RECONSTITUTION ET SIMULATION DE LA CRUE DE NOVEMBRE 2008 ENTRE LE BEC D'ALLIER ET LE BEC DE CHER AVEC ET SANS L'ACTION DU BARRAGE DE VILLEREST

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

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

Réf : 24973 TB/vh
Date : Décembre 2009
Version : 3

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 NOVEMBRE 2008 ____ 2

2.3 ROLE DE VILLEREST ____ 4

3 LES RESULTATS DETAILLES DES SCENARIOS TESTES ____ 5

3.1 NEVERS ____ 5

3.2 DEVERSOIR DU BEC D'ALLIER ____ 6

3.3 COMPOSITION DES HYDROGRAMMES AU BEC D'ALLIER ____ 7

3.4 STATION DE GIVRY ____ 8

3.5 STATION DE LA CHARITE SUR LOIRE ____ 10

3.6 DEVERSOIR DE PASSY ____ 11

3.7 STATION DE POUILLY SUR LOIRE ____ 13

3.8 STATION DE SAINT-SATUR SAINT-THIBAULT ____ 14

3.9 STATION DE COSNE SUR LOIRE ____ 16

3.10 DEVERSOIR DE LERE ____ 17

3.11 STATION DE CHATILLON SUR LOIRE ____ 19

3.12 DEVERSOIR DE SAINT MARTIN SUR OCRE ____ 20

3.13 STATION DE GIEN ____ 22

3.14 DEVERSOIR DE DAMPIERRE ____ 23

3.15 DEVERSOIR D'OUZOUER ____ 25

3.16 DEVERSOIR DE JARGEAU ____ 27

3.17 STATION D'ORLEANS ____ 29

3.18 DEVERSOIR DE MAZAN ____ 30

3.19 DEVERSOIR D'AVARAY ____ 32

3.20 DEVERSOIR DE MONTLIVAULT ____ 34

3.21 DEVERSOIR DE LA BOUILLIE ____ 36

3.22 STATION DE BLOIS ____ 38

3.23 STATION DE TOURS ____ 40

4 SYNTHESE ____ 42

5 REMARQUE SUR LES LIMITES DU MODELE LM09 ____ 45

5.1 STATION DE GIVRY ____ 47
5.2 STATION DE SAINT-SATUR ____ 48
5.3 STATION DE GIEN ____ 49
5.4 STATION D'ORLEANS ____ 50
5.5 STATION DE BLOIS ____ 51
5.6 STATION DE TOURS ____ 52
5.7 CONCLUSION ____ 53

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 novembre 2008 du Bec d'Allier au Bec de Cher sur la base des données hydrologiques disponibles auprès du centre de gestion des crues et des étiages à la DIREN Centre à Orléans et des constatations effectuées par les différents services gestionnaires du fleuve.

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 et au droit des stations de référence de Givry, La Charité sur Loire, Pouilly sur Loire, Saint Thibault, Cosne, Châtillon, Gien, Orléans, Blois et Tours, son rôle d'écrêtement d'une part et le bénéfice qu'il apporte en termes de moindre sollicitation des déversoirs.

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 réalisé pour l'Etat, l'Agence de l'eau Loire Bretagne et l'Etablissement Public Loire en 1998, mis à jour et recalé en 2009 en propagation pour les besoins du Service de Prévision des Crues Loire-Cher-Indre et a réalisé courant 2004 une étude similaire pour l'E.P.Loire démontrant l'intérêt de l'action de Villerest lors du déroulement de la crue de décembre 2003.

2 METHODOLOGIE DE L'ETUDE

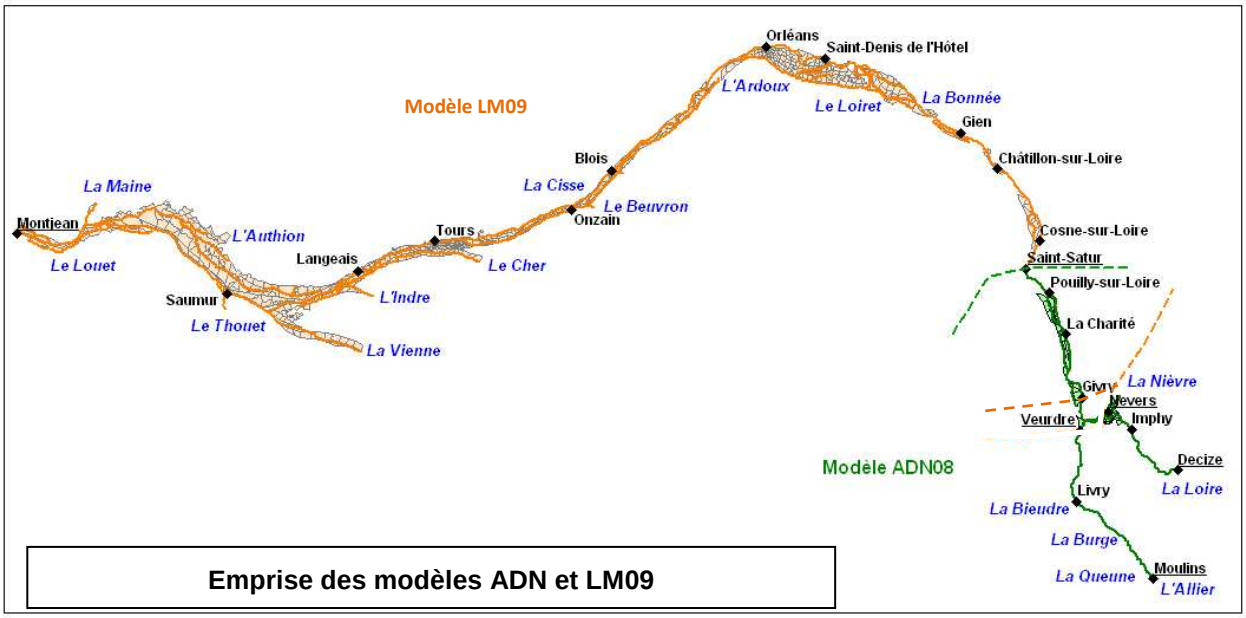
Hydratec a enchaîné les tâches suivantes, ce qui constitue la méthodologie de l'étude.

2.1 COLLECTE DES DONNEES

Les données de crue pour simuler la crue de novembre 2008 sont fournies par la Diren Centre et par l'Etablissement Public Loire pour 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 NOVEMBRE 2008

Les simulations de la crue sont menées à l'aide des modèles ADN et LM09 développés sous Hydrariv, en mode complexe, courant 2008 et 2009, dans le cadre de l'étude l'Etude Globale du Risque Inondation sur l'Agglomération de Nevers - EGRIAN – et de l'étude de réalisation d'un outil de prévision des crues de la Loire moyenne pour la DIREN Centre.



Emprise des modèles ADN et LM09

Le modèle ADN a été construit par hydratec pour l'étude EGRIAN. Il débute à Moulins sur l'Allier et Decize sur la Loire et finit à Saint-Satur. Le modèle LM09 est le modèle Loire moyenne allant de Givry à Saumur.

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 initial Loire moyenne de 1998 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 000ème, et une série de profils réalisés sur certains axes routiers ou sur des ouvrages pouvant influencer les écoulements (ponts, buses…).

Le modèle LM09 a quant à lui été adapté localement avec de nouvelles données bathymétries en possession de la DIREN et certains vals ont été affinés avec le levé topographique haute résolution réalisé par Laser aéroporté en 2002.

Trois hydrologies sont simulées avec ces modèles :

1. La première simulation propage, avec le modèle ADN, la Loire mesurée à Imphy et l'Allier mesuré à Moulins, puis, avec le modèle LM09, la Loire calculée par ADN à Givry. Les résultats sont dans le sous-directory nov08.

2. La seconde simulation propage, avec le modèle ADN, la Loire calculée à Imphy par ISL en tenant compte du barrage de Villerest et l'Allier mesuré à Moulins, puis, avec le modèle LM09, la Loire calculée par ADN à Givry. Les résultats sont dans le sous-directory nov08av.

3. La troisième simulation propage, avec le modèle ADN, la Loire calculée à Imphy par ISL sans l'action du barrage de Villerest et l'Allier mesuré à Moulins, puis, avec le modèle LM09, la Loire calculée par ADN à Givry. Les résultats sont dans le sous-directory nov08ss.

Le tableau ci-dessous récapitule les 3 hydrologies des simulations :

	Imphy	**Moulins**	**Givry**
Nov08	Mesure	Mesure	Calculs ADN injectés dans LM09
Nov08av	Calculs ISL avec Villerest	Mesure	Calculs ADN injectés dans LM09
Nov08ss	Calculs ISL sans Villerest	Mesure	Calculs ADN injectés dans LM09

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 également présentée sous forme de graphiques et de tableau Excel au droit des déversoirs modélisés en Loire moyenne :

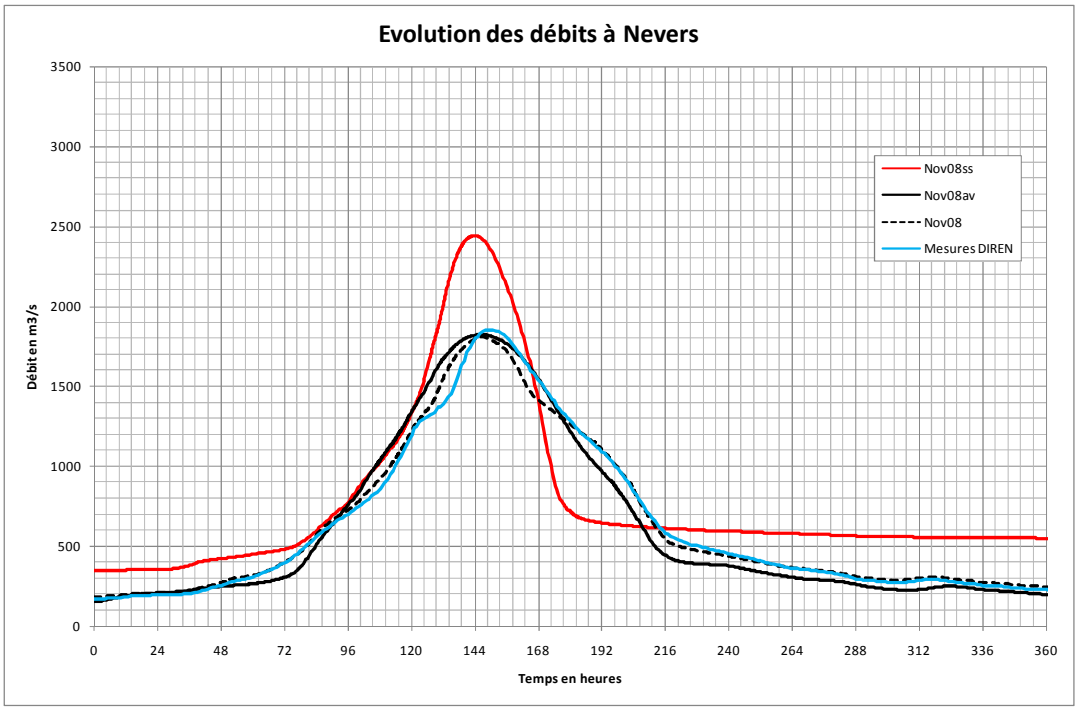
- Bec d'Allier
- Passy
- Léré
- Dampierre
- Ouzouer
- Jargeau
- Mazan
- Avaray
- Montlivault
- La Bouillie

Pour faciliter la lecture « géographique » du rapport, la présentation des résultats est faite en suivant le cours de la Loire. Une cartographie des écarts de niveau au droit de chaque station résultant du fonctionnement du barrage de Villerest est réalisée.

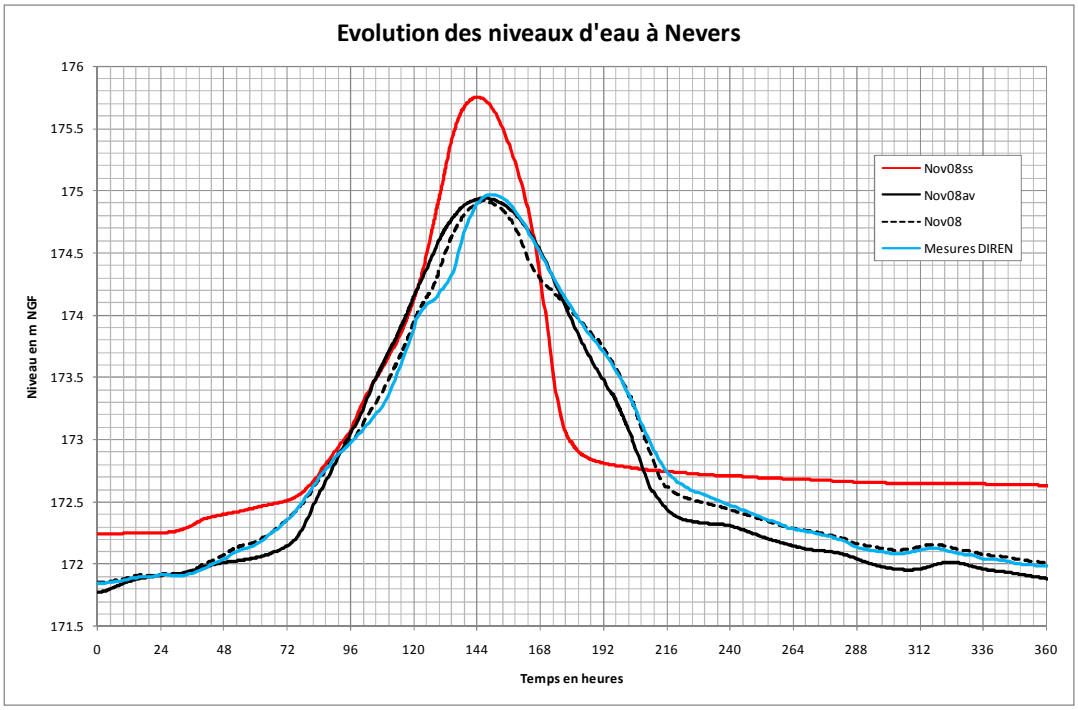
3 LES RESULTATS DETAILLES DES SCENARIOS TESTES

3.1 NEVERS

Voici les hydrogrammes de crue de la Loire à Nevers, avec et sans l'action du barrage de Villerest :



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



Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest : Villerest apporte un gain de 619 m^3/s et un niveau d'eau diminué de 0,81 m :

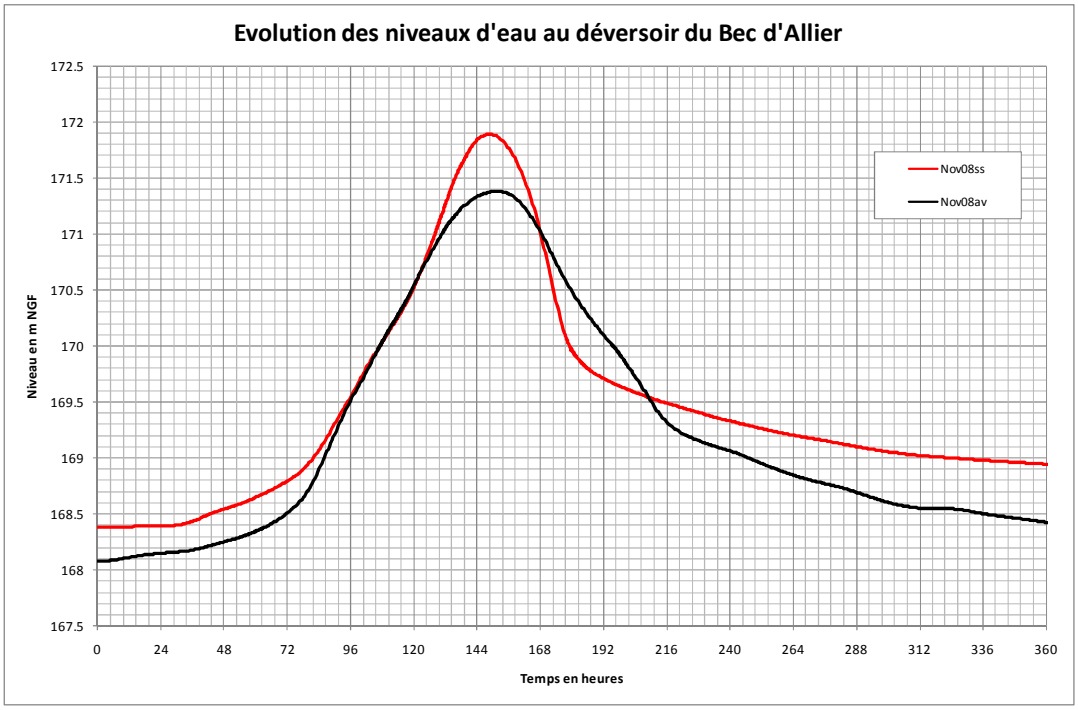
Nevers	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 443	1 824	619	175.75	174.94	0.81

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 novembre 2008 pendant 34 heures.

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.

Voici l'évolution des niveaux d'eau au droit du déversoir. Ils évoluent avec le niveau de la Loire à la confluence qui varie d'un scénario à l'autre :

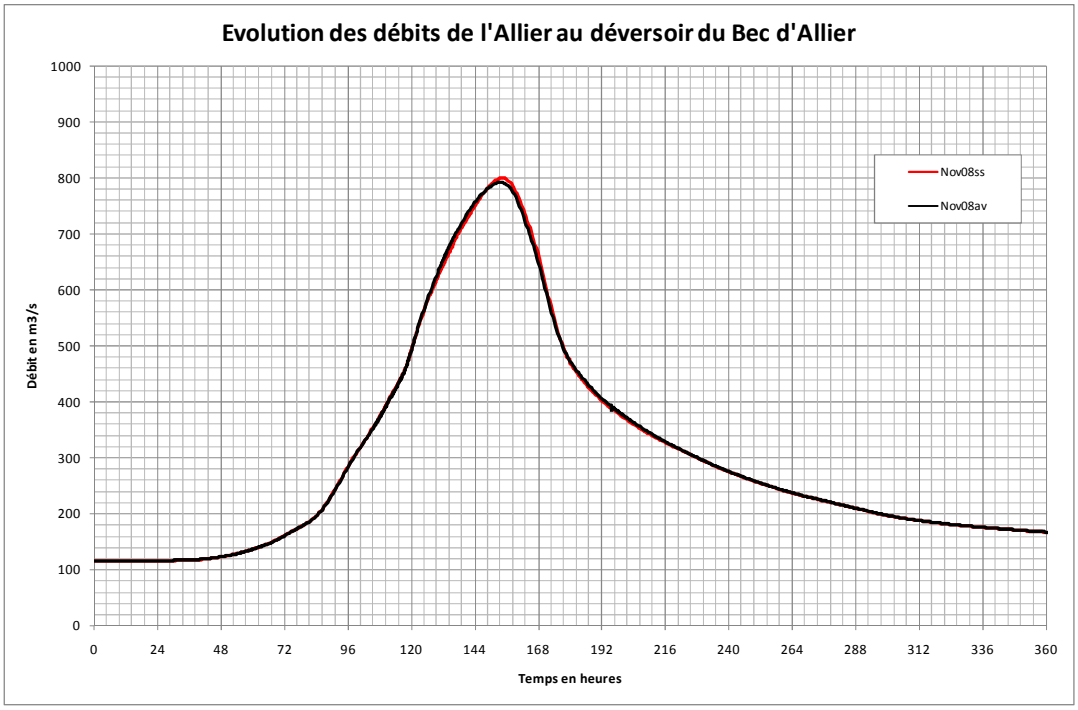


Le tableau ci-après compare les niveaux d'eau maximums calculés au niveau de l'arase du déversoir de 172,85 m :

Déversoir du Bec d'Allier	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	M	m	m	m	m
172.85	171.89	171.38	0.51	0.96	1.47

Dans les deux cas, le déversoir n'aurait pas fonctionné. Villerest apporte une sécurité supplémentaire de 0,51 m sur la revanche cote d'arase/niveau d'eau.

