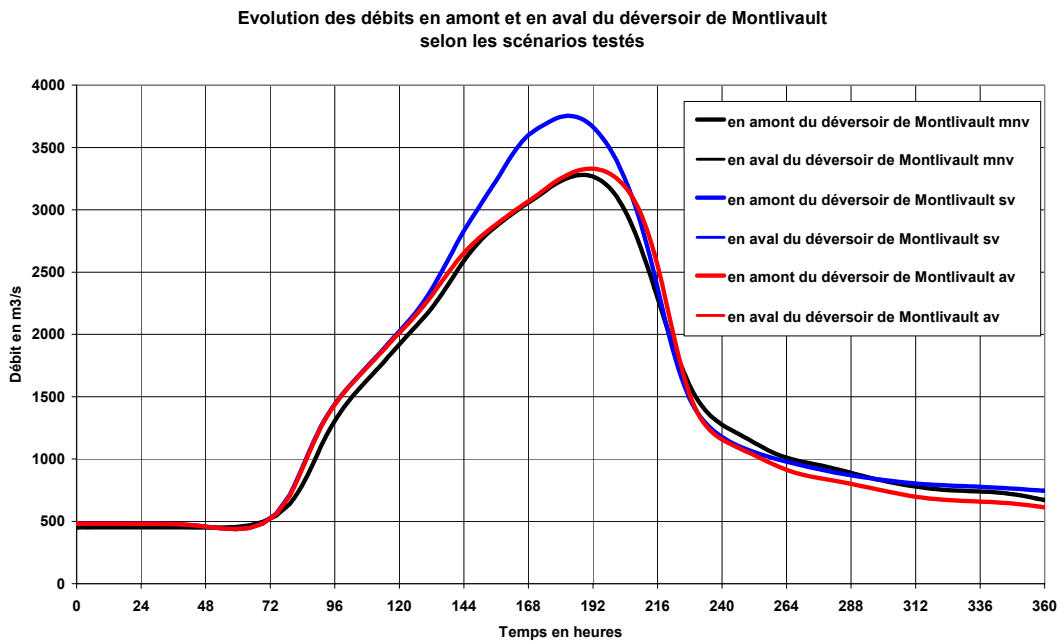
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Avaray	700	78,773	79,24	0.47	81,10 -2,33	81,10 -1,86
Aval déversoir Avaray	705	78,57	79,04	0.47	81,07 -2,50	81,07 -2,03

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,47 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. La revanche par rapport au sommet du fusible est largement supérieure à la hauteur du fusible (1,1m) pour les deux scénarios étudiés.

3.19 DEVERSOIR DE MONTLIVAUT

Le déversoir de Montlivault est représenté dans le modèle Loire moyenne par 5 éléments de seuil équipé de fusible calés entre les cotes 76,30 m à l'amont (Nœud 737 au pk 230,00) et 76,08 m à l'aval (Nœud 742 au pk 230,42) et de longueur 420 m. La hauteur du fusible est de 1 mètre environ.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

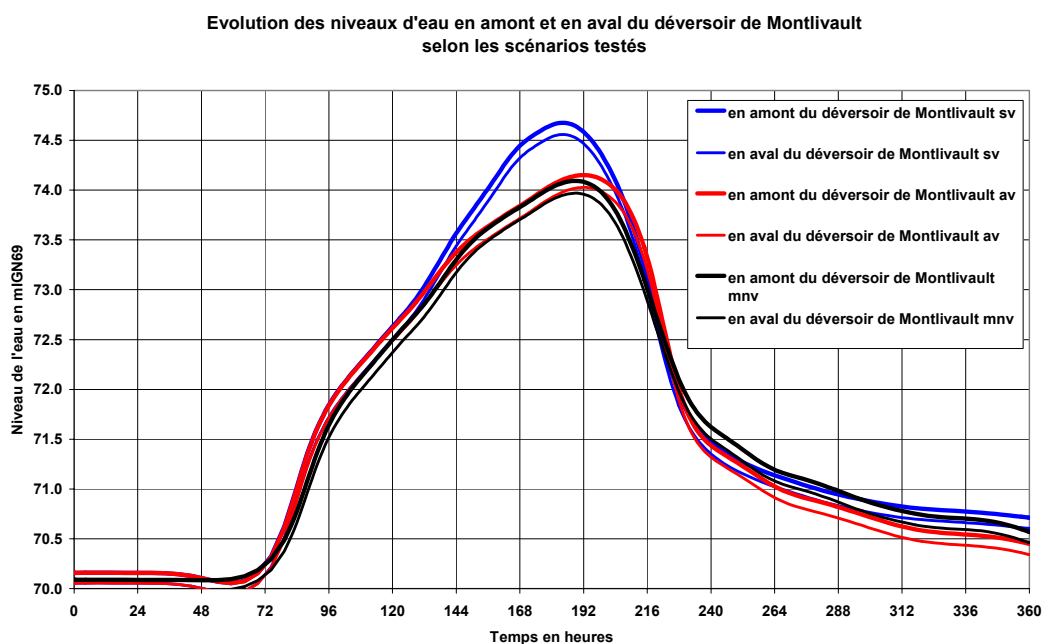


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m3/s	Débit en m3/s	En m3/s
Amont déversoir Montlivault	737	3 330	3 754	424
Aval déversoir Montlivault	742	3 330	3 754	423
Ecart		0	1	

Le déversoir ne fonctionne pas. La diminution de 1m3/s correspond à un écrêtement dans le filaire de la Loire.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

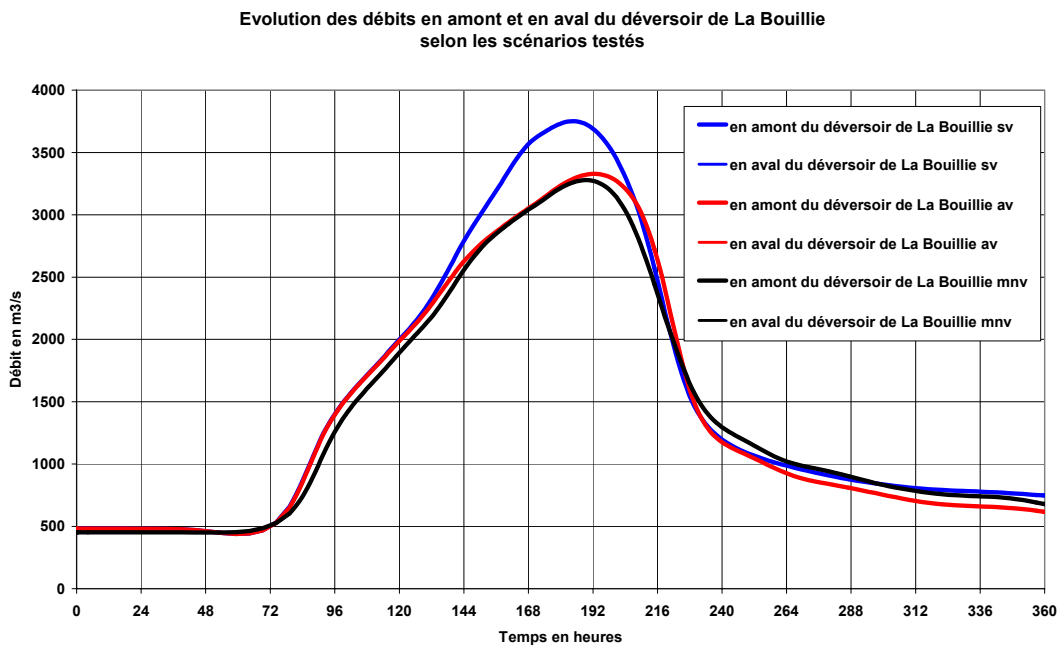
Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b		a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir Montlivault	737	74,15	74,68	0.53	76,30 -2,15	76,30 -1,62
Aval déversoir Montlivault	742	74,03	74,56	0.53	76,08 -2,05	76,08 -1,52

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,53 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. La revanche par rapport au sommet du fusible est largement supérieure à la hauteur du fusible (1,0m) pour les deux scénarios étudiés.