Les hydrogrammes de l'Allier sont quasiment identiques pour les deux scénarios testés :

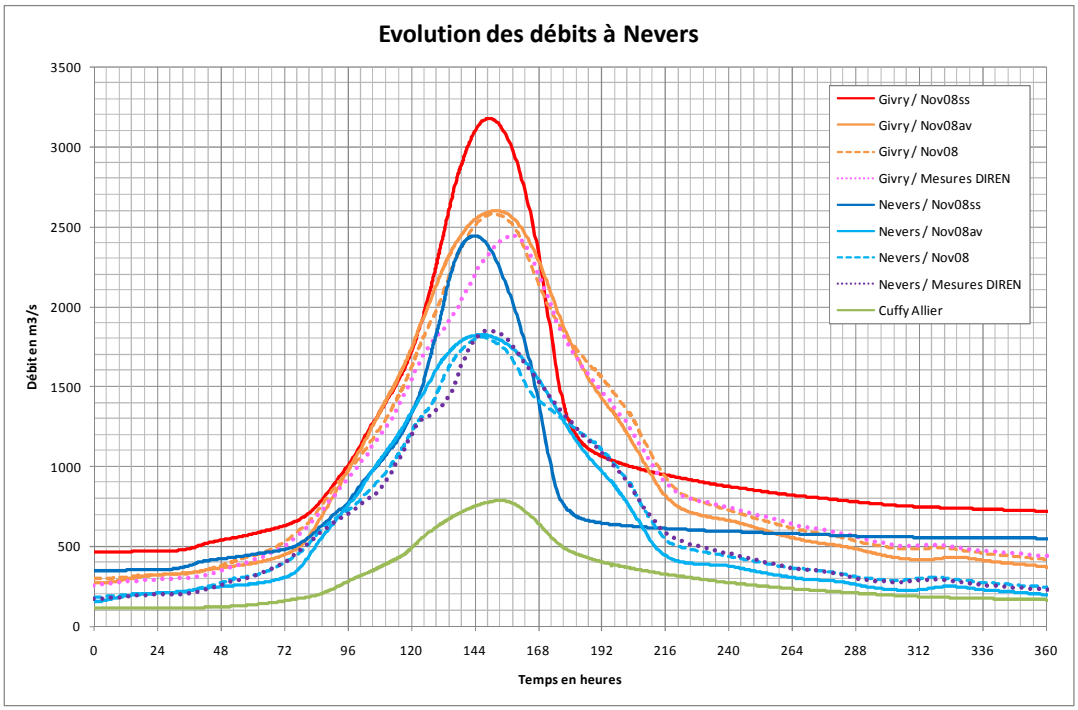


3.3 COMPOSITION DES HYDROGRAMMES AU BEC D'ALLIER

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 à Nevers, en amont de la confluence avec l'Allier à Cuffy et à Givry :

Station de contrôle		Q calculé sans Villerest (1)	Q calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
		m3/s	m3/s	m3/s
Nevers	Loire	2 443	1 824	619
Cuffy	Allier	799	791	8
Givry	Loire	3 178	2 598	580

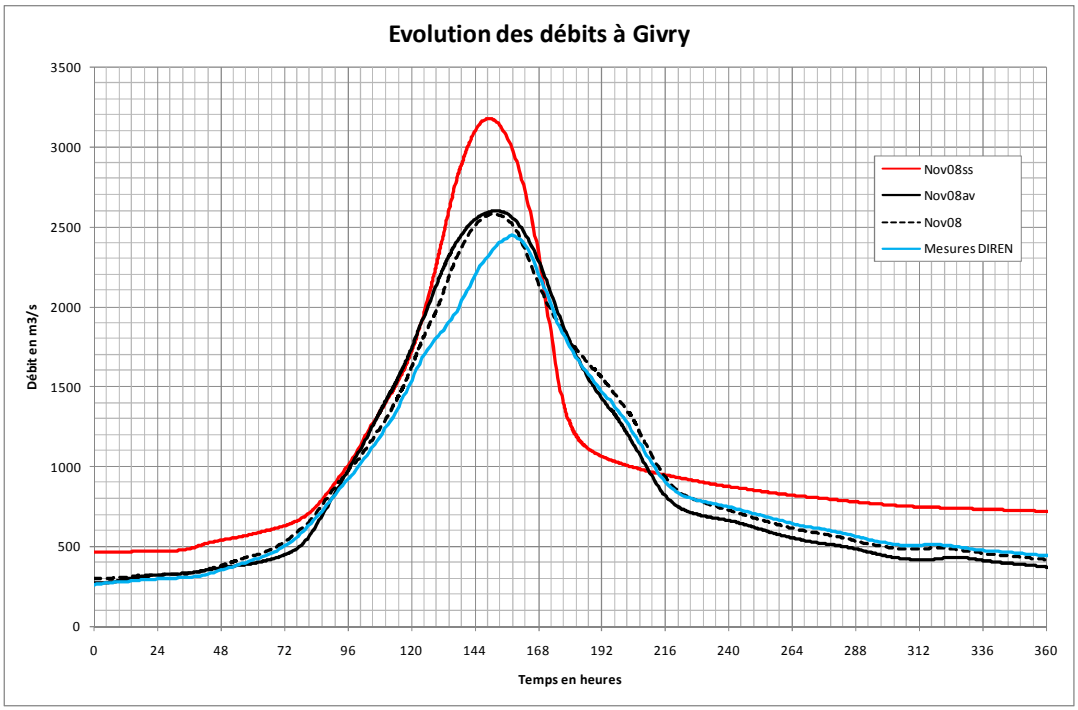
Le graphique présente la composition des hydrogrammes :



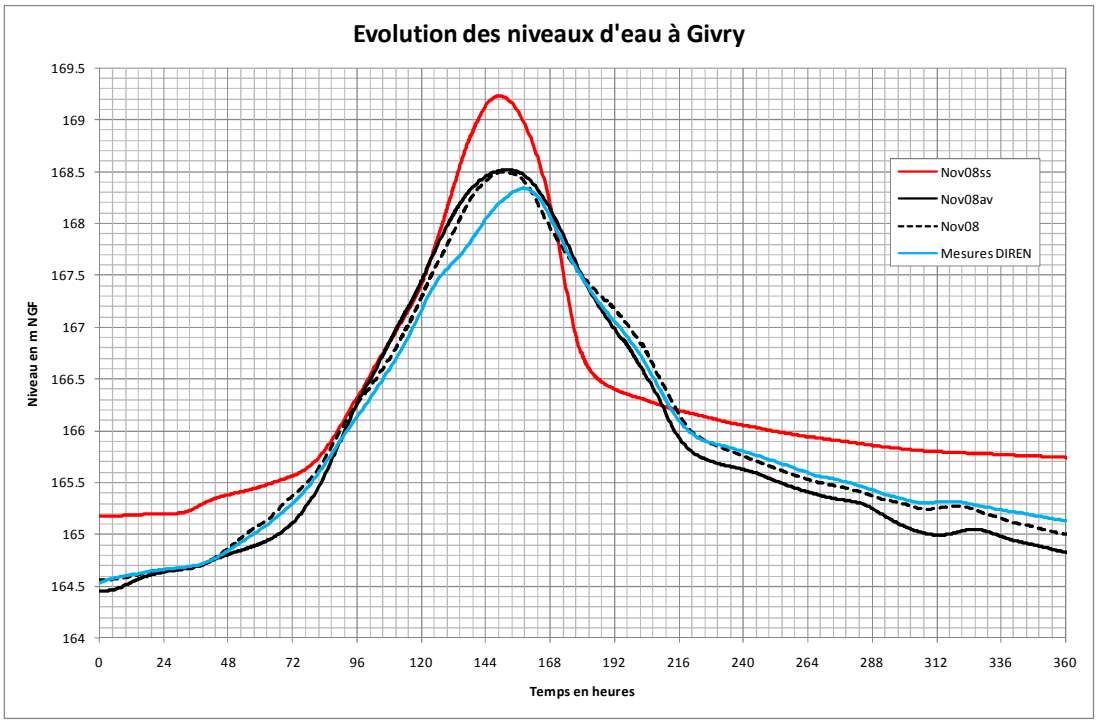
La composition des apports de la Loire et de l'Allier réduit légèrement le gain apporté par l'action de Villerest à Nevers de 619 m^3/s à 580 m^3/s à Givry.

3.4 STATION DE GIVRY

Voici les hydrogrammes de crue mesurés et calculés à la station de Givry :



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

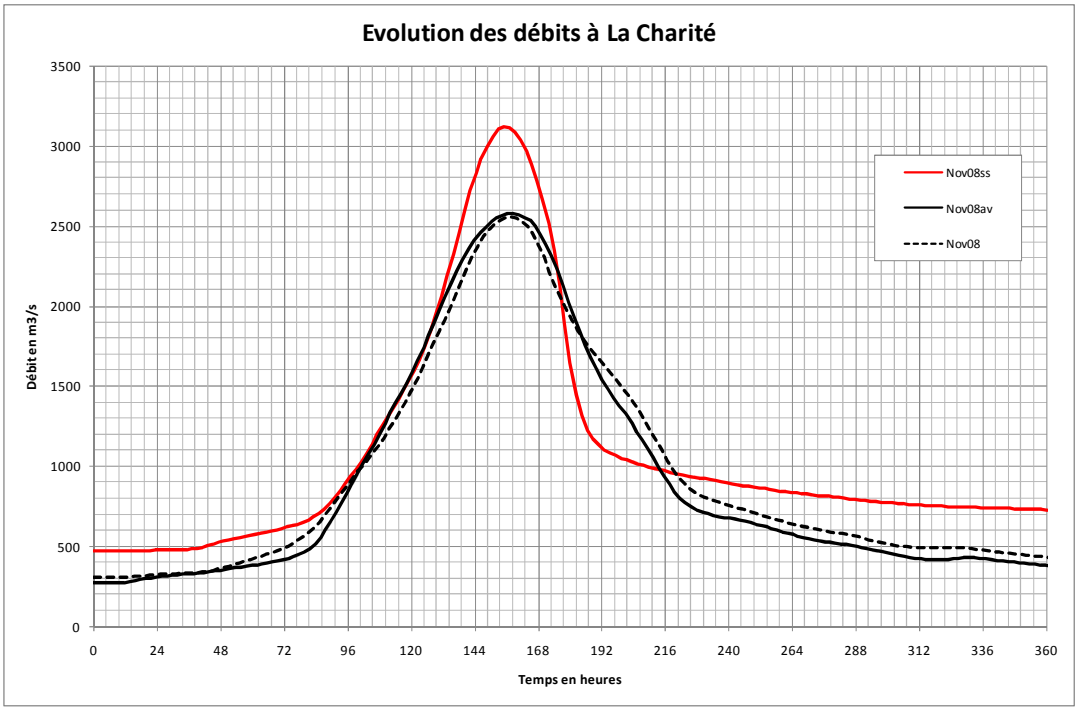


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

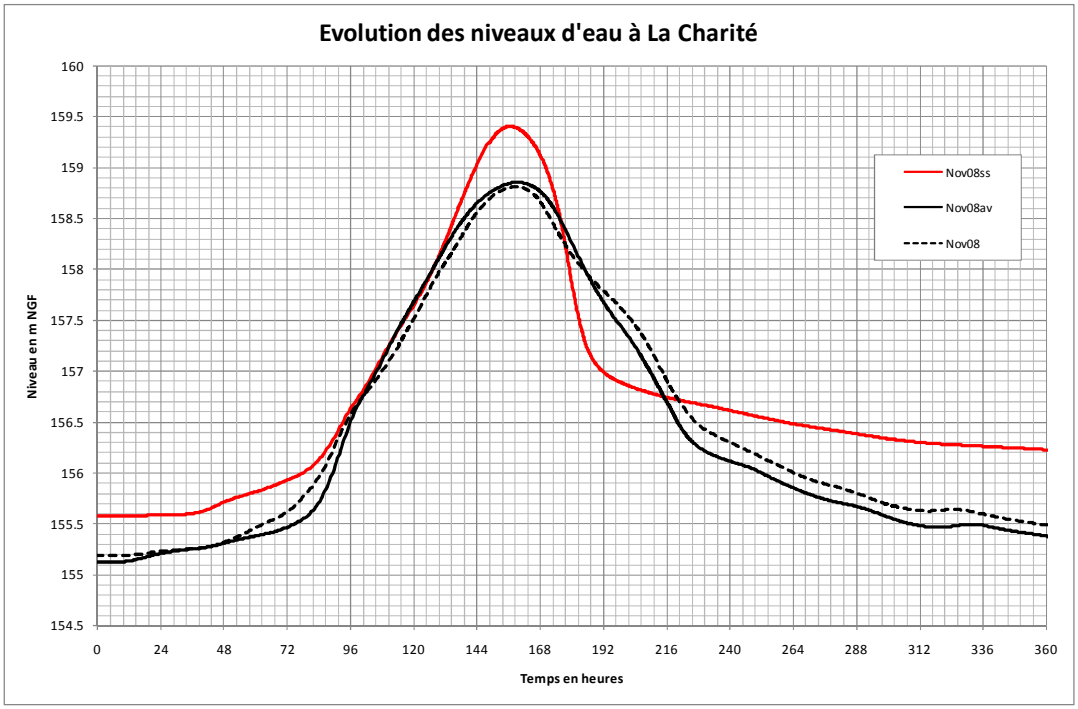
Givry	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	3 178	2 598	580	169.23	168.52	0.71

3.5 STATION DE LA CHARITE SUR LOIRE

Voici les hydrogrammes de crue à La Charité-sur-Loire :



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



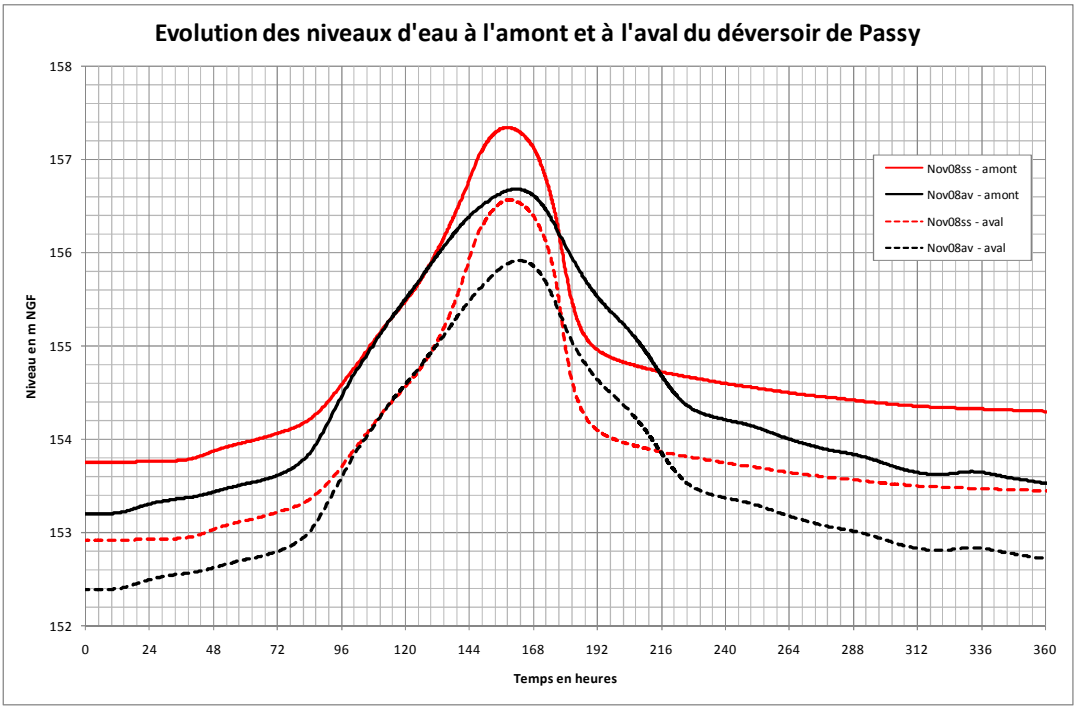
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

La Charité	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	3 120	2 581	539	159.41	158.85	0.56

3.6 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 et 156,90 m à l'aval et de longueur 1 100 m.

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

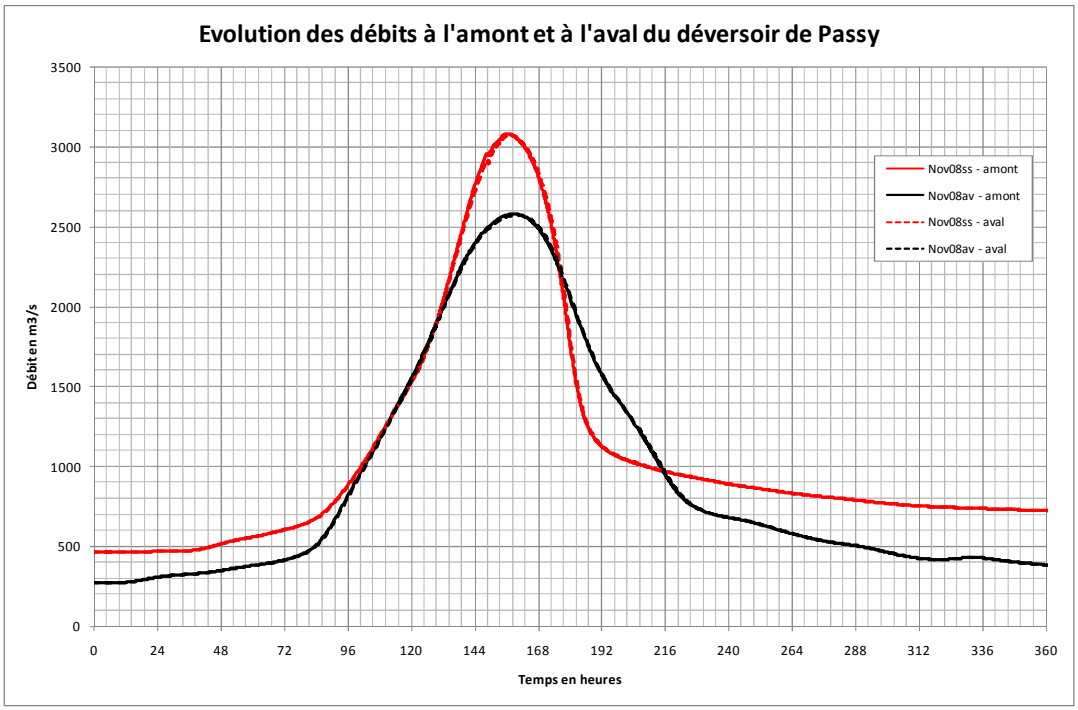


Le tableau ci-après compare les niveaux d'eau maximums calculés au niveau des arases du déversoir :

Déversoir de Passy	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
157.45	157.34	156.68	0.66	0.11	0.77
156.90	156.57	155.91	0.65	0.33	0.99

Dans les deux cas, le déversoir n'aurait pas fonctionné. L'action de Villerest sécurise la revanche de 0,65 m.