3.20 DEVERSOIR DE LA BOUILLIE

Le déversoir de la Bouillie est représenté dans le modèle Loire moyenne par 5 éléments de seuil équipés de fusible – la banquette de la route - calés entre les cotes 72,05 m à l'amont (Nœud 769 au pk 239,00) et 72,15 m à l'aval (Nœud 744 au pk 231,50), avec une série de points plus bas calés à la cote 71,60 (Nœud 772 au pk 239,30) et de longueur 450 m.

Voici l'évolution des débits de part et d'autre du déversoir :

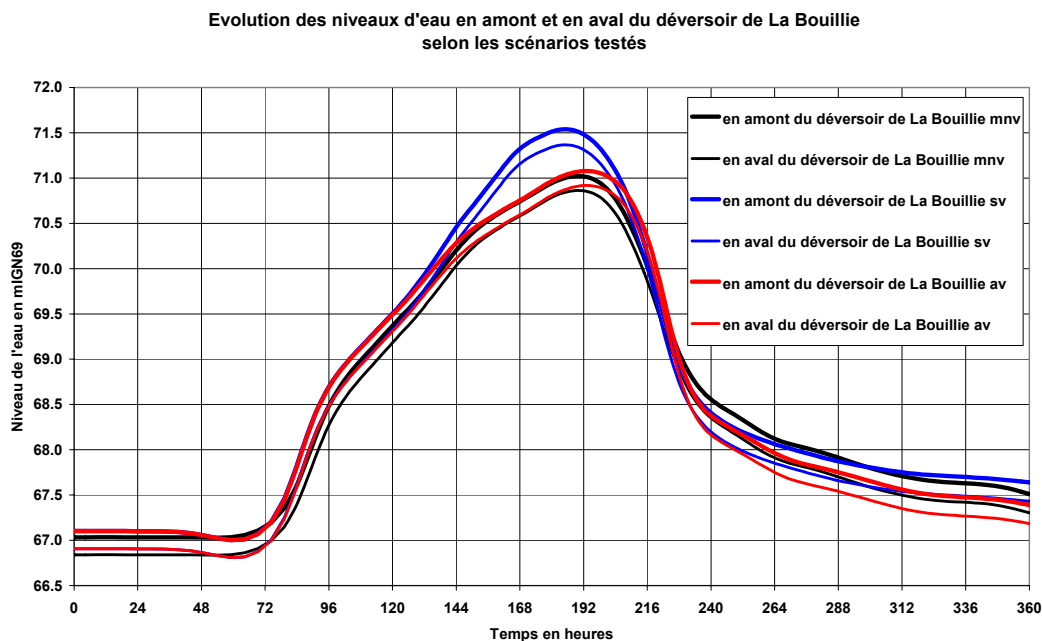


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de débit
		a	b	b-a
		Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	En m ³ /s
Amont déversoir La Bouillie	769	3 328	3 751	423
Aval déversoir La Bouillie	774	3 328	3 751	423
Ecart		0	0	

Le déversoir ne fonctionne pas.

Voici l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre du déversoir :



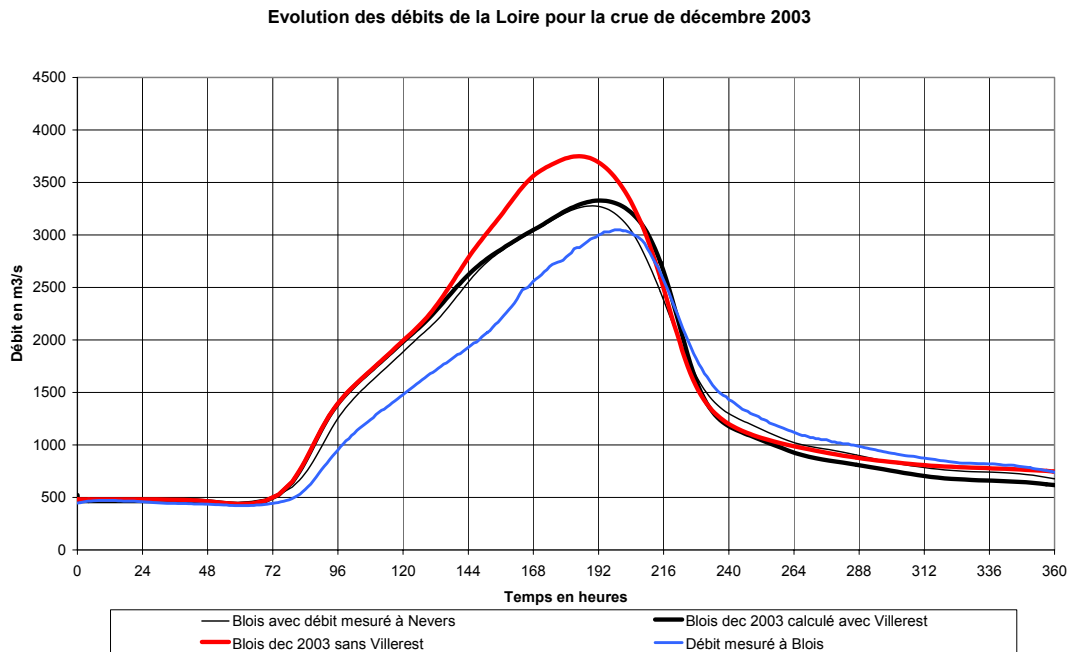
Le tableau suivant quantifie les gains en hauteur apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Identification du Point de calcul	Nœud de calcul	Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart de niveau	Revanche à Z seuil =	Revanche à Z seuil =
		a	b	b-a	a – Z seuil	b – Z seuil
		Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m	en m	en m
Amont déversoir La Bouillie	769	71,08	71,54	0.46	72,05 -0,97	72,05 -0,51
Amont déversoir La Bouillie	772	70,97	71,42	0.45	71,60 -0,63	71,60 -0,18
Aval déversoir La Bouillie	774	70,92	71,37	0.45	72,15 -1,23	72,15 -0,78

L'action du barrage se traduit par un gain de 0,45 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir. Dans le scénario sans barrage, les points bas du déversoir de La Bouillie sont approchés par l'eau à moins de 0,2m.