Voici l'évolution des hydrogrammes :

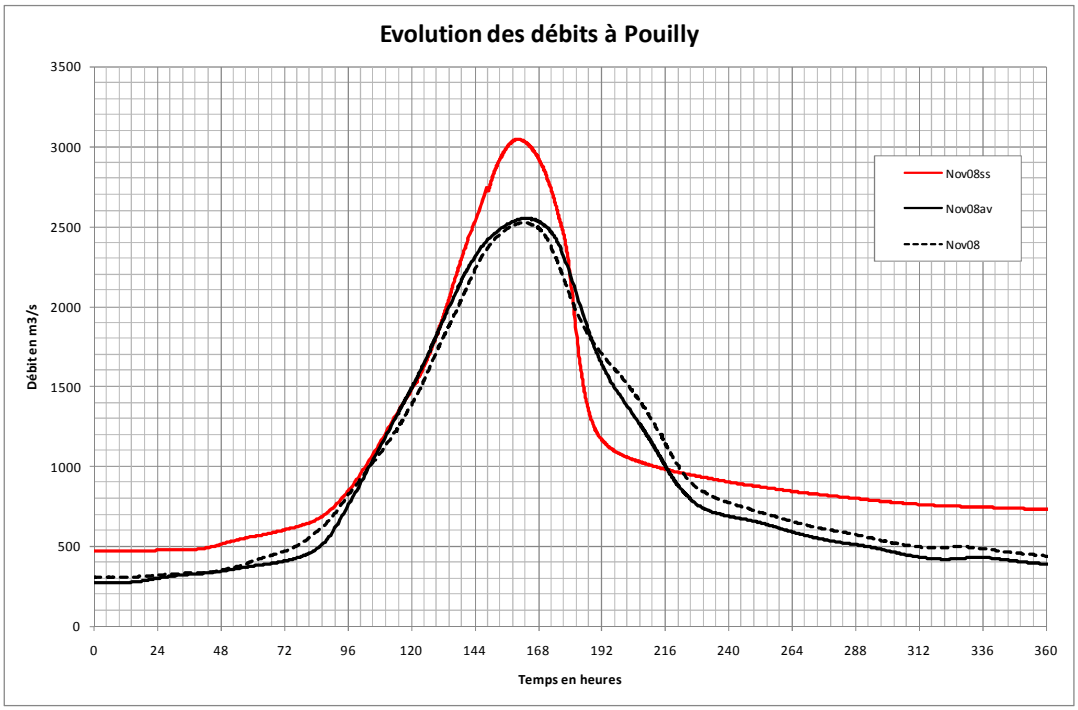


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

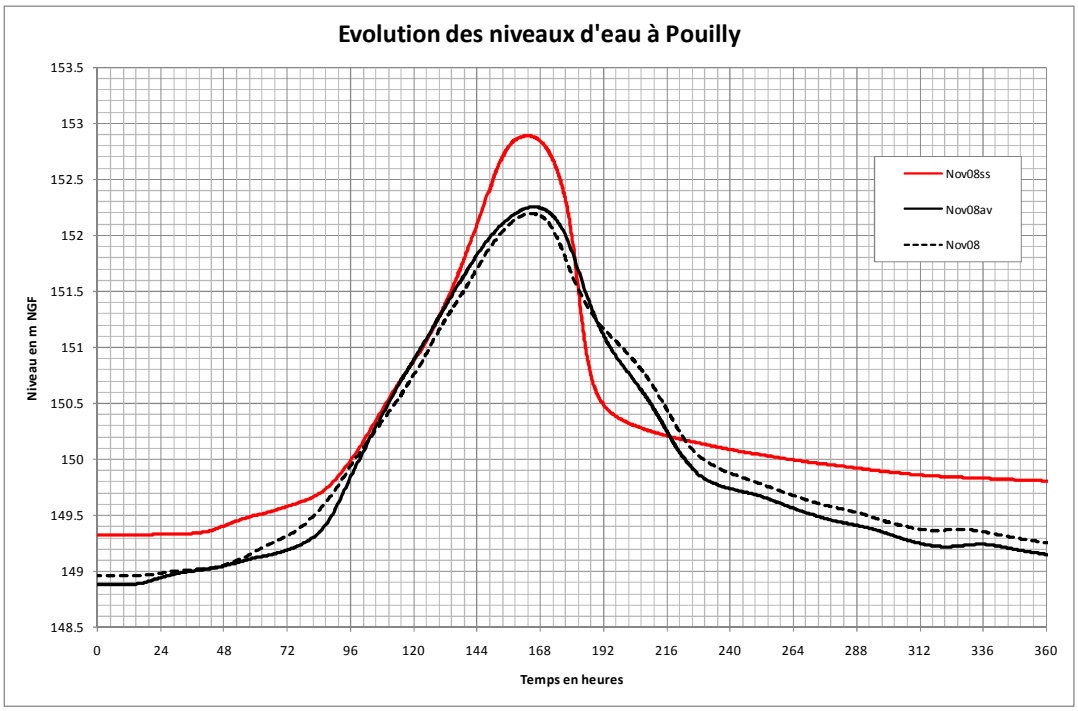
Passy	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
	3 079	2 577	502

3.7 STATION DE POUILLY SUR LOIRE

Voici l'évolution des débits à la station de Pouilly sur Loire :



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

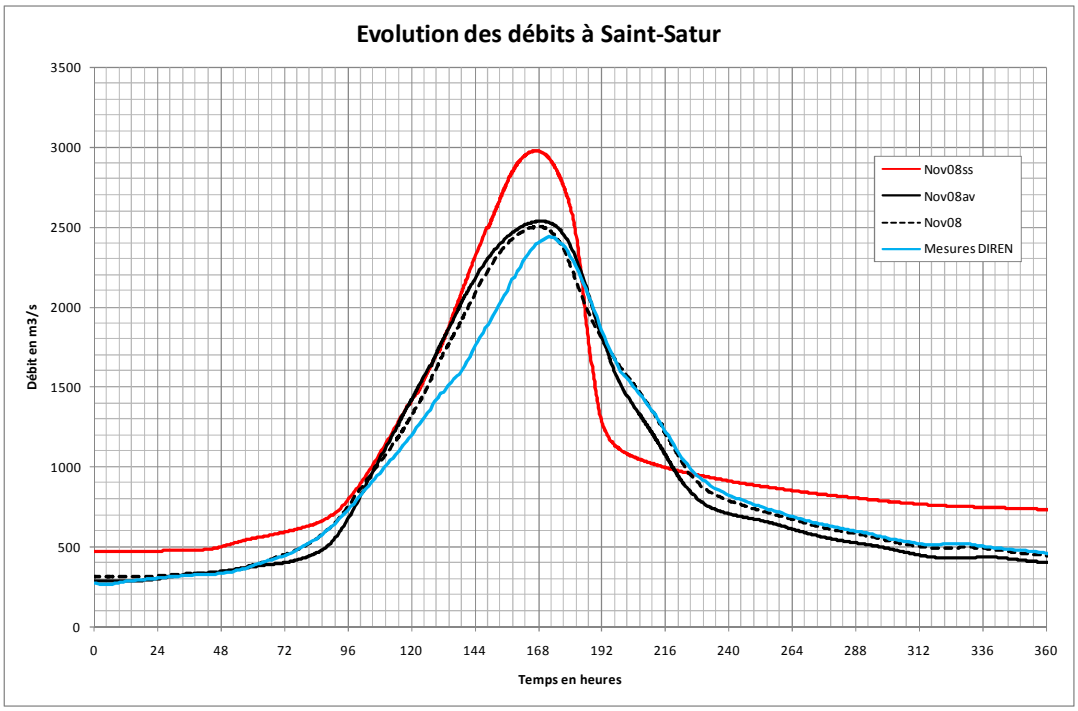


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

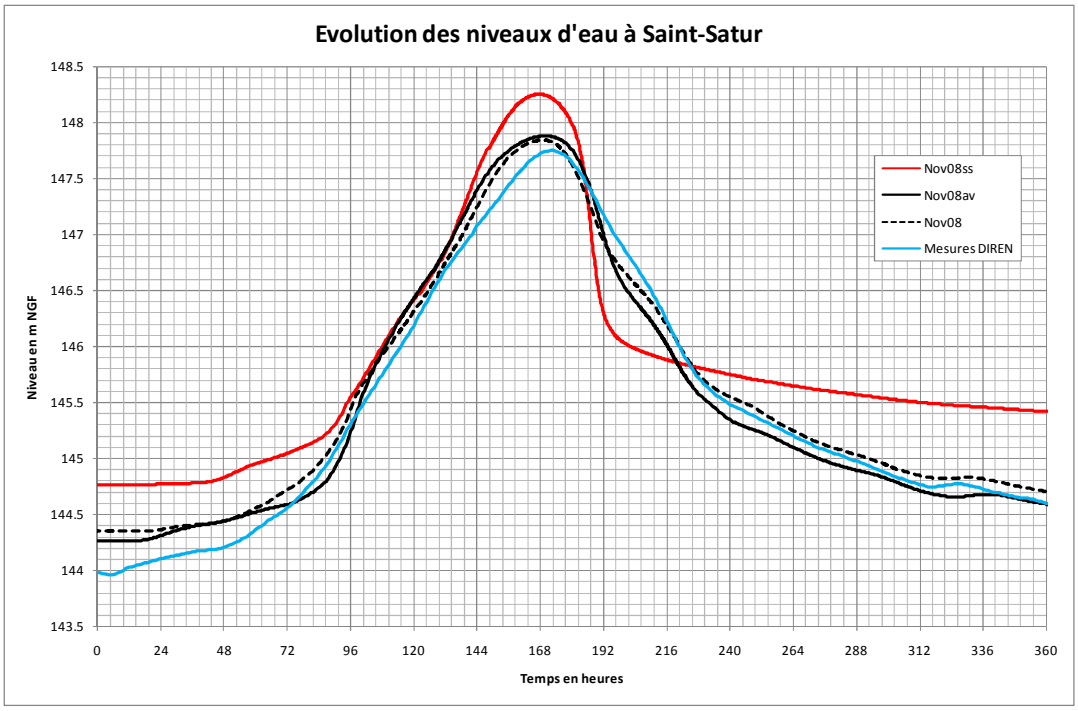
Pouilly	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	3 048	2 554	494	152.89	152.25	0.64

3.8 STATION DE SAINT-SATUR SAINT-THIBAULT

Voici l'évolution des débits mesurés et calculés à la station de Saint-Satur :



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

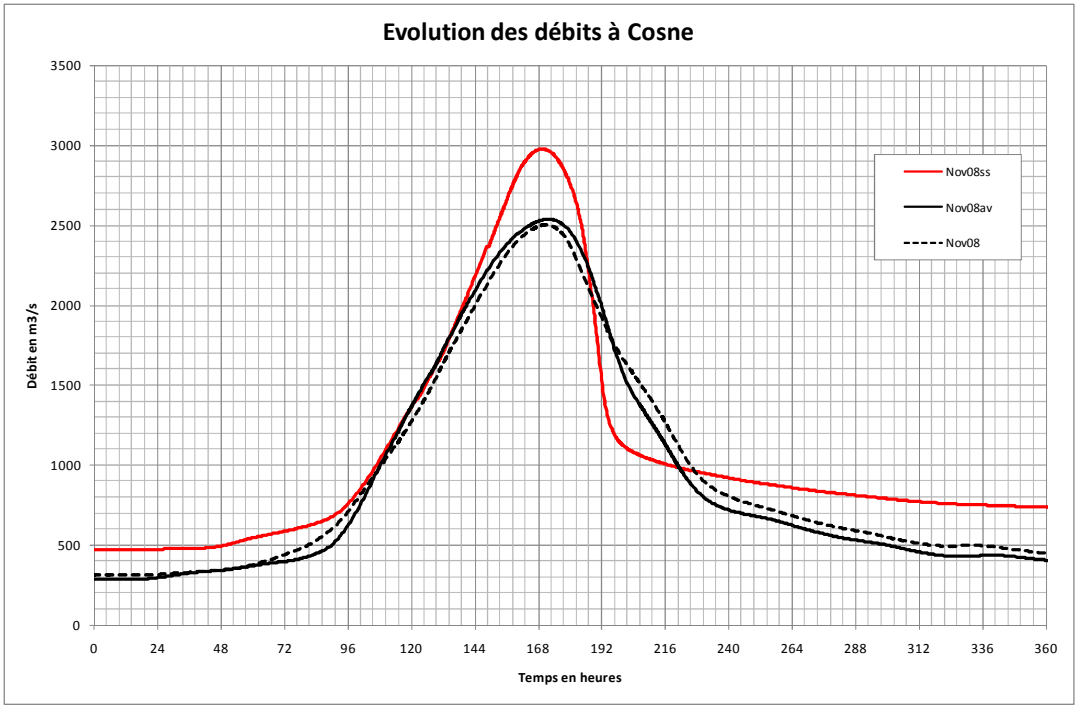


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

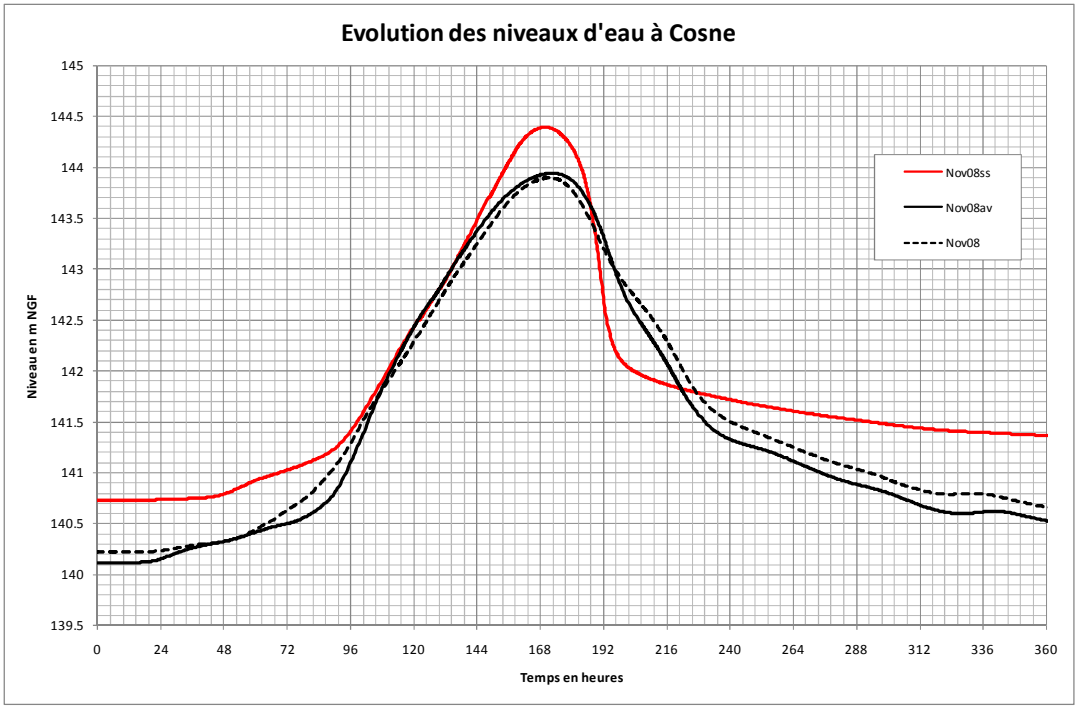
Saint-Satur	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 978	2 540	438	148.25	147.88	0.38

3.9 STATION DE COSNE SUR LOIRE

Voici l'évolution des débits à la station :



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



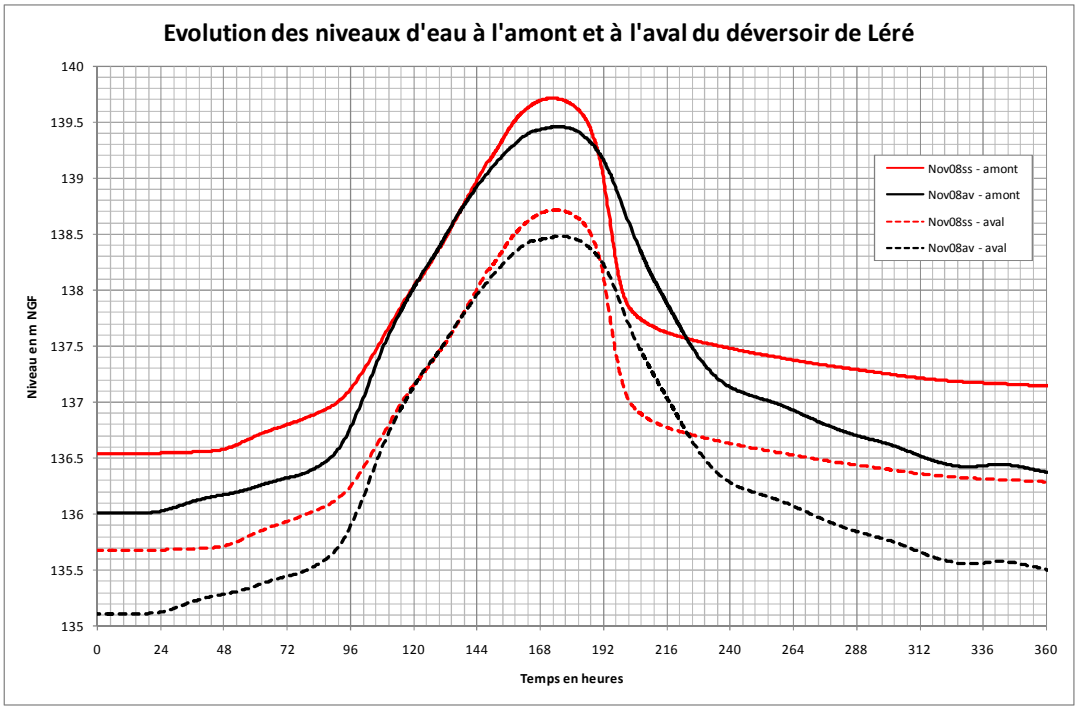
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Cosne	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 973	2 538	436	144.39	143.94	0.45

3.10 DEVERSOIR DE LERE

Le déversoir de Léré est représenté dans le modèle Loire moyenne par 10 éléments de seuil fixe. Il est calé entre les cotes 139,40 m à l'amont, 138,40 au milieu du déversoir et 139,30 m à l'aval. Sa longueur est de 2 000 m environ.

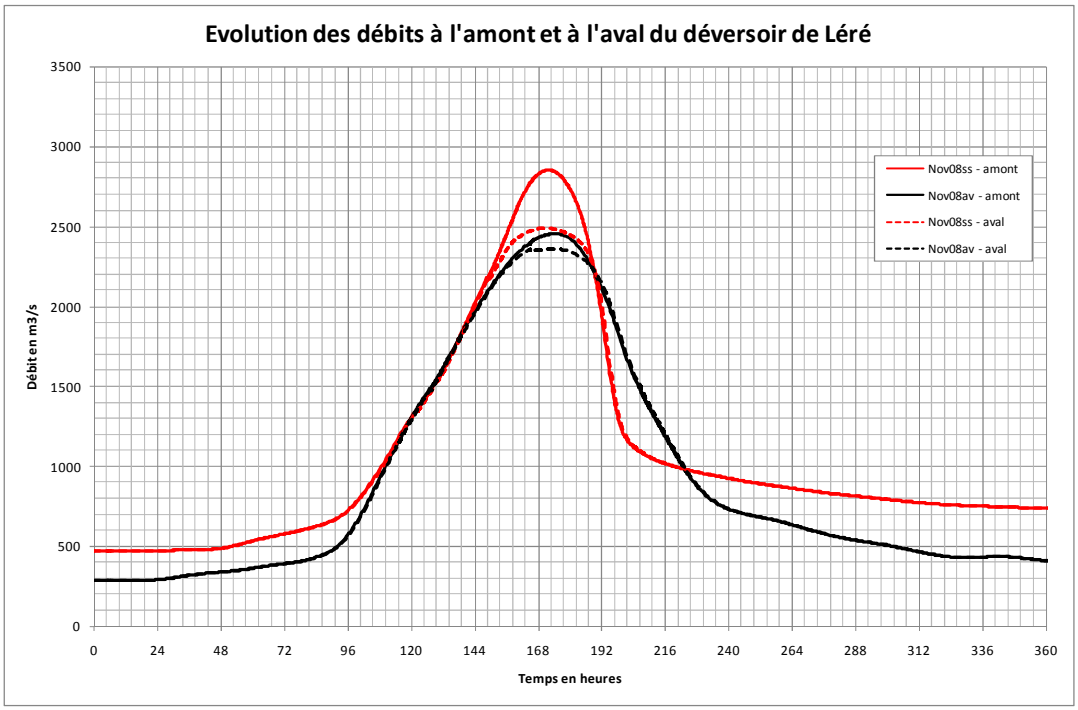
Voici l'évolution des niveaux de part et d'autre du déversoir :



Déversoir de Léré	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
139.40	139.71	139.46	0.25	-0.31	-0.06
138.40	138.99	138.75	0.24	-0.59	-0.35
139.30	138.71	138.48	0.23	0.59	0.82

La revanche négative indique que le déversoir fonctionne dans les deux situations de crue.

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



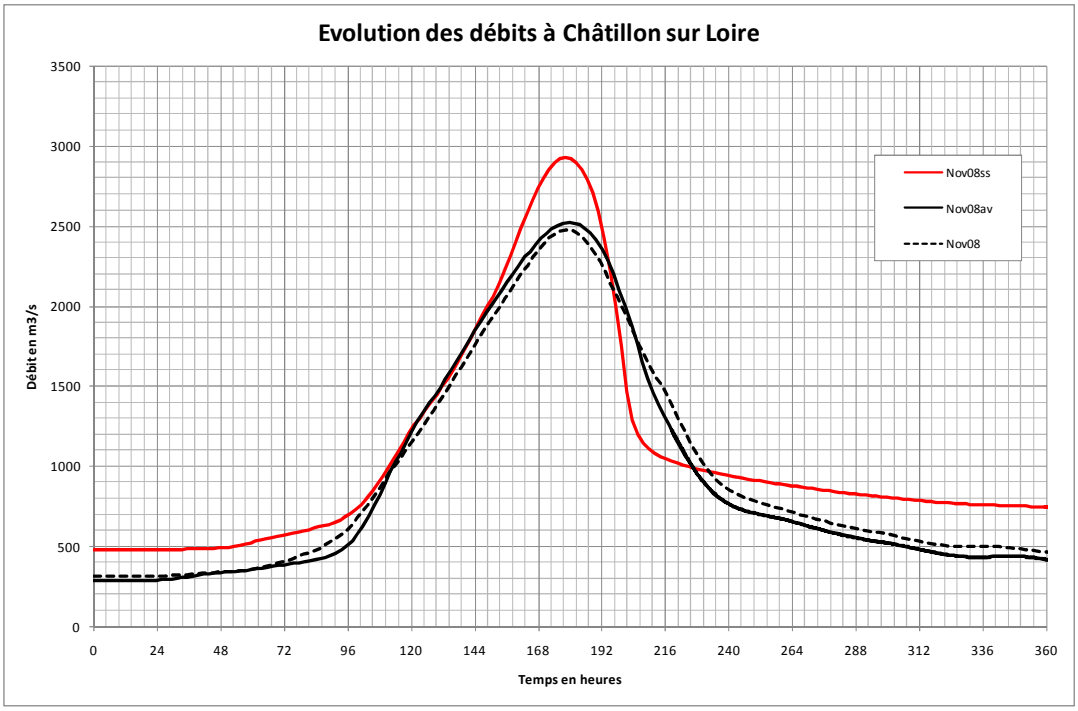
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Léré	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
amont	2 856	2 457	398
aval	2 491	2 360	131
Ecart	365	97	267

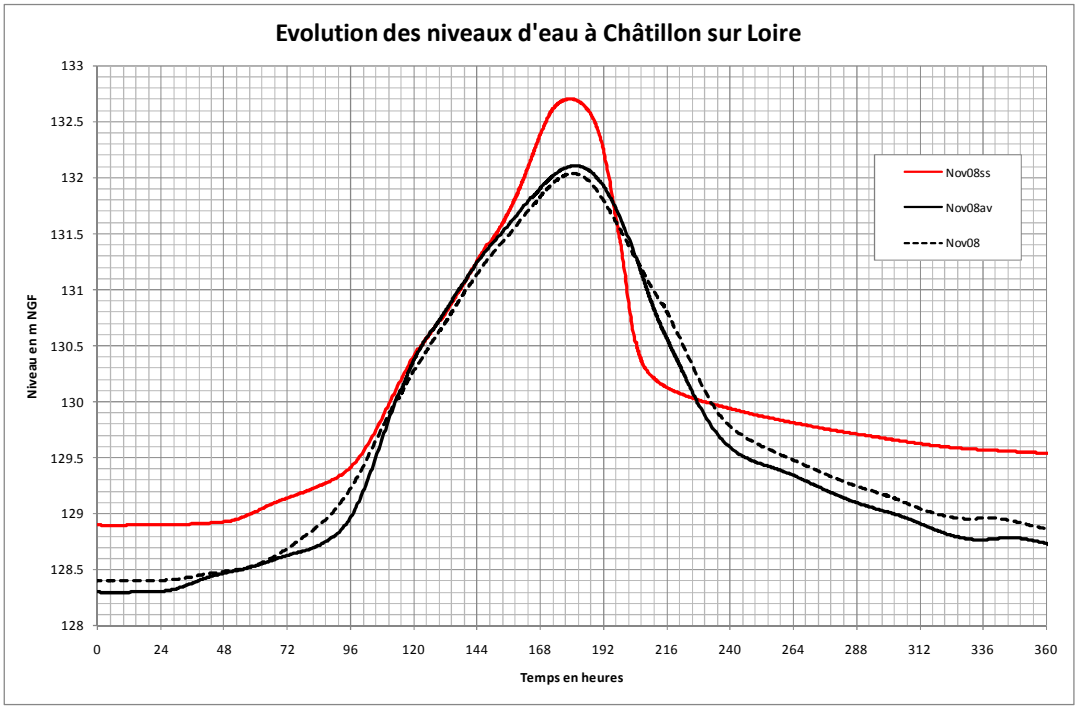
La diminution de débit entre amont et aval du déversoir chiffre l'entrée d'eau dans le val au passage de la pointe de crue : dans les deux situations testées, un débit significatif entre dans le val par le déversoir, toutefois, sans le barrage, il y a 267 m3/s en plus qui entre dans le val.

3.11 STATION DE CHATILLON SUR LOIRE

Voici l'évolution des débits de crue à la station de Chatillon sur Loire dans le lit mineur de la Loire :



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



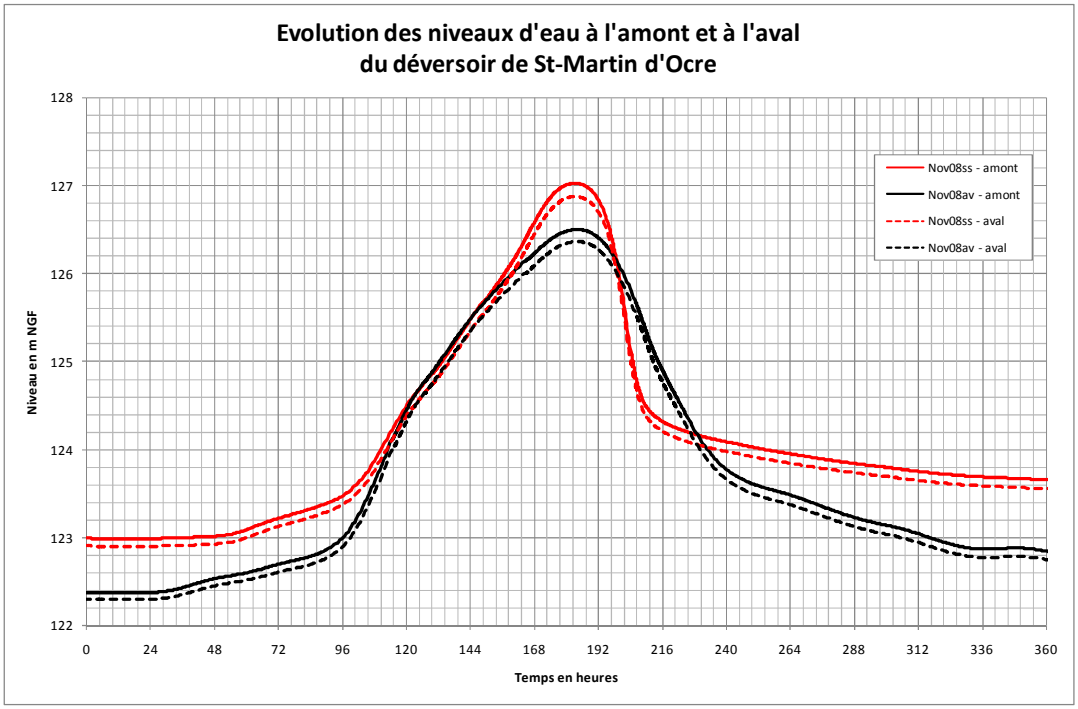
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Chatillon	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 931	2 522	409	132.70	132.10	0.60

3.12 DEVERSOIR DE SAINT MARTIN SUR OCRE

Le déversoir de Saint Martin sur Ocre est calé à la cote 127 m et sa longueur est de 508 m. Il est représenté dans le modèle Loire moyenne par 4 éléments de seuil fixe.

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

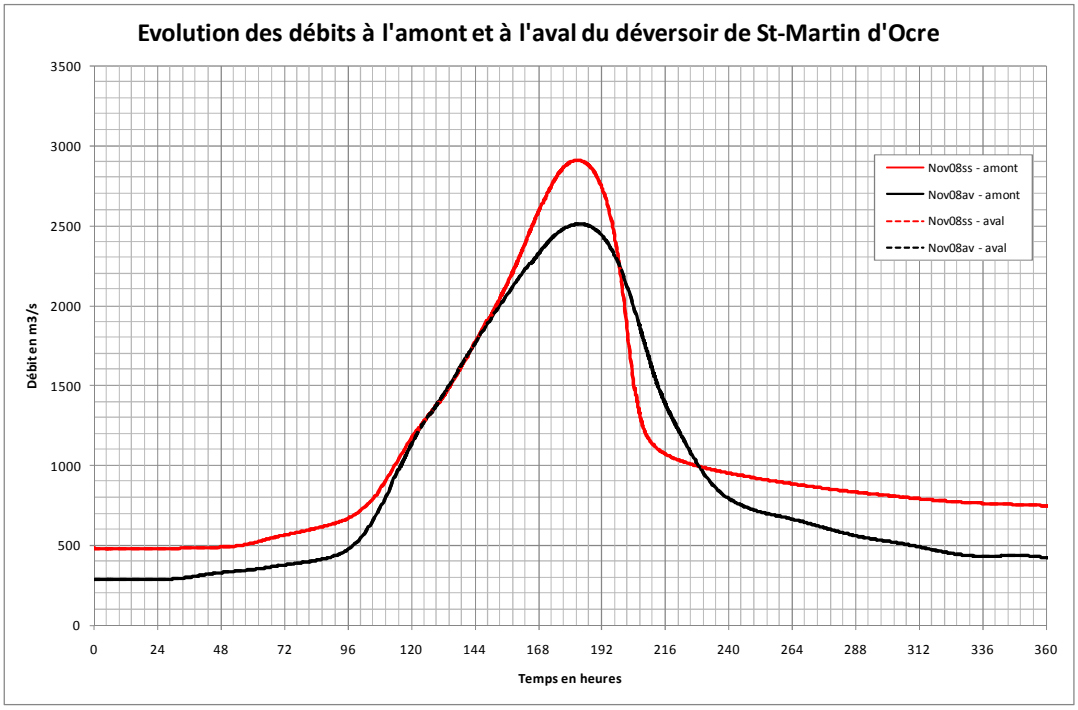


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir de Saint Martin d'Ocre	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
127.00	127.03	126.50	0.53	-0.03	0.50
127.00	126.88	126.37	0.51	0.12	0.63

Sans l'action du barrage de Villerest, le déversoir de Saint Martin d'Ocre aurait surversé de 3 cm sur sa partie amont.

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



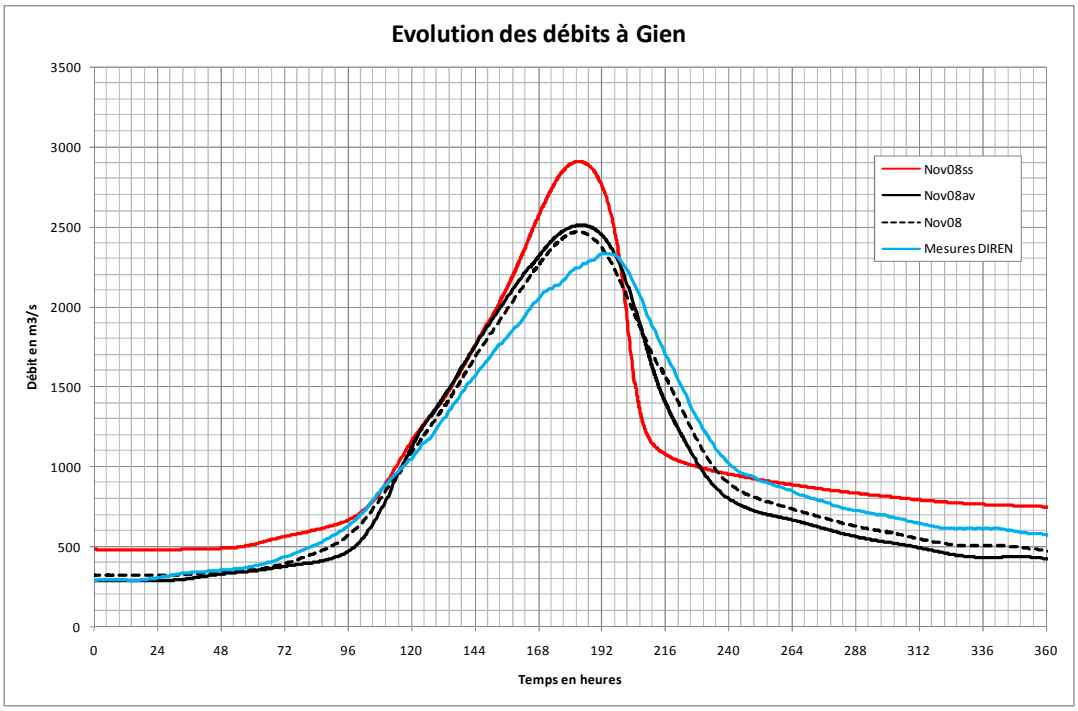
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest : le débit envoyé dans le val est de l'ordre de 0 m3/s.

Saint Martin d'Ocre	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
amont	2 906	2 513	394
aval	2 906	2 512	394

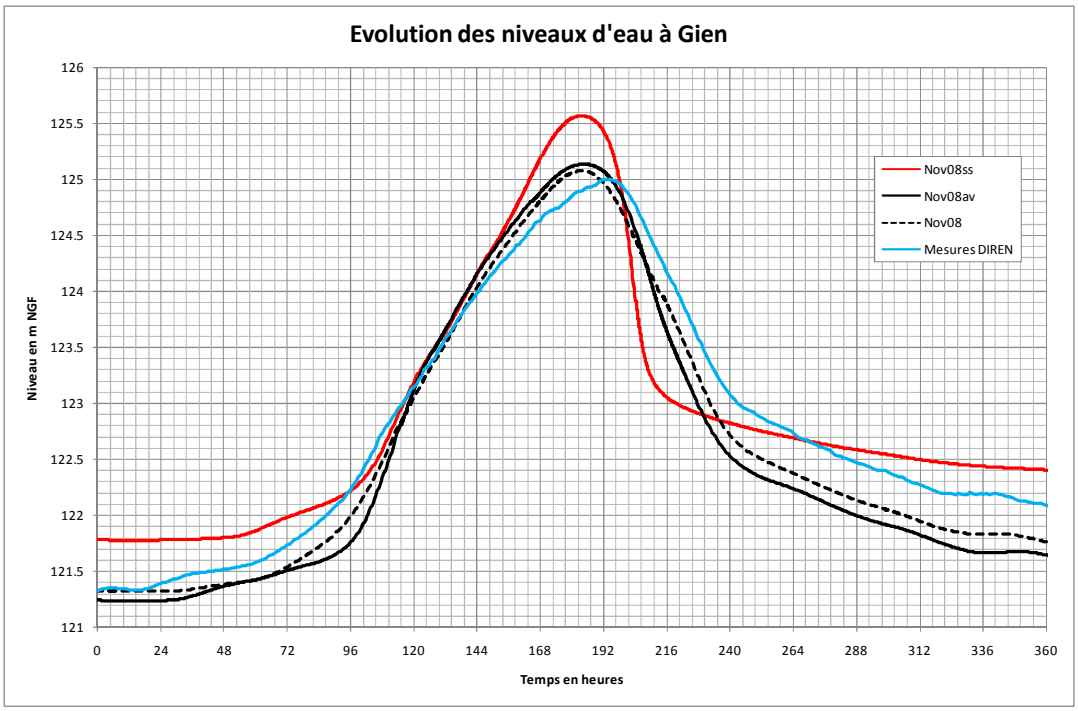
L'action du barrage se traduit par un gain de 0,50 m sur la ligne d'eau au droit du déversoir, ce qui sécurise son non fonctionnement.

3.13 STATION DE GIEN

Voici l'évolution des débits mesurés et calculés à la station de Gien :



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



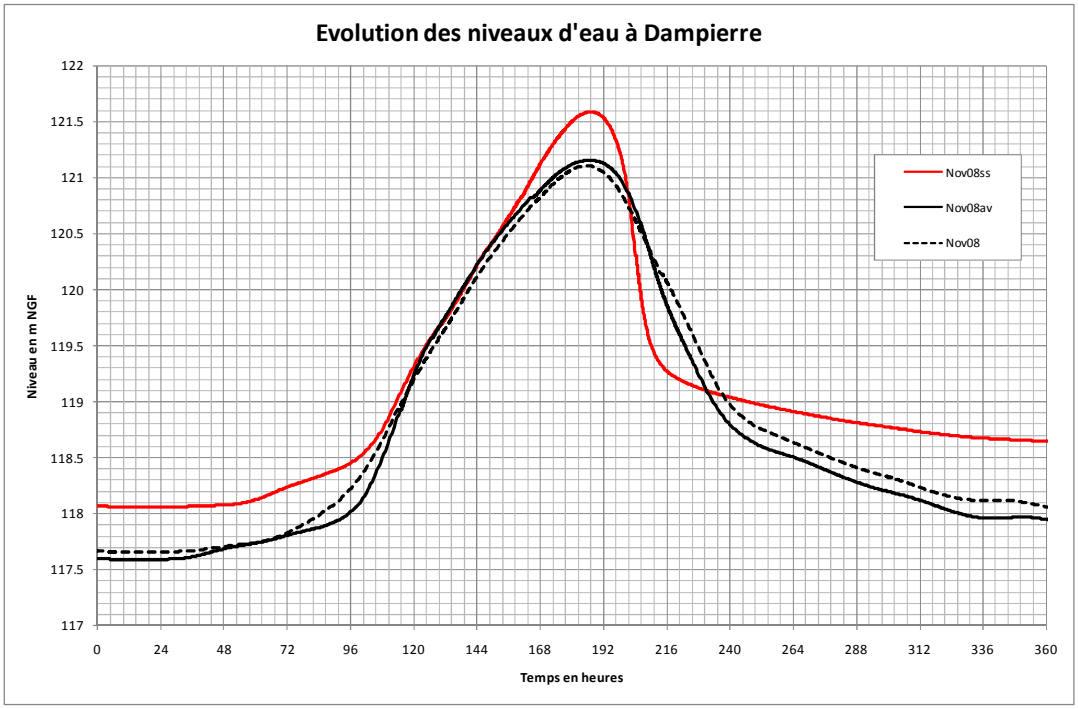
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Gien	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 905	2 512	394	125.56	125.13	0.43

3.14 DEVERSOIR DE DAMPIERRE

Le déversoir de Dampierre est représenté dans le modèle Loire moyenne par un élément de seuil fixe calé à la cote 122,0 m et de longueur 250 m.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

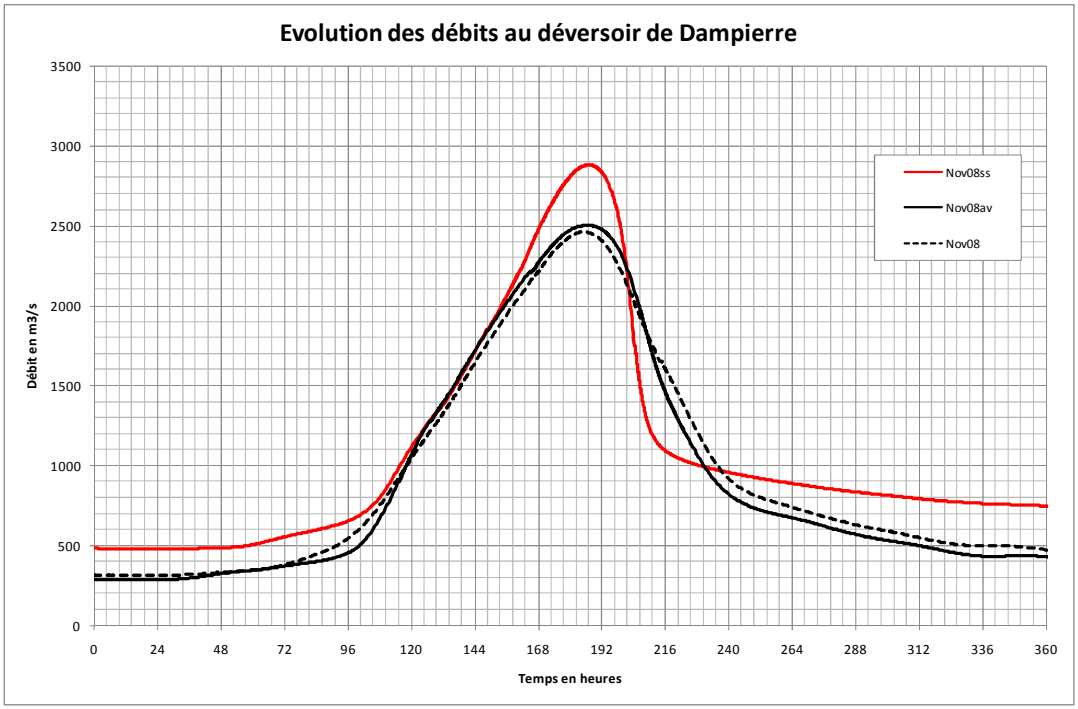


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir de Dampierre	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
122.20	121.07	120.68	0.39	1.13	1.52

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas.