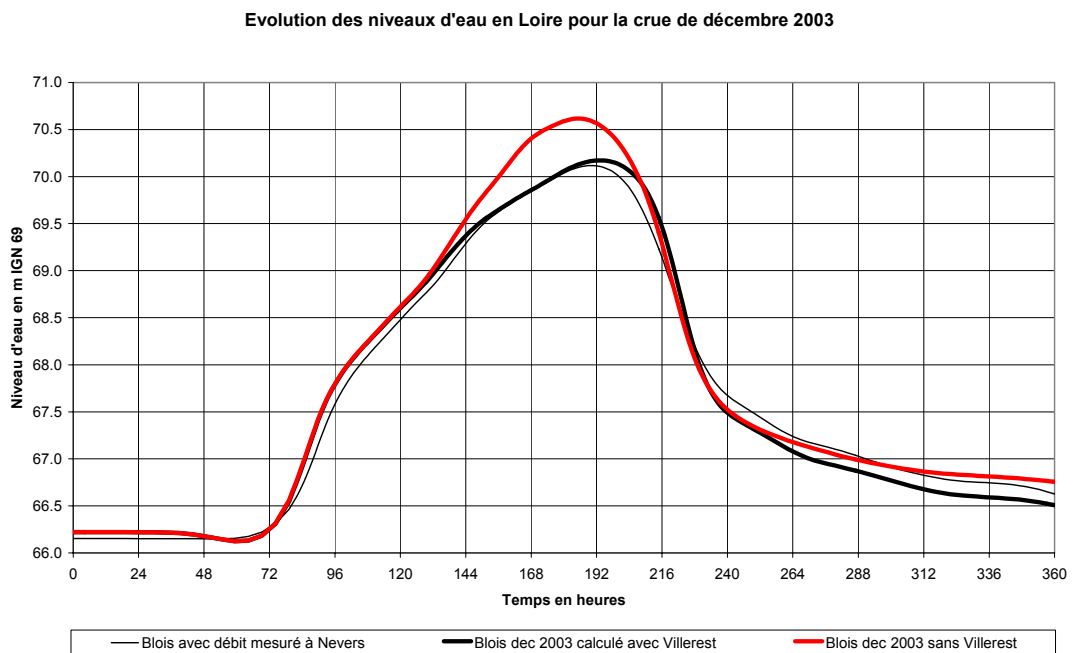
3.21 STATION DE BLOIS

Dans le modèle Loire moyenne, la station de Blois est représentée par le nœud de calcul 783 (Blois limni) au pk 240,51, Voici l'évolution des débits à la station :



A Blois, le modèle propage beaucoup plus d'eau à la montée que ce qui a été observé. En fin de crue, la restitution est visible.

Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :



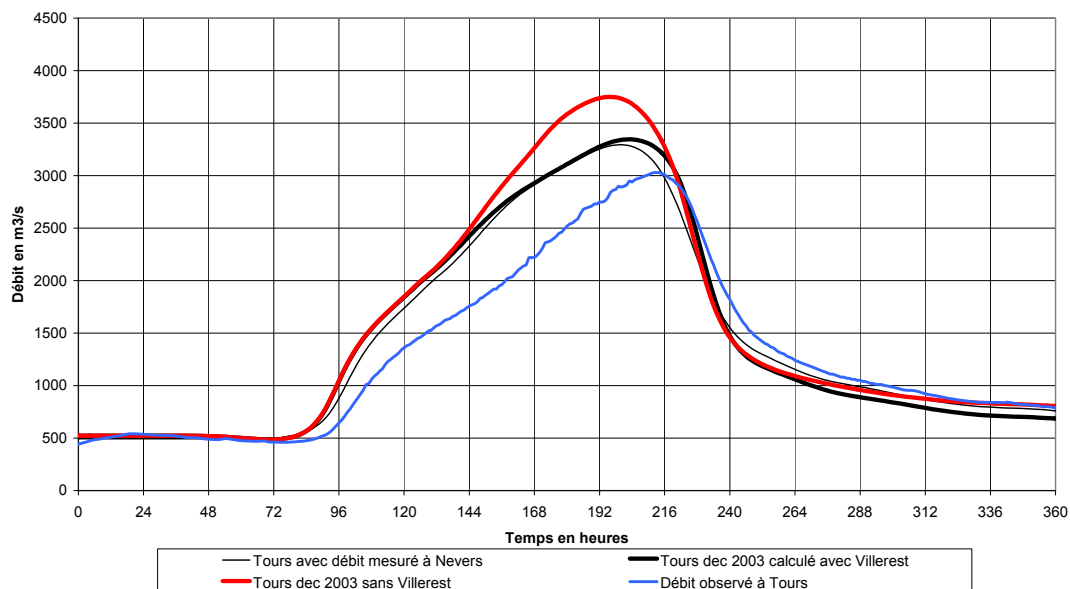
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Blois	Nœud de calcul	783
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 328	3 750	422
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
70,17	70,62	0.45