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



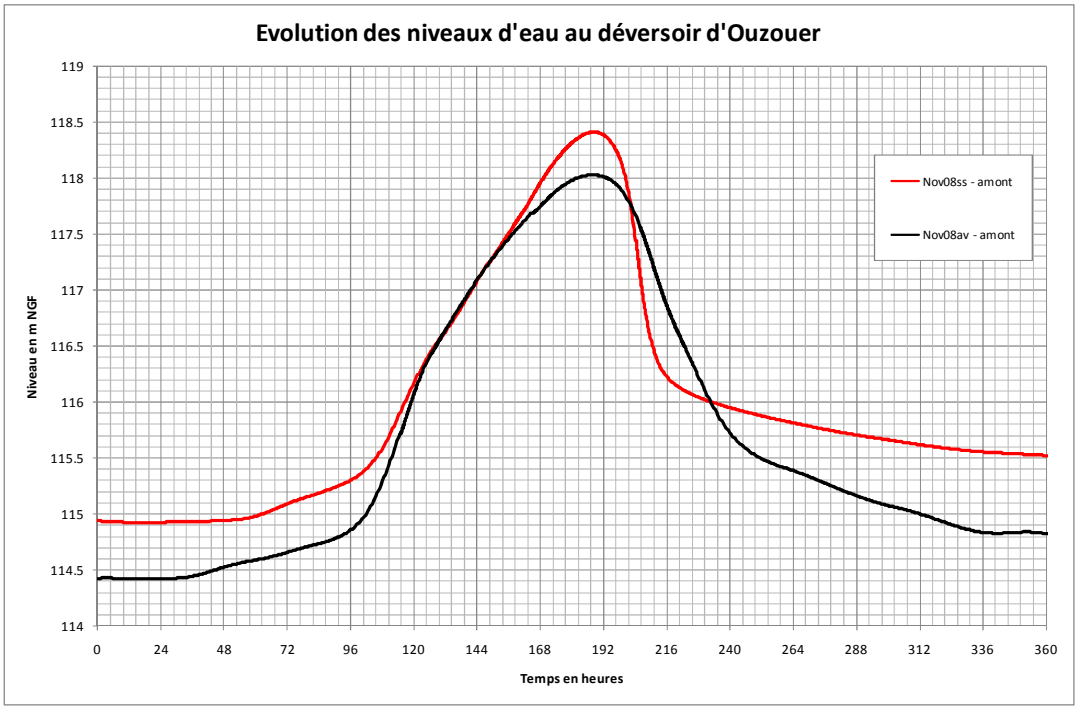
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
Dampierre	m3/s	m3/s	m3/s
	2 882	2 504	378

3.15 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 et 120.70 m à l'aval et de longueur 900 m. La hauteur du fusible est de 1 mètre environ.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

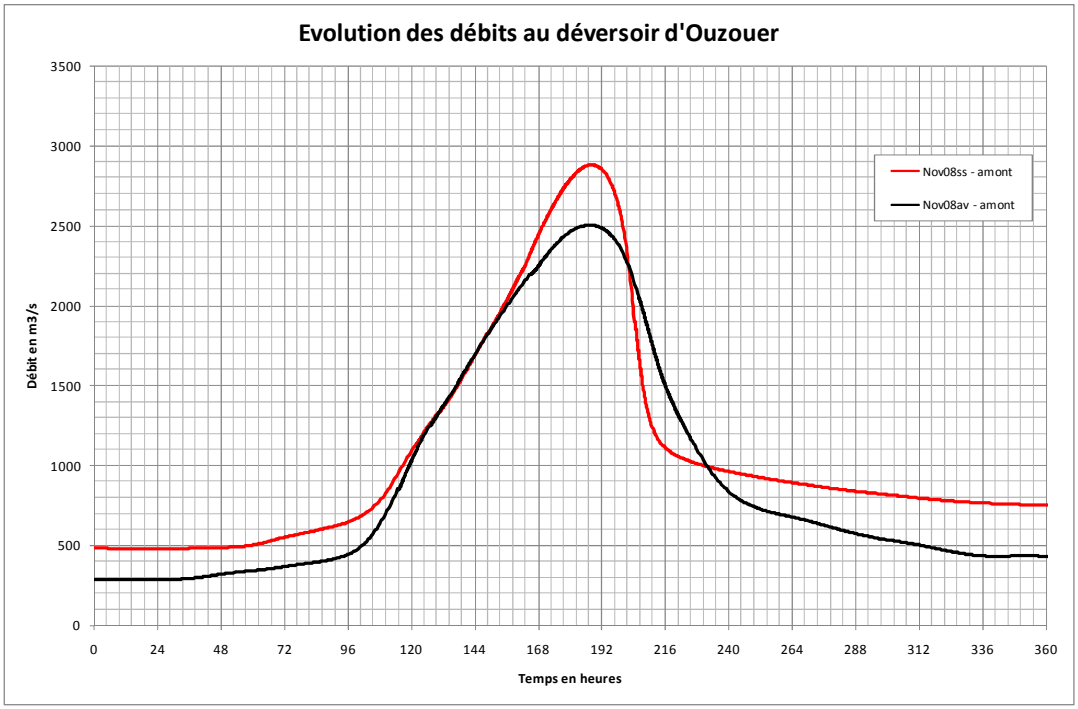


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir d'Ouzouer	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
120.96	118.41	118.03	0.38	2.55	2.93

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas. La revanche est supérieure à la hauteur du fusible.

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



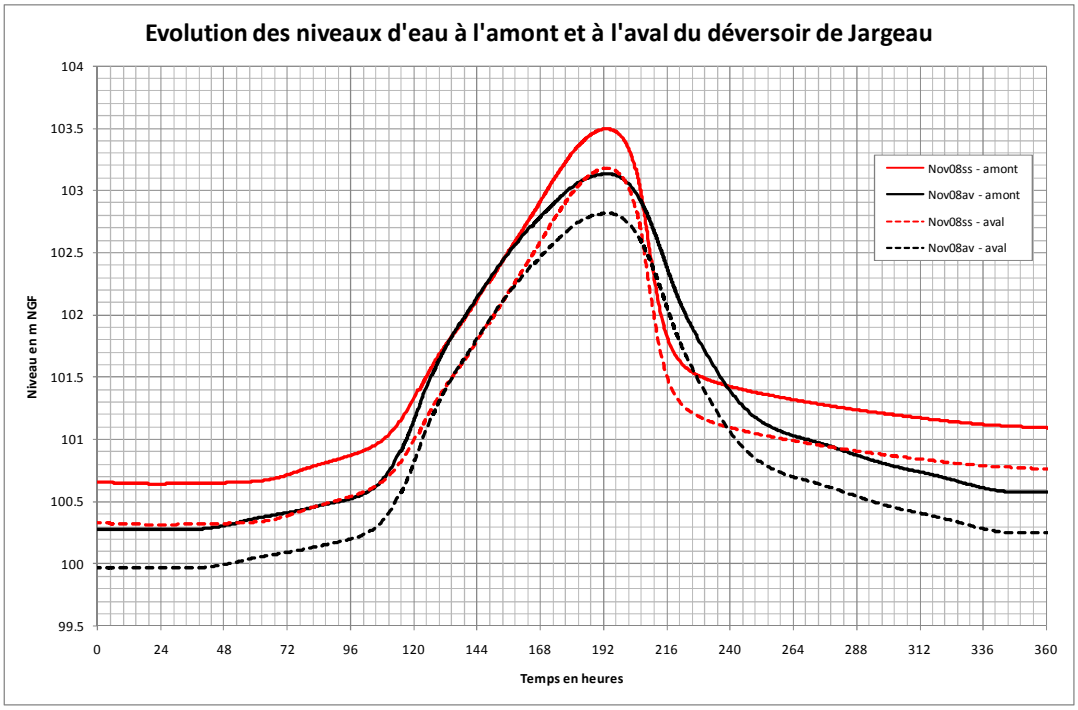
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
Ouzouer	m3/s	m3/s	m3/s
	2 880	2 503	377

3.16 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 et 106,57 m à l'aval et de longueur 575 m. La hauteur du fusible est de 1,6 mètres environ.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

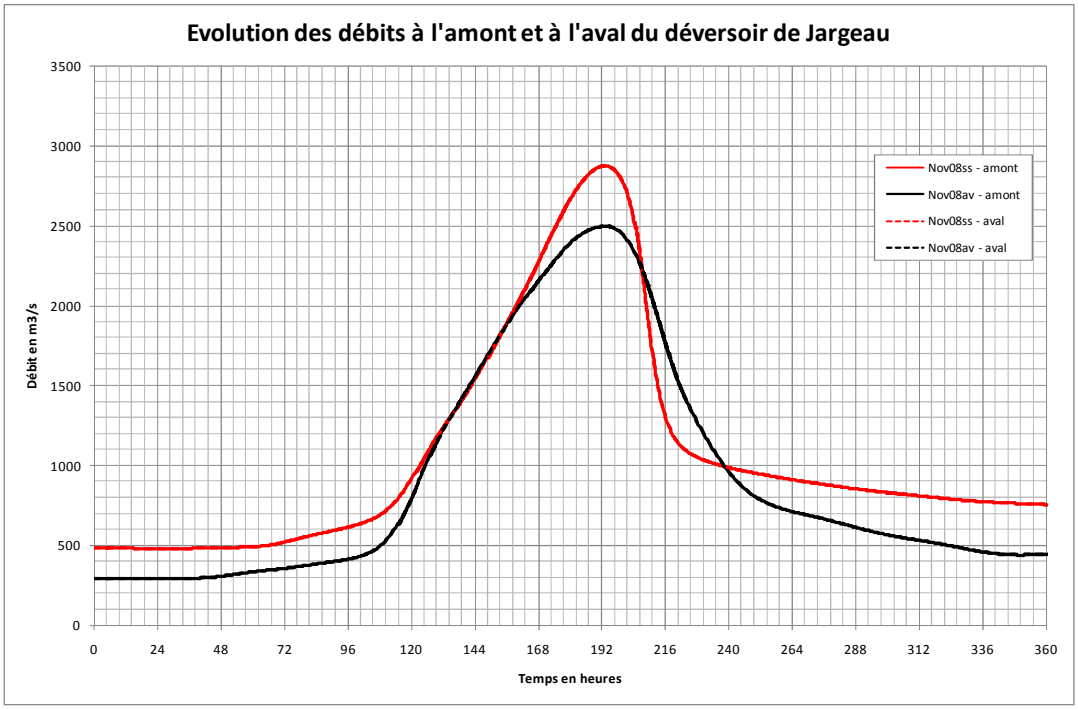


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir de Jargeau	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
106.70	103.50	103.14	0.36	3.21	3.56
106.57	103.18	102.82	0.36	3.39	3.75

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas. La revanche par rapport au sommet du fusible est largement supérieure à la hauteur du fusible (1,6m) pour les deux scénarios étudiés.

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

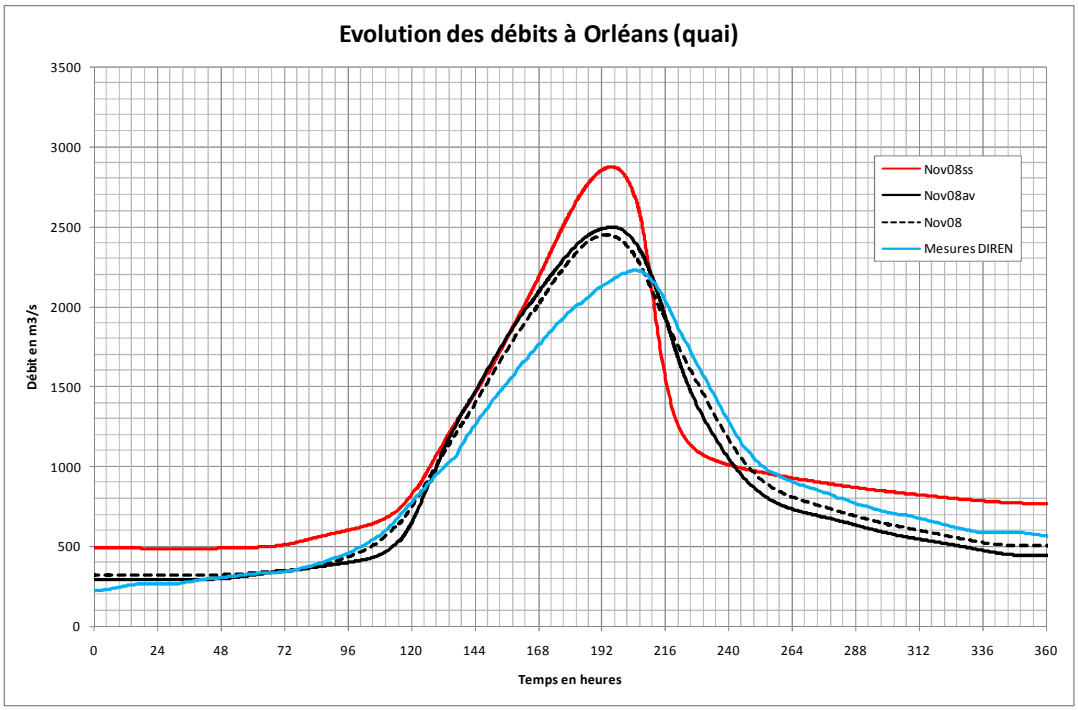


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

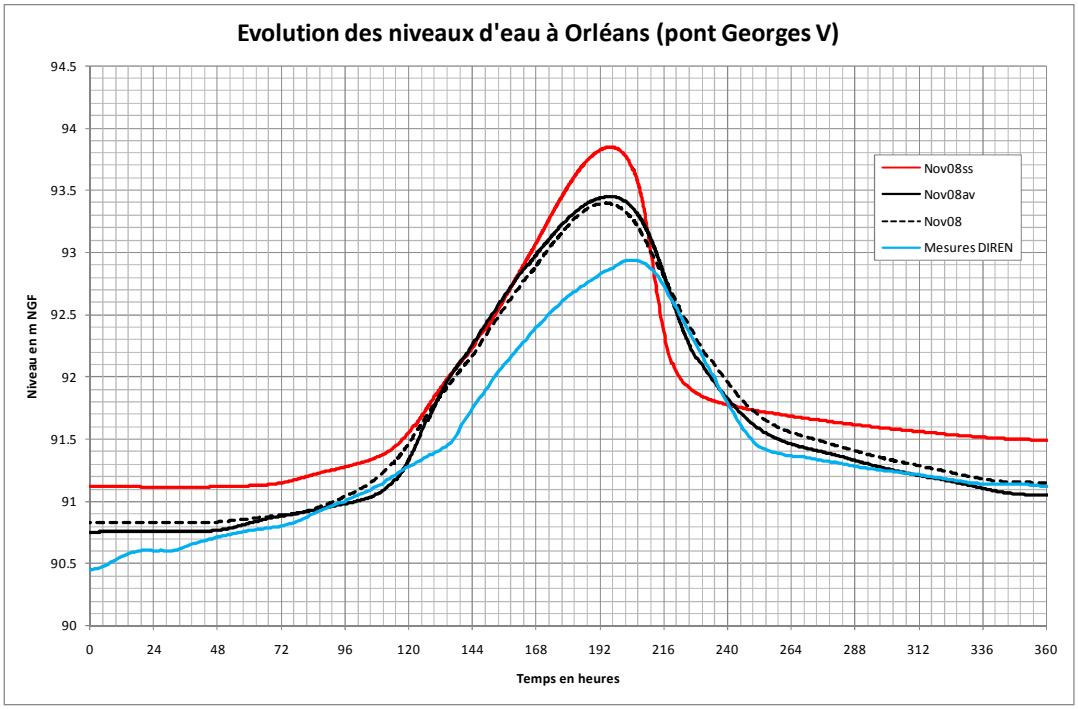
Jargeau	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
	2 875	2 499	376

3.17 STATION D'ORLEANS

Voici l'évolution des débits calculés et mesurés à la station d'Orléans :



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



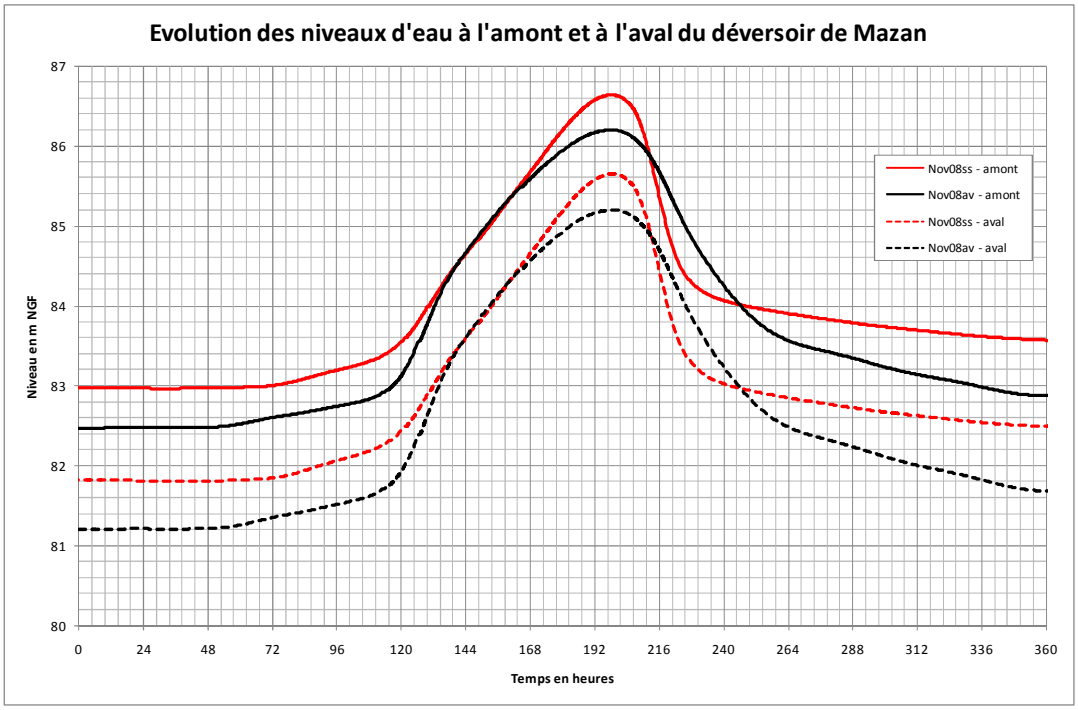
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Orléans	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 871	2 497	374	93.85	93.45	0.40

3.18 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 et 87,60 m à l'aval avec une série de points bas calés à la cote 87,17 m et de longueur 2 800 m environ.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

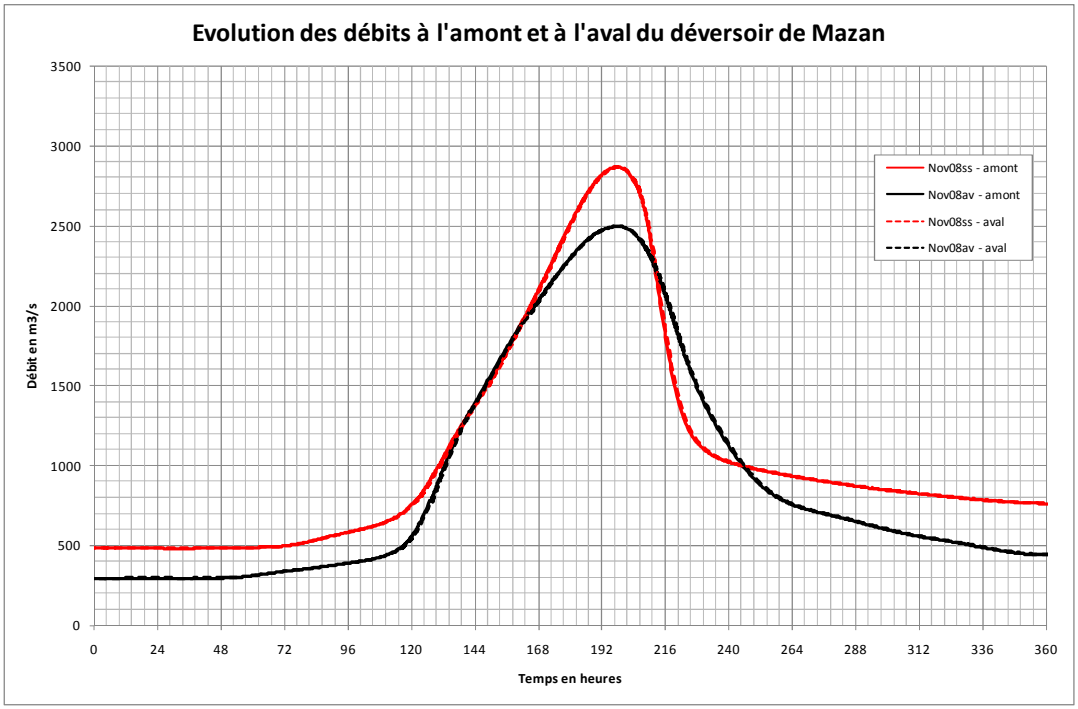


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport aux sommets du déversoir :

Déversoir de Mazan	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
88.80	86.64	86.20	0.44	2.16	2.61
87.62	85.86	85.41	0.45	1.76	2.21
88.00	85.65	85.20	0.45	2.35	2.80

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas.

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



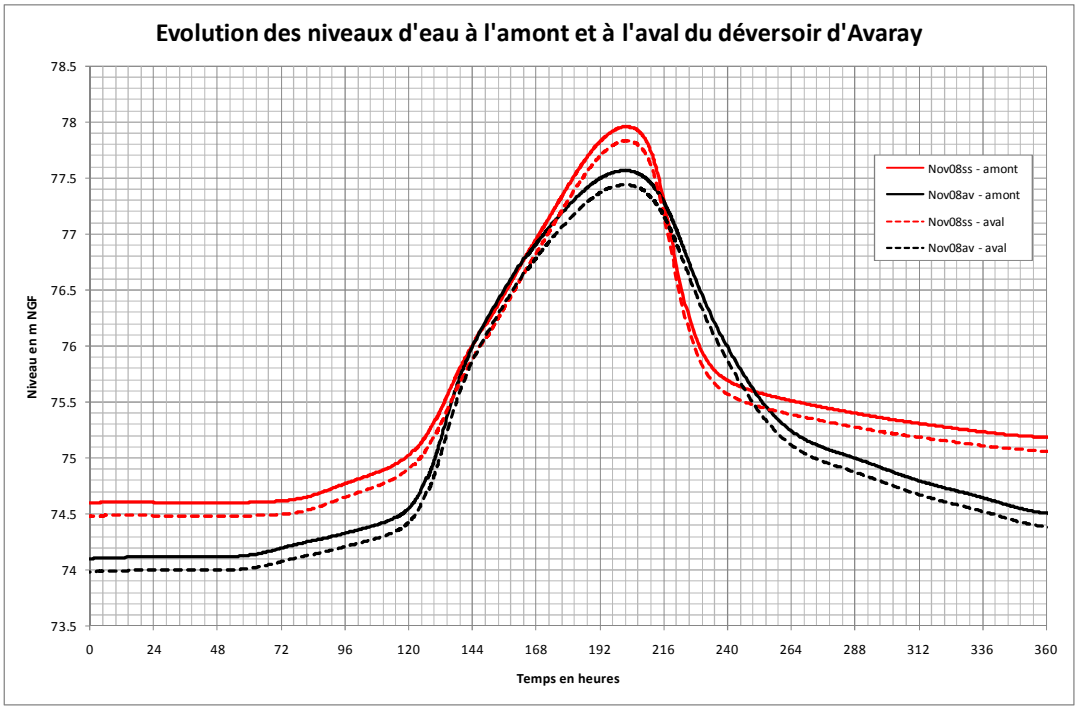
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Mazan	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
	2 868	2 496	372

3.19 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 et 81,07 m à l'aval et de longueur 500 m. La hauteur du fusible est de 1,10 mètres environ.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

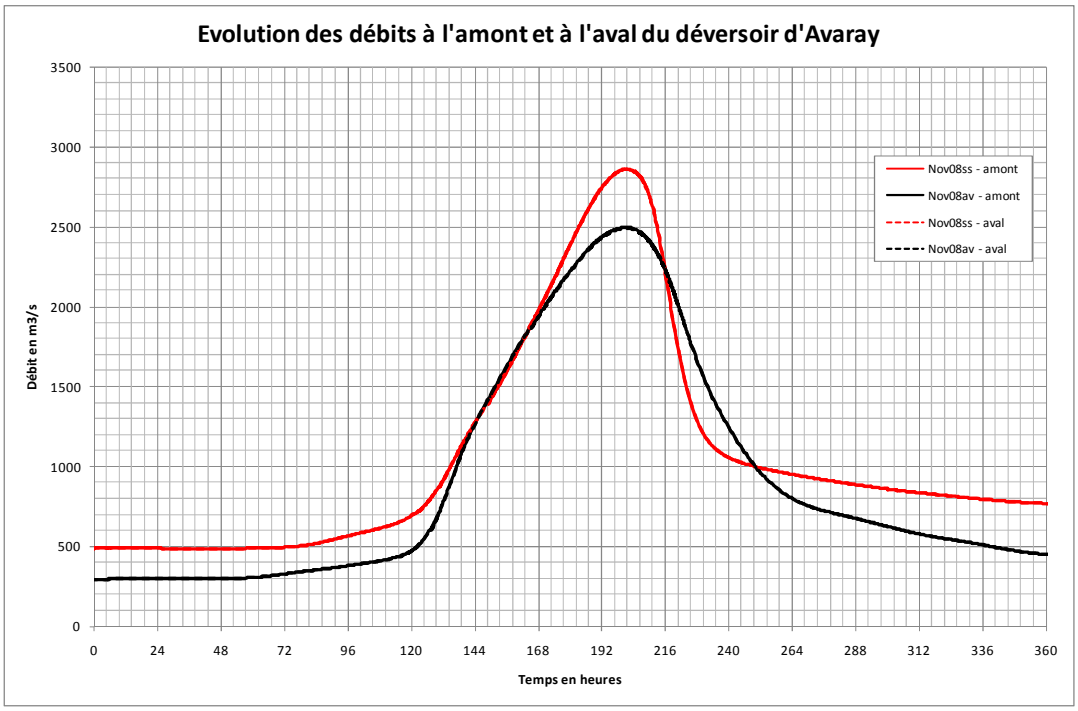


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir d'Avaray	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
81.10	77.95	77.56	0.39	3.15	3.54
81.07	77.83	77.44	0.39	3.24	3.63

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas. La revanche par rapport au sommet du fusible est largement supérieure à la hauteur du fusible (1,1m) pour les deux scénarios étudiés.

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



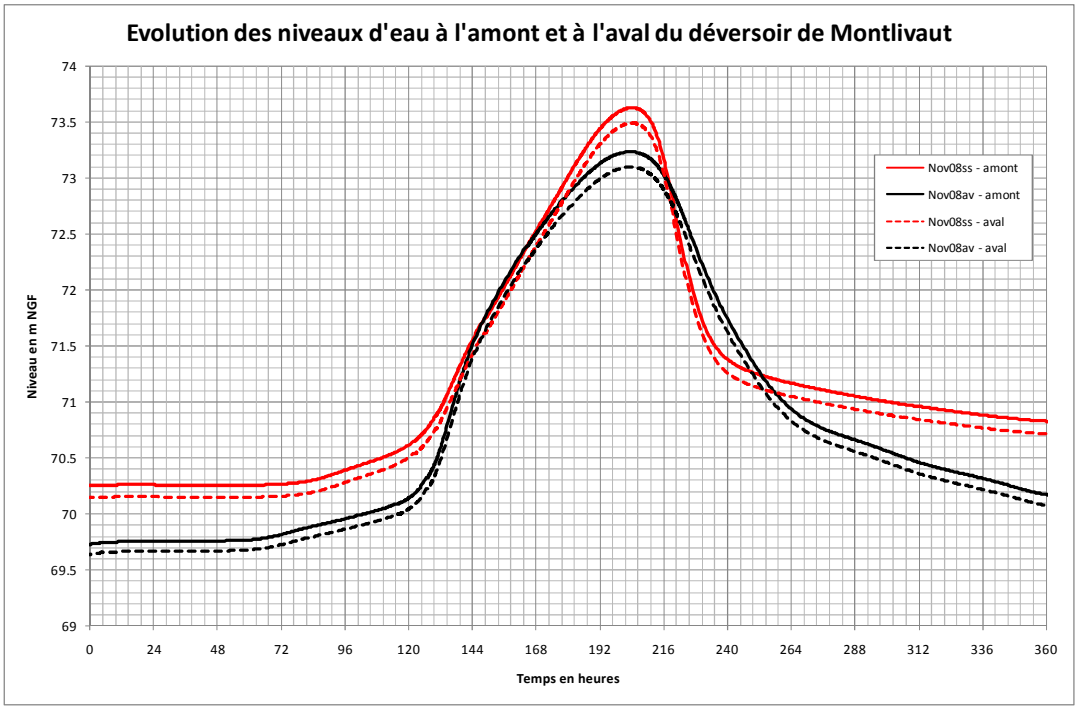
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Avaray	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
	2 859	2 493	367

3.20 DEVERSOIR DE MONTLIVAULT

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 et 76,08 m à l'aval et de longueur 420 m. La hauteur du fusible est de 1 mètre environ.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

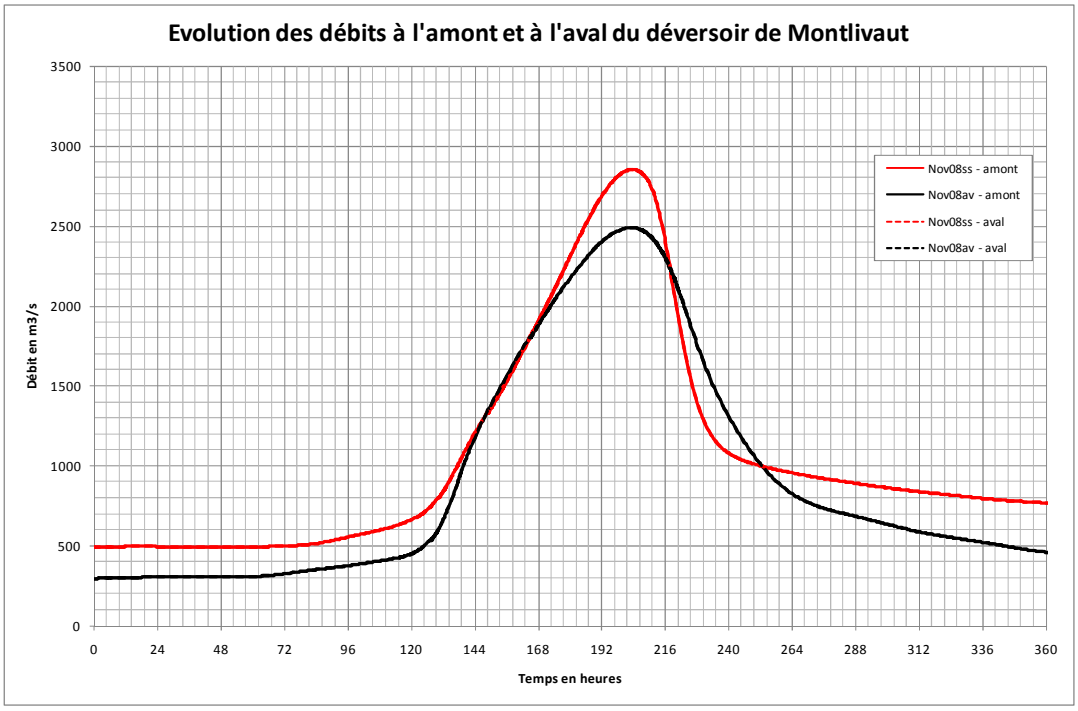


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir de Montlivault	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
76.30	73.63	73.23	0.40	2.68	3.07
76.08	73.49	73.09	0.39	2.59	2.99

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas. La revanche par rapport au sommet du fusible est largement supérieure à la hauteur du fusible (1 m) pour les deux scénarios étudiés.

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



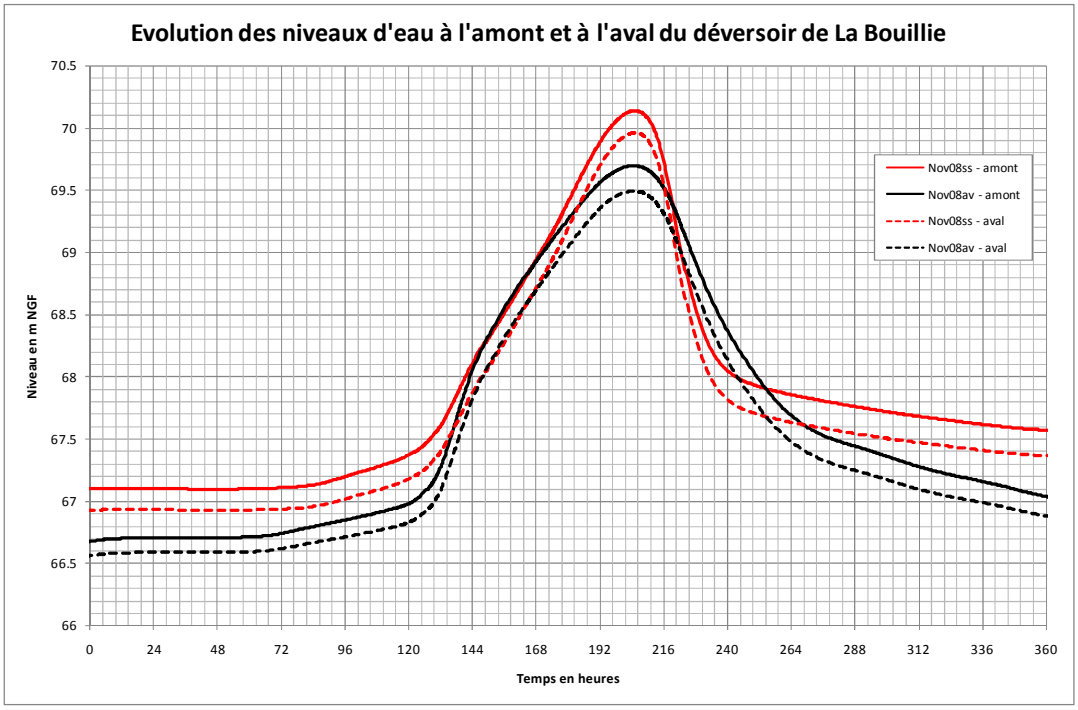
Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

Montlivault	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
	2 854	2 490	364

3.21 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 et 72,15 m à l'aval, avec une série de points plus bas calés à la cote 71,60 et de longueur 450 m.

Voici l'évolution des niveaux au droit du déversoir :

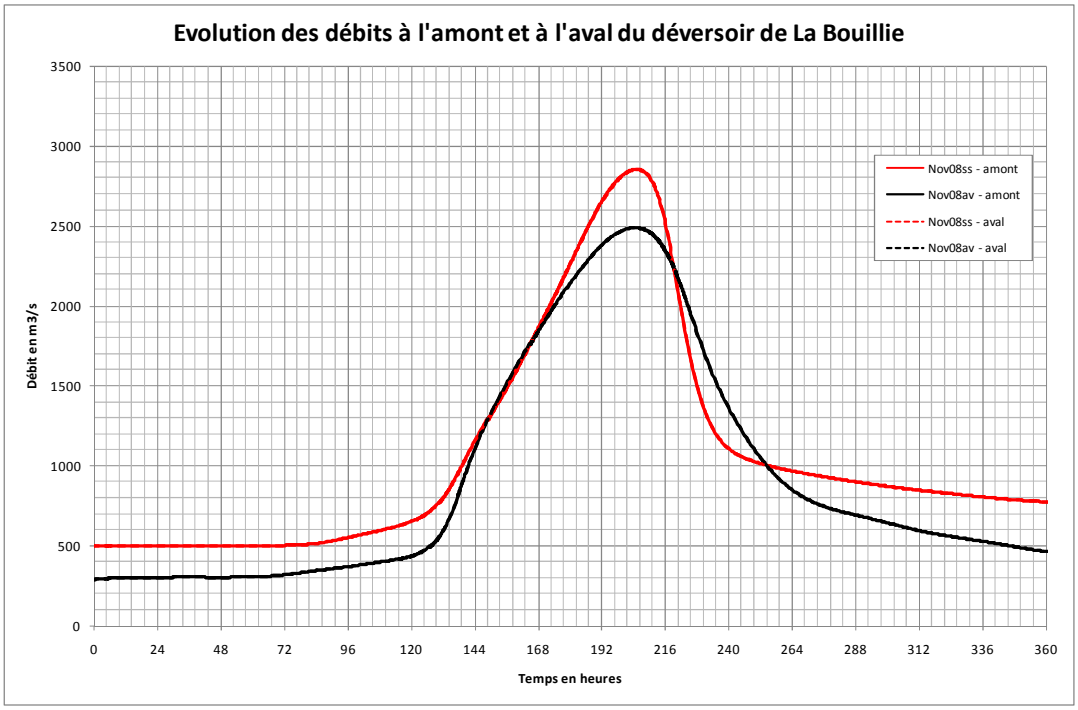


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest et indique les revanches disponibles par rapport au sommet du déversoir :

Déversoir de La Bouillie	Niveau calculé sans Villerest (2)	Niveau calculé avec Villerest (3)	Ecart de niveau (3-2)	Revanche au niveau du seuil sans Villerest (2-1)	Revanche au niveau du seuil avec Villerest (3-1)
Seuil (1)	m	m	m	m	m
72.05	70.14	69.69	0.45	1.91	2.36
71.60	70.04	69.58	0.46	1.56	2.02
72.15	69.96	69.49	0.47	2.19	2.66

Dans les deux cas, le déversoir ne fonctionne pas. La revanche par rapport au sommet du fusible est supérieure au mètre.