3.22 STATION DE TOURS

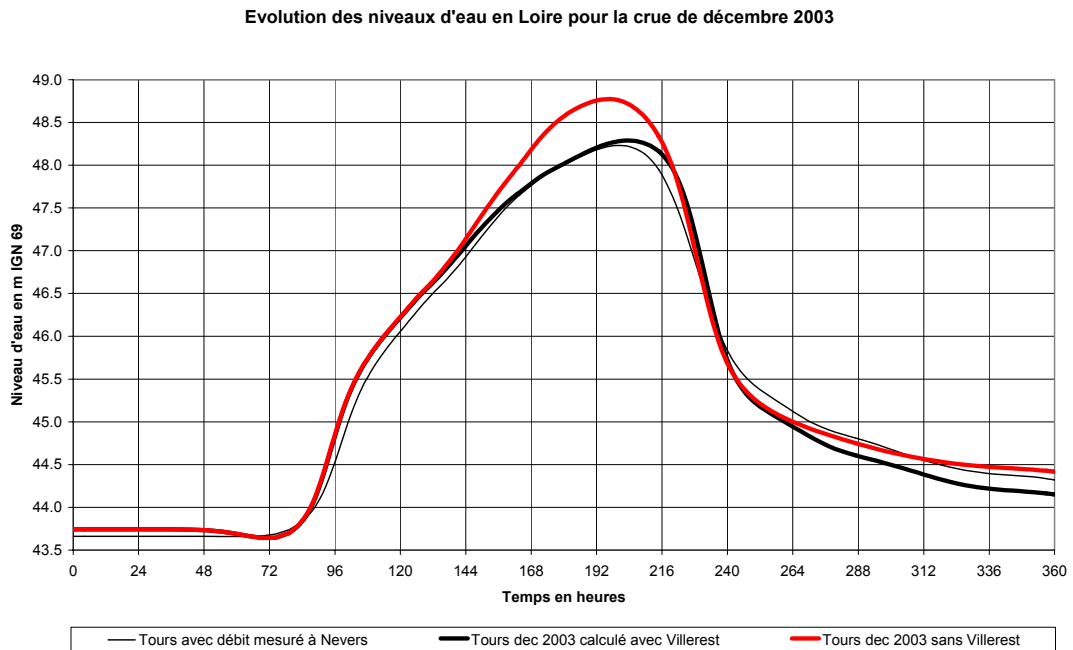
Dans le modèle Loire moyenne, la station de Tours est représentée par le nœud de calcul 956 (Wilson limni) au pk 298,35. Voici l'évolution des débits à la station :

Evolution des débits de la Loire pour la crue de décembre 2003



Les résultats à la station de Tours confirment ce qui a été noté précédemment : le lit endigué de la Loire stocke une partie de la crue lors de la montée des eaux.

Voici l'évolution des niveaux d'eau à la station :