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

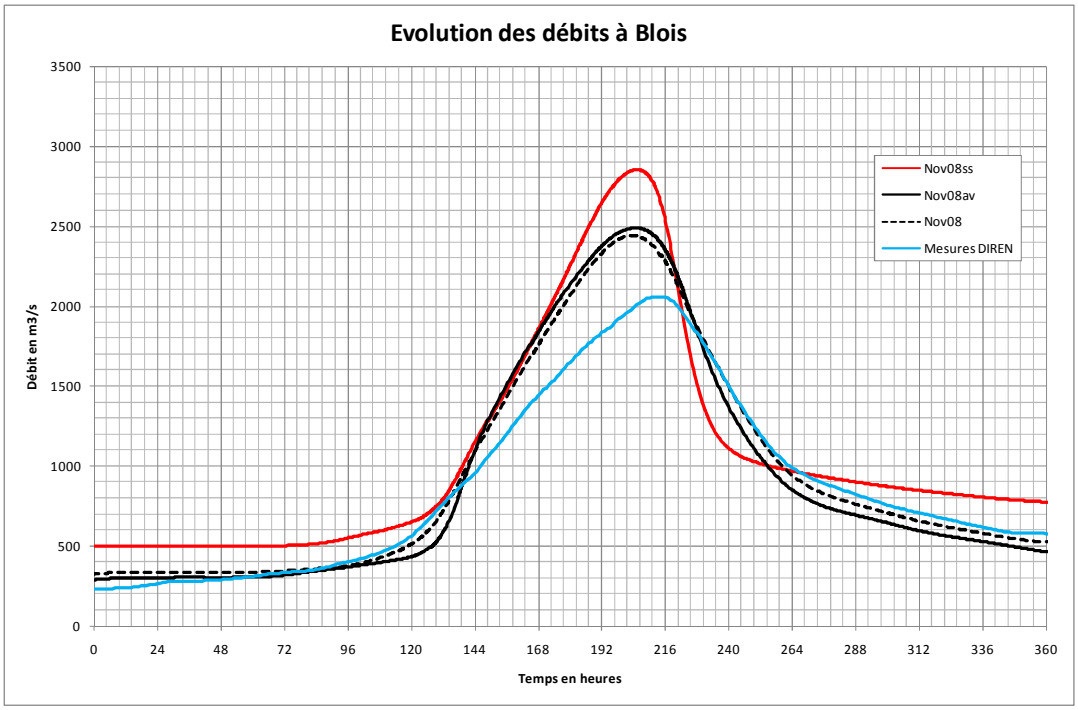


Le tableau suivant quantifie les gains en débit apportés par Villerest :

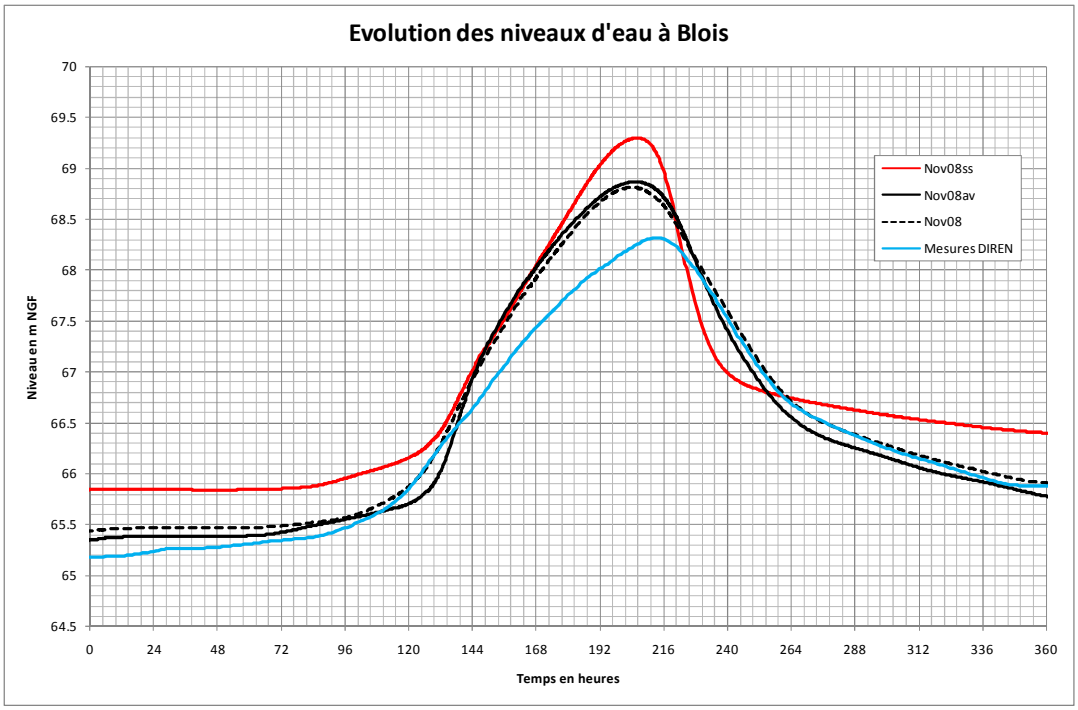
La Bouillie	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)
	m3/s	m3/s	m3/s
	2 852	2 489	363

3.22 STATION DE BLOIS

Voici l'évolution des débits à la station de Blois :



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

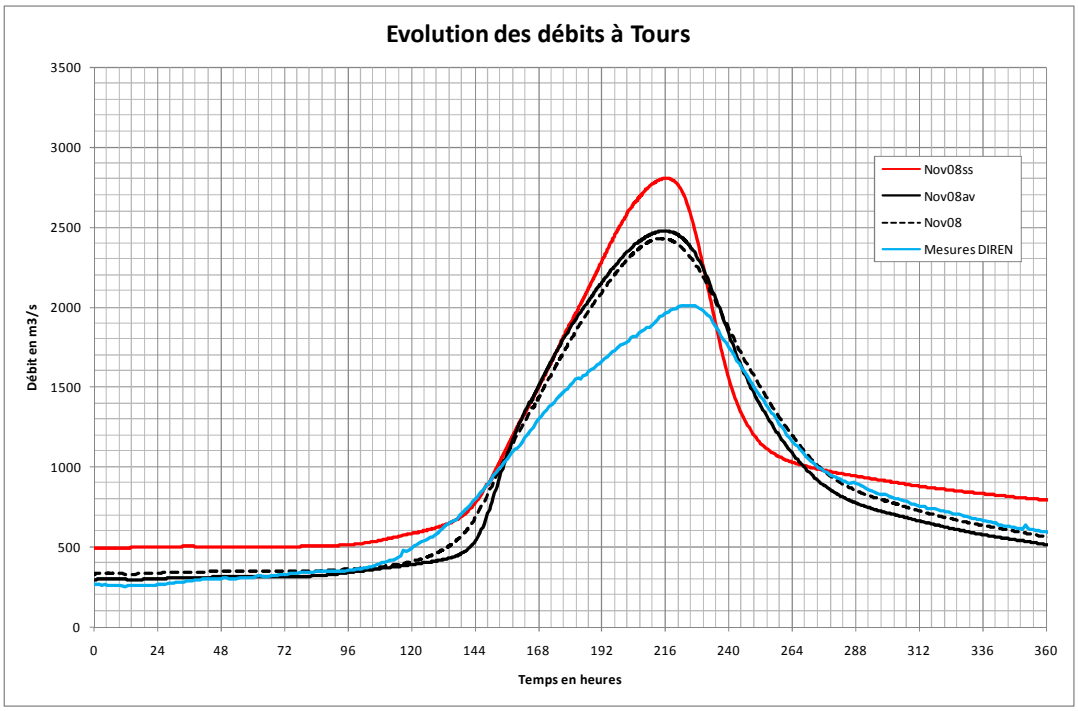


Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

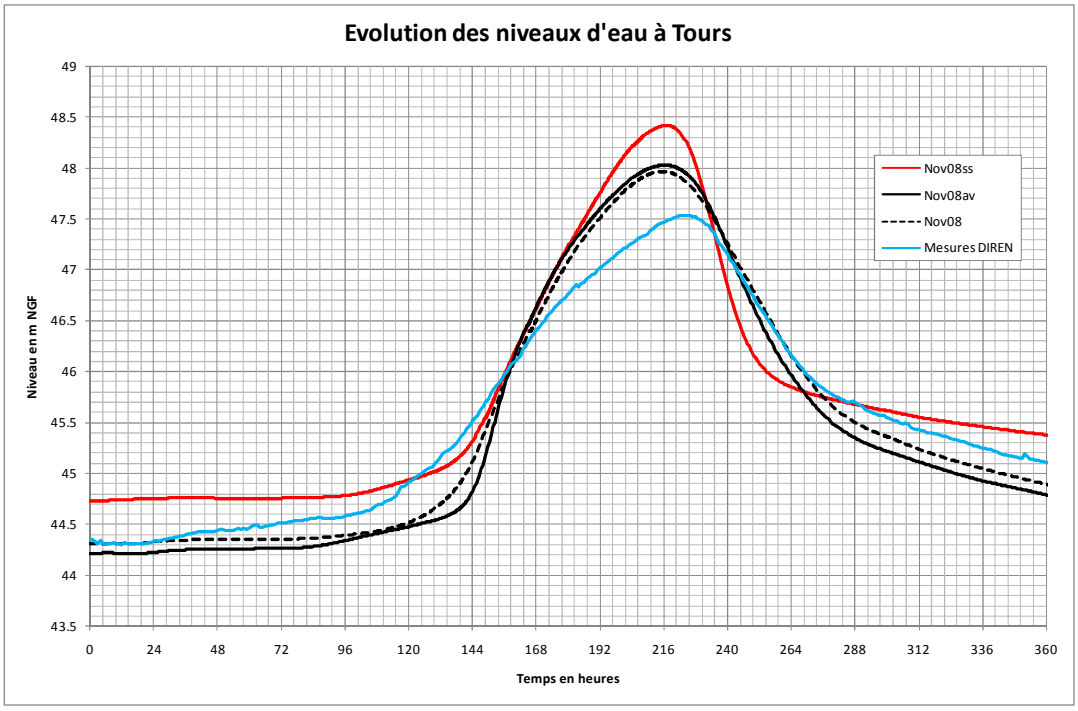
Blois	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 852	2 489	363	69.30	68.87	0.43

3.23 STATION DE TOURS

Voici l'évolution des débits à la station de Tours :



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

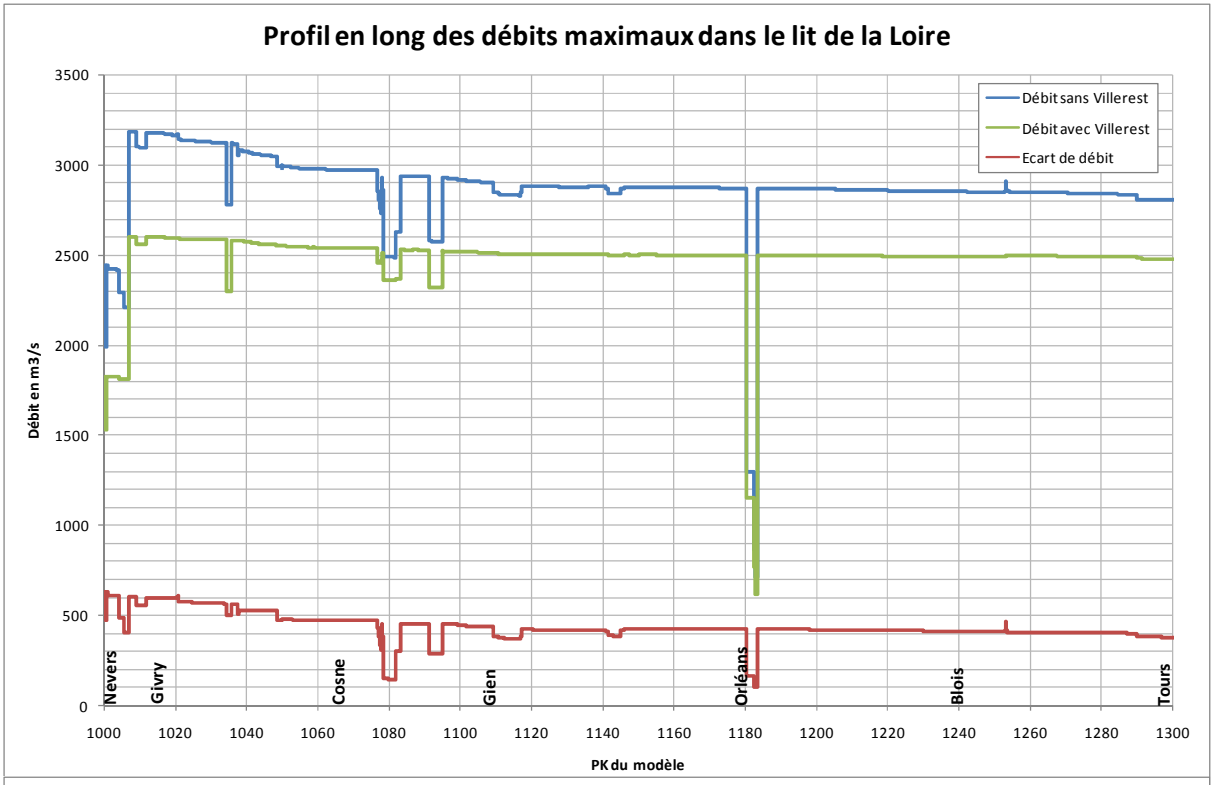


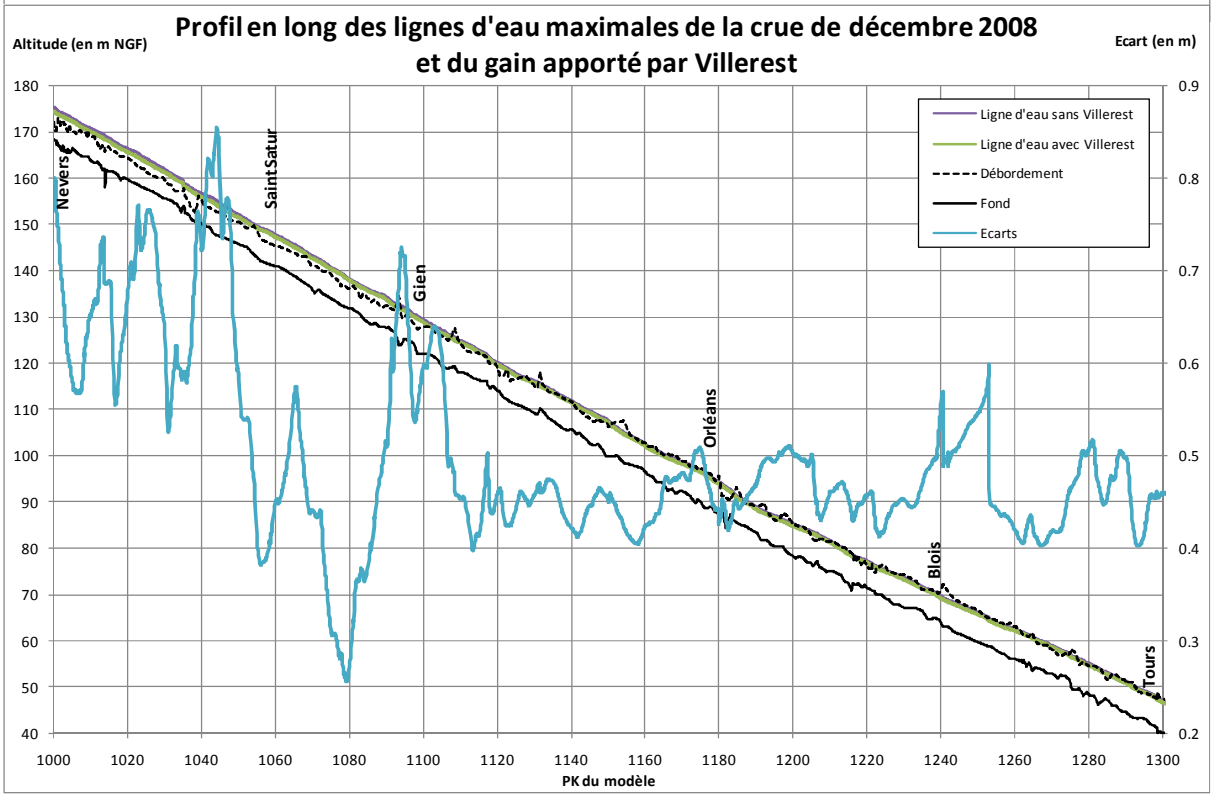
Le tableau suivant quantifie les gains apportés par Villerest :

Tours	Débit calculé sans Villerest (1)	Débit calculé avec Villerest (2)	Ecart de débit (1-2)	Niveau calculé sans Villerest (3)	Niveau calculé avec Villerest (4)	Ecart de niveau (3-4)
	m3/s	m3/s	m3/s	m	m	m
	2 805	2 477	328	48.42	48.03	0.39

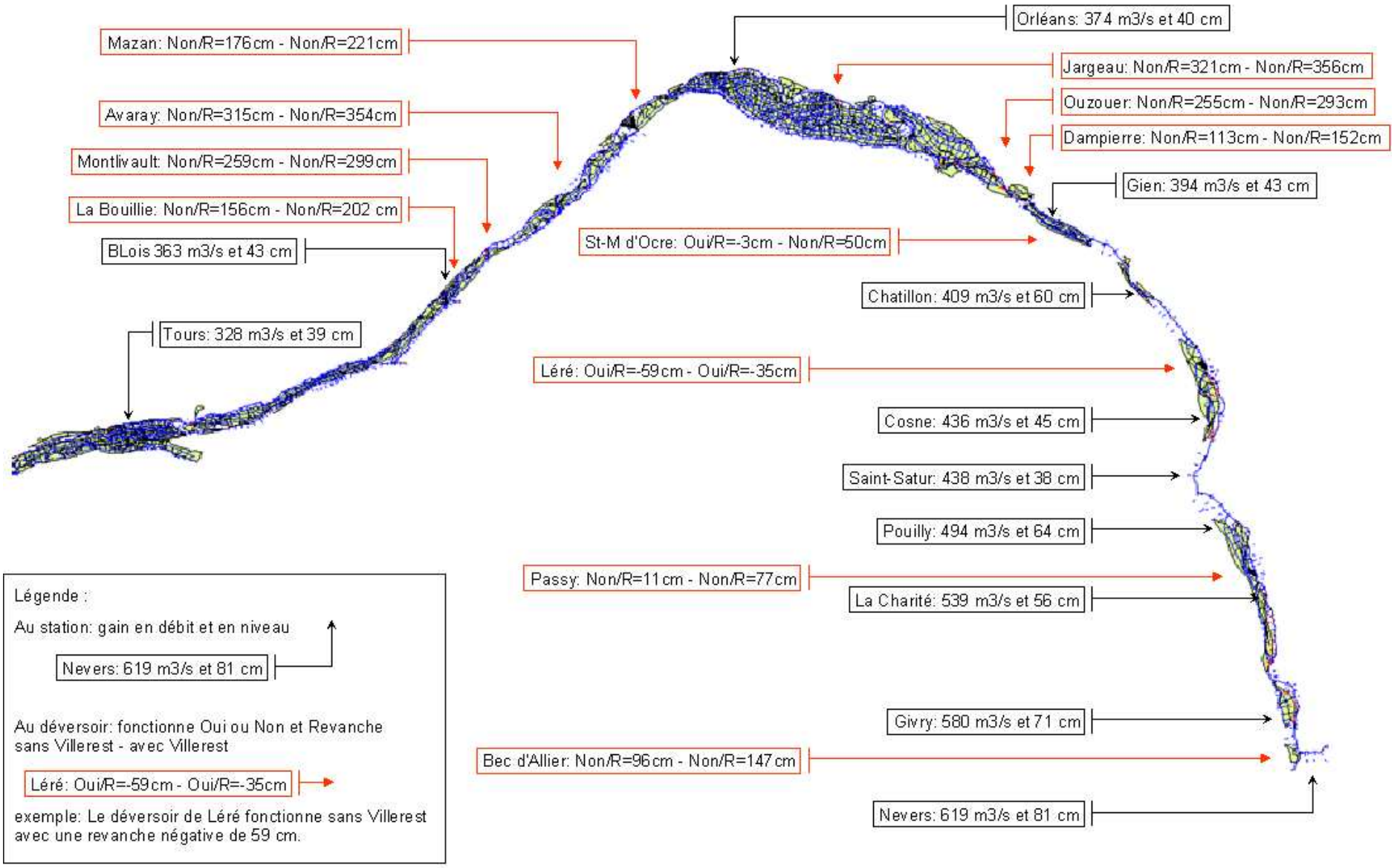
4 SYNTHESE

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 :





CARTE DE SYNTHESE DE L'ACTION DU BARRAGE DE VILLEREST SUR LA CRUE DE NOVEMBRE 2008



La carte de synthèse et les graphiques montrent que :

L'écart de débit maximum est peu réduit par la confluence avec l'Allier : il passe de 612 m3/s à Nevers à 588 m3/s à Givry.

Il décroit entre Givry et Châteauneuf, puis reste à peu près constant en aval.

Les gains en niveau d'eau qui fluctuent en fonction de la géométrie du fleuve, varient entre 40 et 50 cm.

Le déversoir de Léré aurait fonctionné de manière plus importante sans l'action du barrage de Villerest et celui de Saint-Martin d'Ocre aurait légèrement fonctionné.

Le barrage de Villerest diminue le risque d'inondation tout le long de la Loire moyenne.

5 REMARQUE SUR LES LIMITES DU MODELE LM09

Le modèle LM09 mis au point pour la prévision des crues sur la Loire Moyenne a été calé sur 5 crues de calage :

- Janvier 2008
- Mars 2007
- Février 1999
- Novembre 2008
- Décembre 2003

et validé sur 5 autres crues :

- Juin 2008
- Janvier 2004
- Avril 2005
- Février 2003
- Mai 2001

D'une manière générale, le modèle LM09 depuis Givry, couplé avec le modèle ADN, reproduit bien la propagation des crues :

- Les pointes de crue propagées par le modèle sont en phase avec les observations.
- Les débits de pointe sont bien reproduits : La majorité des écarts des débits de pointe est comprise entre – 4% et + 5%, ce qui est satisfaisant au vu notamment des erreurs possibles de mesures.
- Les courbes de tarage calculées par le modèle aux stations de prévision et de surveillance sont ajustées pour suivre les courbes mesurées, ce qui assure une bonne représentativité.
- Les lignes d'eau calculées suivent au maximum les repères de crue. La majorité des écarts de niveaux se situe entre – 10 cm et + 10 cm.