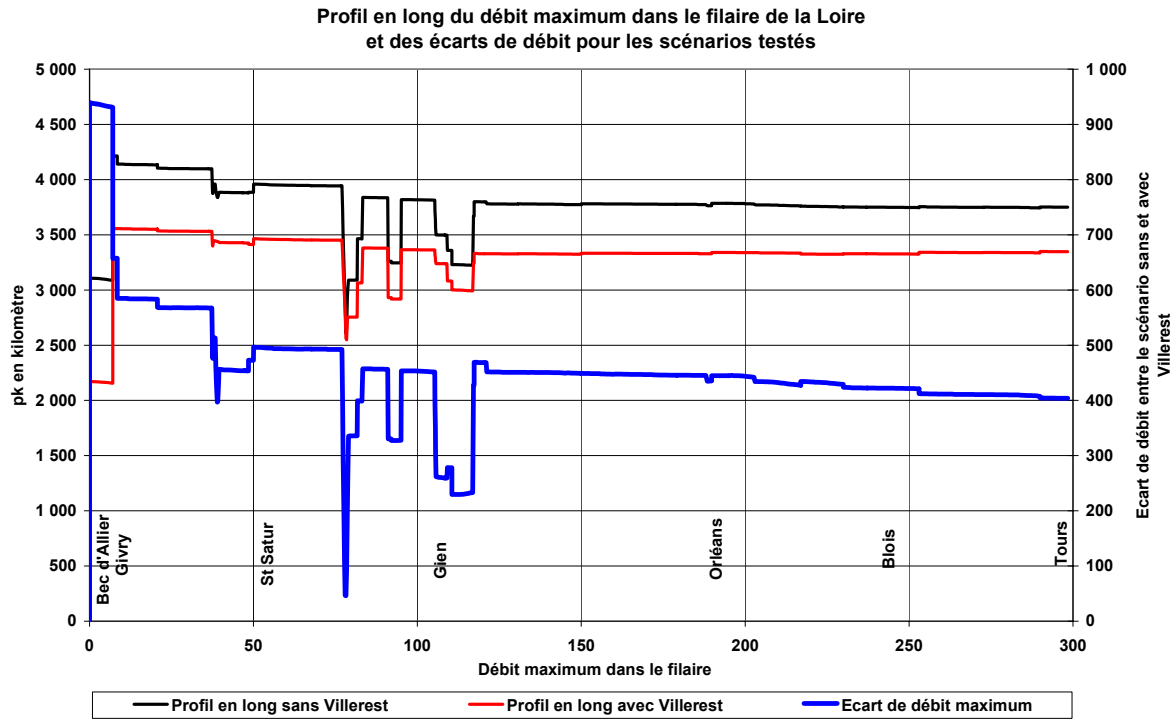


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

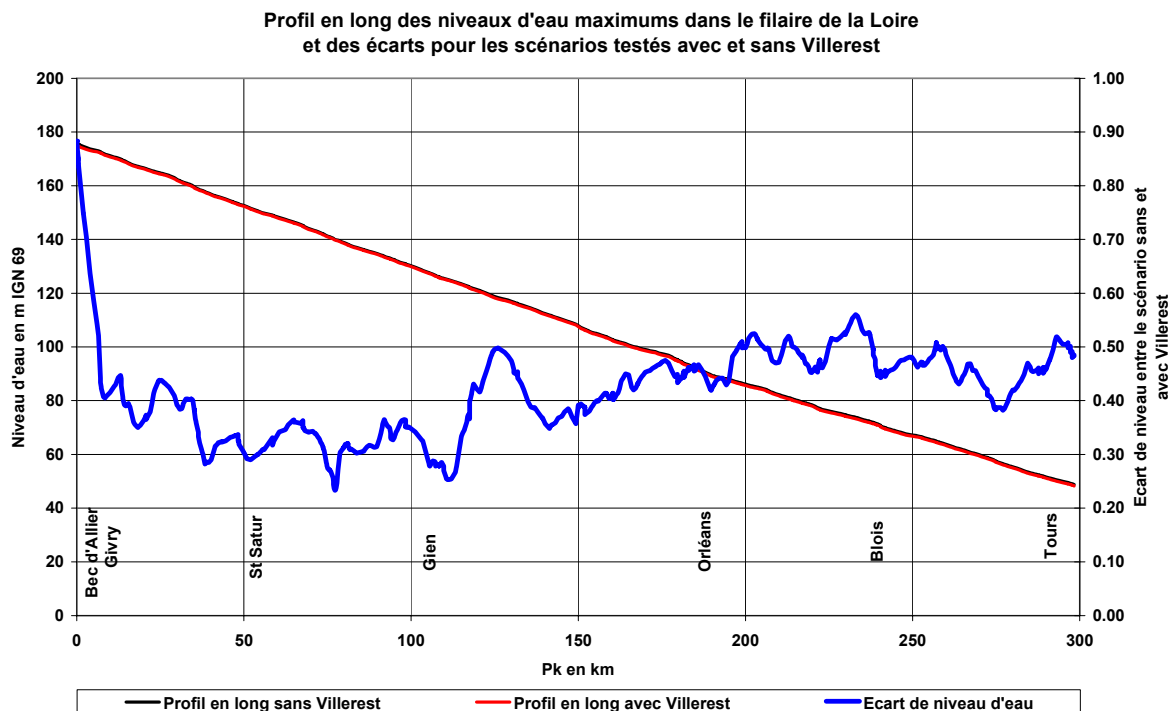
Tours	Nœud de calcul	956
Crue simulée avec Nevers calculé	Crue simulée avec Nevers calculé sans Villerest	Ecart
A	b	b-a
Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s	Débit en m ³ /s
3 347	3 750	403
Niveau en m IGN69	Niveau en m IGN70	en m
48,29	18,80	0.51

4 SYNTHÈSE

Les profils en long de débits et de niveaux d'eau maximums calculés par le modèle Loire moyenne pour les situations avec et sans l'action du barrage de Villerest, et ceux des écarts entre ces valeurs sont donnés ci-dessous de Nevers jusqu'à Tours :



Les creux de débit correspondent aux écoulements dans les filaires et les casiers des vals.



Les deux graphiques appellent les commentaires suivants :

- L'écart des débits maximum est réduit à la confluence avec l'Allier. Il passe de 940 m³/s à Nevers à 584 m³/s à Givry.
- Le fonctionnement des déversoirs de Passy, Léré et St Martin sur Ocre et l'écrêtement en ligne dans le filaire de la Loire réduisent ce gain à 446 m³/s à Orléans. Il est de 422 m³/s à Blois et de 403 m³/s à Tours.
- Le gain en débit diminue de l'amont vers l'aval du fait d'un écrêtement en ligne légèrement plus fort pour la propagation dans le lit endigué de la Loire de la crue sans Villerest qui est plus pointue que celle, plus épaisse, de la crue avec l'action de Villerest.
- Cela ne se traduit pas par une diminution de l'écart de niveau. En effet le rapport dh/dq des courbes de « tarage » reliant hauteur d'eau et débit, tend à augmenter lorsque l'on va de l'amont vers l'aval, surtout du fait de la diminution de la pente hydraulique en Loire endiguée.
- De ce fait le gain en niveau est de l'ordre de 0,3 m entre Givry et Gien et de 0,4 m entre Orléans et Tours.

Le tableau ci-après récapitule pour chaque déversoir le débit de déclenchement du déversement dans le val au droit du déversoir évalué lors de l'étude Loire moyenne, le débit calculé lors du passage de la crue de décembre 2003, la revanche entre la ligne d'eau et la cote du seuil calculée pour la simulation de la crue et la même revanche sans l'action du barrage de Villerest :

Déversoir	Débit de déclenchement du déversement dans le val	Débit calculé de la crue de décembre 2003	Revanche à Z seuil pour crue avec Villerest	Revanche à Z seuil pour crue sans Villerest
	m ³ /s	m ³ /s	m	m
Bec d'Allier	(-)	1 400	-0.43	-0.10
Passy	3 500	3 530	0.08	0.36
Léré	1 900	3 450	1,01	1,28
Saint Martin sur Ocre	3 000	3 360	0.40	0.69
Dampierre	4 000	3 330	-0.40	0.01
Ouzouer	5 300	3 330	-2,03	-1,55
Jargeau	7 000	3 330	-3,14	-2,73
Mazan	4 500	3 340	-1,03	-0.53
Avaray	6 200	3 325	-2,33	-1,86
Montlivault	5 200	3 330	-2,05	-1,52
La Bouillie	3 900	3 330	-0.63	-0.18

Trois vals ont été inondés suite au fonctionnement des déversoirs : La Charité aval, Léré aval et le val de Gien.

Trois déversoirs auraient pu être sollicités sans l'action du barrage de Villerest : le déversoir du Bec d'Allier, celui de Dampierre et La Bouillie car la revanche est comprise entre 0 et - 0,20 m correspondant à l'incertitude issue du calage du modèle.

D'après le modèle, sans Villerest, le val du Bec d'Allier aurait été inondé par remous.

Deux autres résultats sont mis en évidence par la présente étude :

- Villerest décale de 24 heures environ le passage de la pointe de crue en Loire moyenne. Cela est dû à la composition de l'hydrogramme naturel de l'Allier avec l'hydrogramme « aplati » de la Loire à Nevers.

- En comparant les hydrogrammes calculés et les hydrogrammes observés, il semble que la Loire ait prélevé un volume de crue supplémentaire à celui représenté par les équations de Barré de Saint-Venant dans son lit mineur lors de son remplissage. Ce volume est restitué en fin de crue.