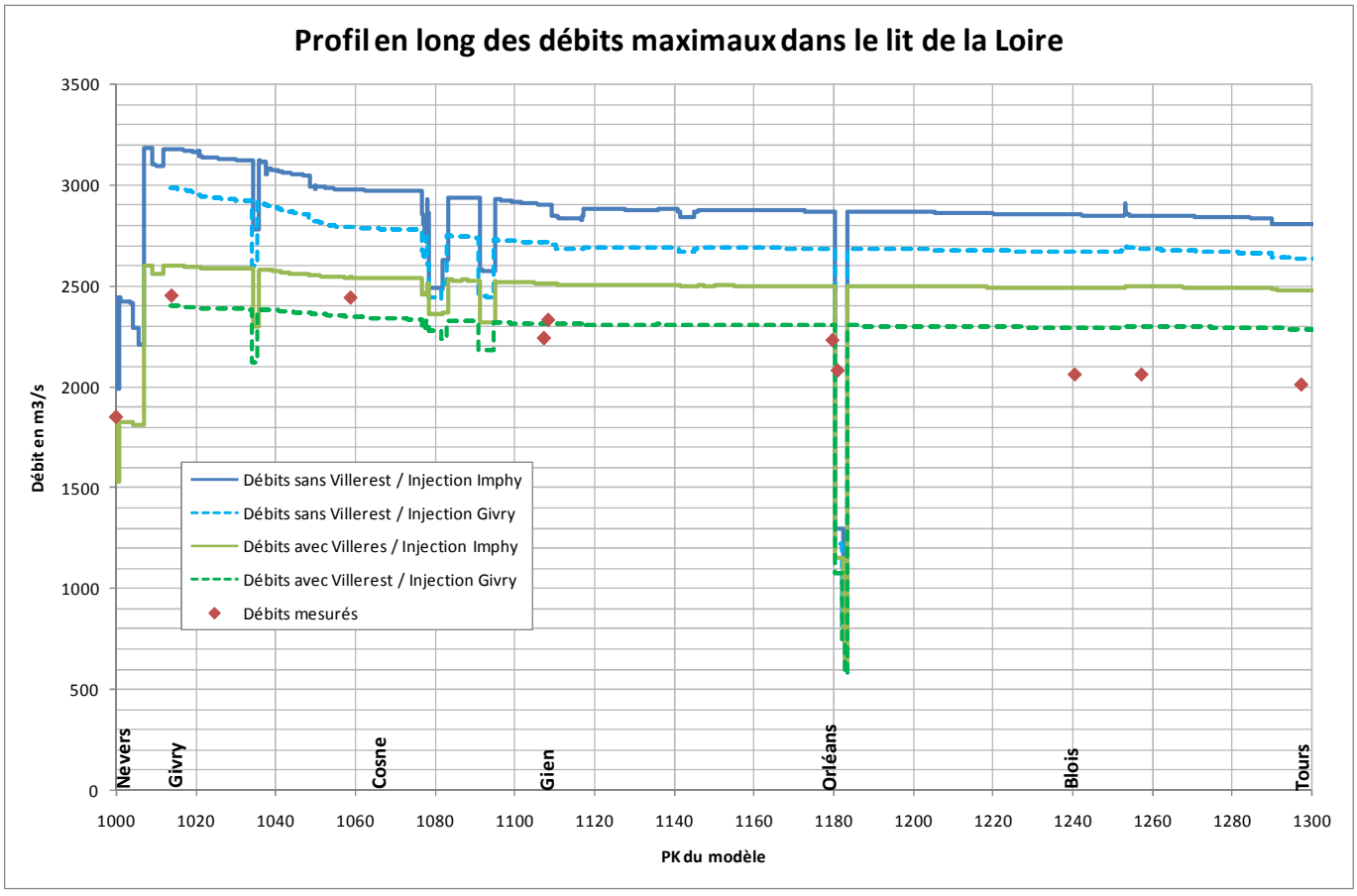
Toutefois, on note deux limites au modèle :

- Le modèle ADN, amélioré sur certains secteurs de l'Allier, n'écrête pas suffisamment les pointes de crue et les hydrogrammes calculés à Givry, en aval de la confluence Loire-Allier ne sont pas fidèles aux observations. Une mise à jour de la branche Allier du modèle est envisagée pour résoudre ces problèmes de propagation.
- Le modèle LM09 a tendance à légèrement surestimer les débits en aval d'Orléans. Ceci est d'autant plus vrai pour la crue de décembre 2008 qui perd 200 m3/s entre Orléans et Blois de manière inexpliquée.

Afin d'écarter les problèmes de propagation de l'Allier, les simulations ont été relancées en débutant les calculs à Givry, au lieu d'Imphy et Moulins :

	Givry
Nov08	Mesure
Nov08av	Calculs ISL avec Villerest
Nov08ss	Calculs ISL sans Villerest

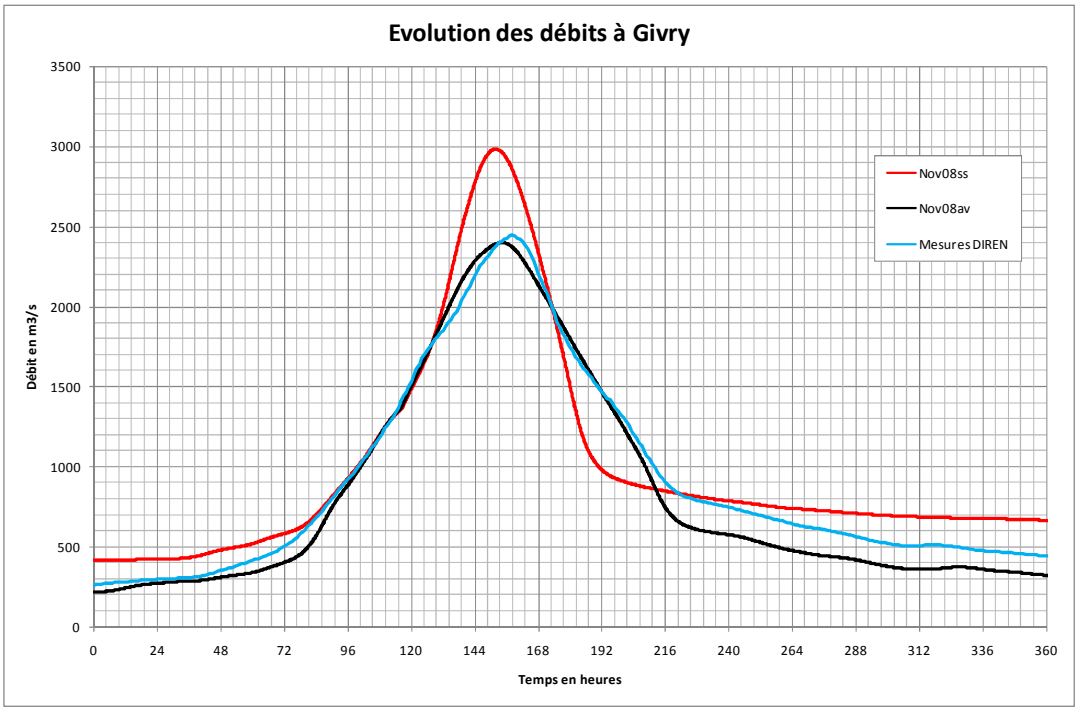
Le graphique ci-après présente l'évolution des débits de pointe calculés le long de la Loire, avec et sans l'effet du barrage de Villerest, et pour une injection à Imphy et à Givry.
L'injection à Givry permet de mieux estimer les débits jusqu'à Orléans par rapport aux observations faites aux échelles principales de la Loire.

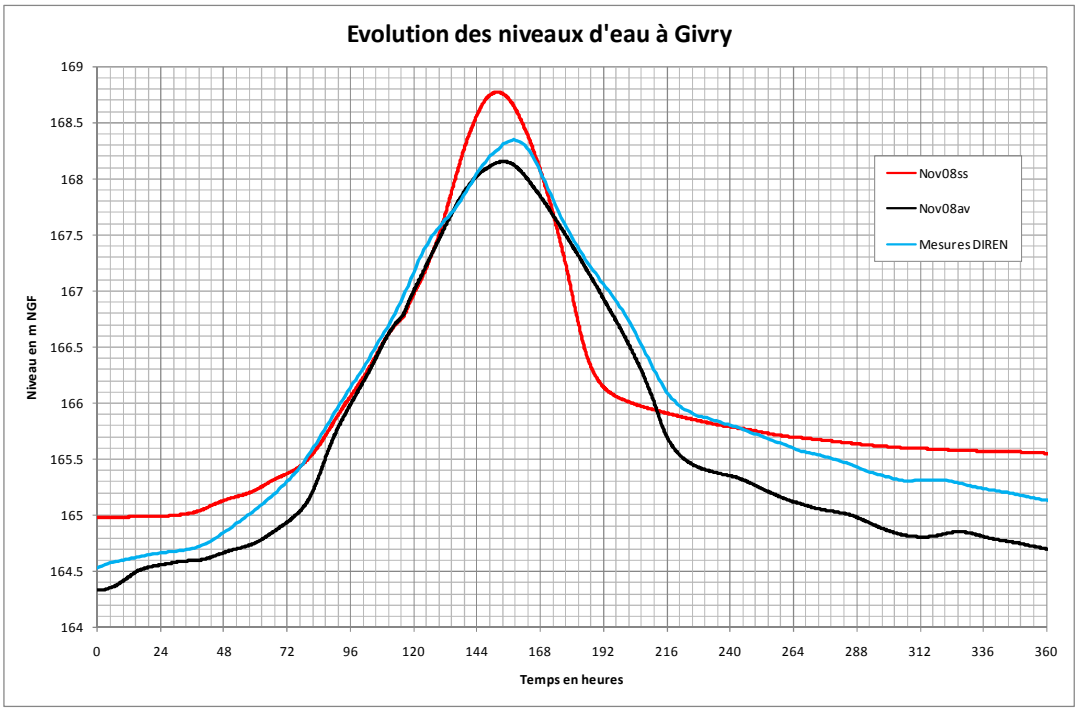


Par contre, l'observation de la crue de novembre 2008 indique un écrêtement de l'ordre de 200 m3/s entre Orléans et Blois que le modèle ne reproduit pas.
Or, cet écrêtement n'est pas présent pour les autres crues de calage et se produit alors que la Loire s'écoule dans son lit mineur. Ce décalage entre observations et calculs qui n'a pas reçu d'explications à ce jour.

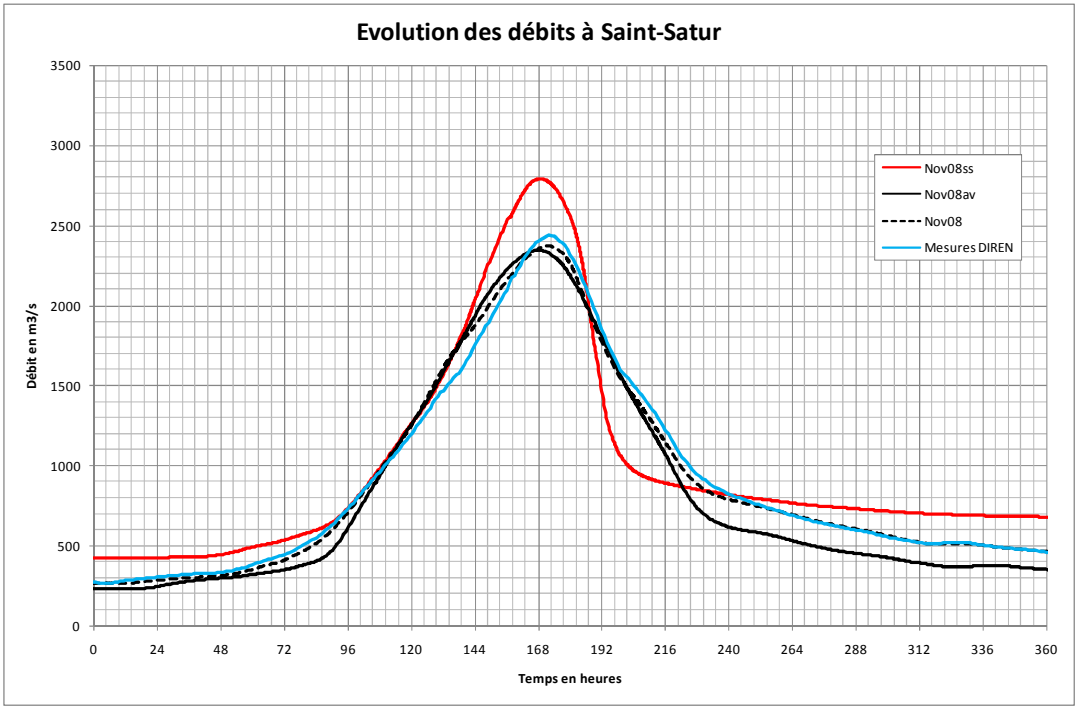
Les résultats aux principales échelles sont présentés ci-après.

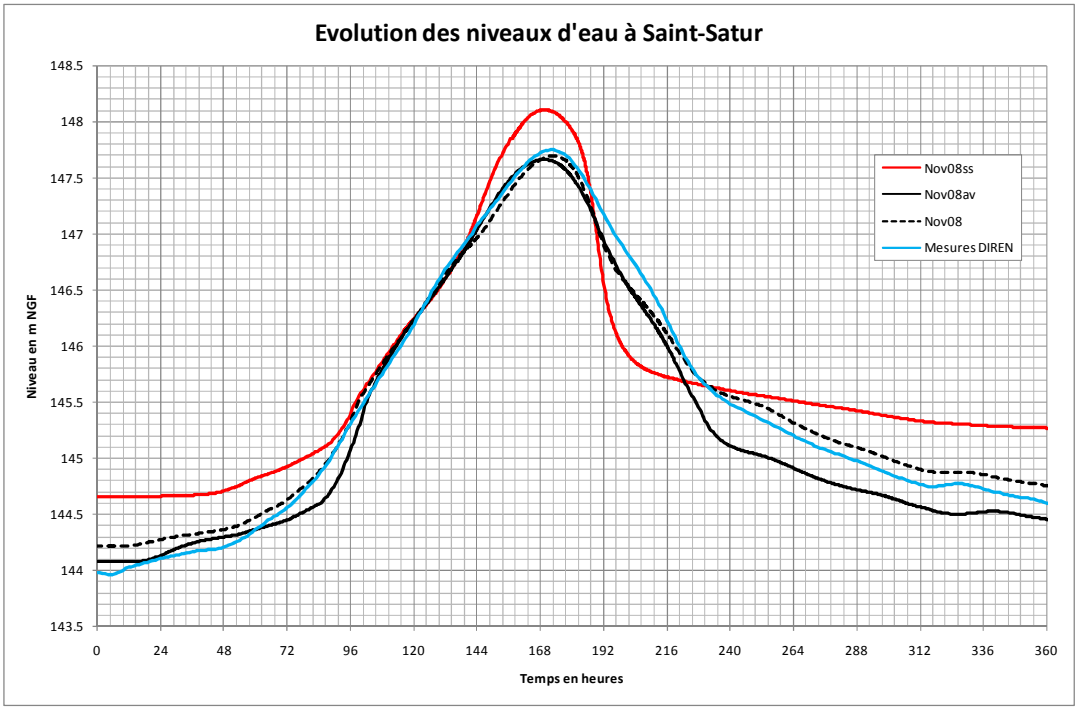
5.1 STATION DE GIVRY



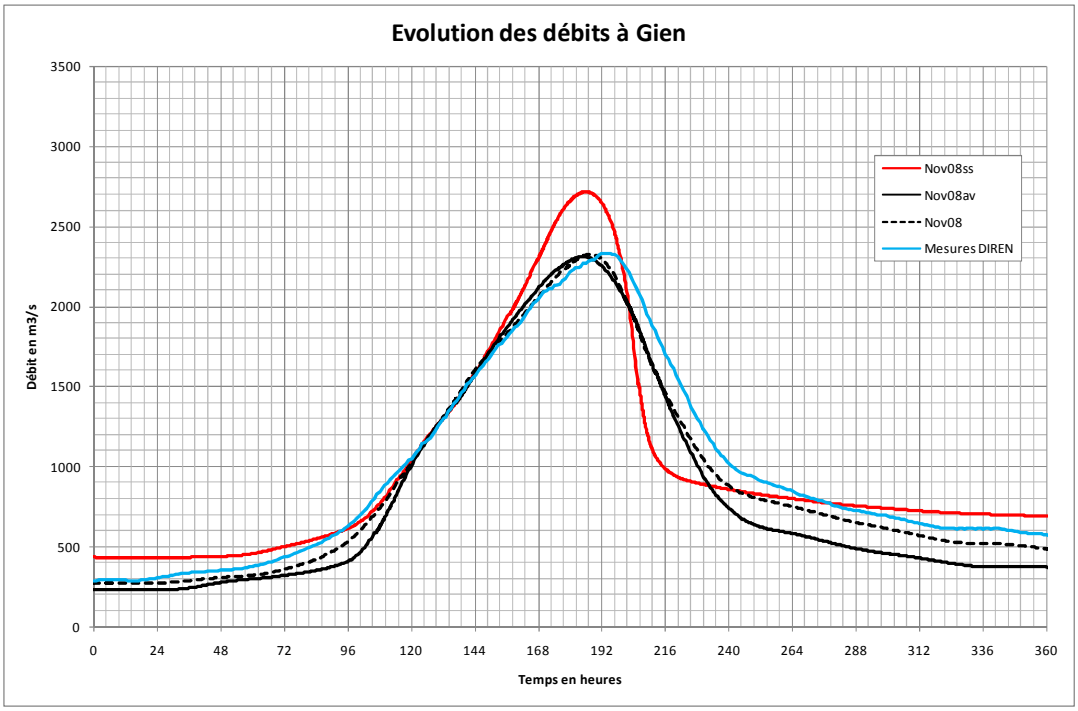


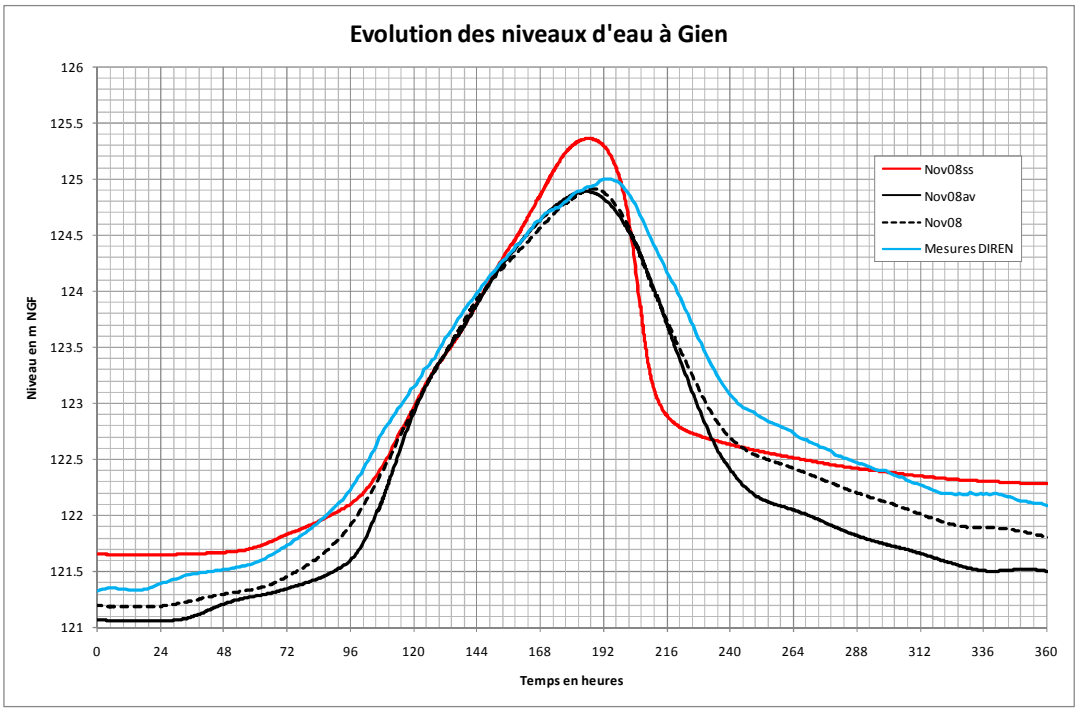
5.2 STATION DE SAINT-SATUR



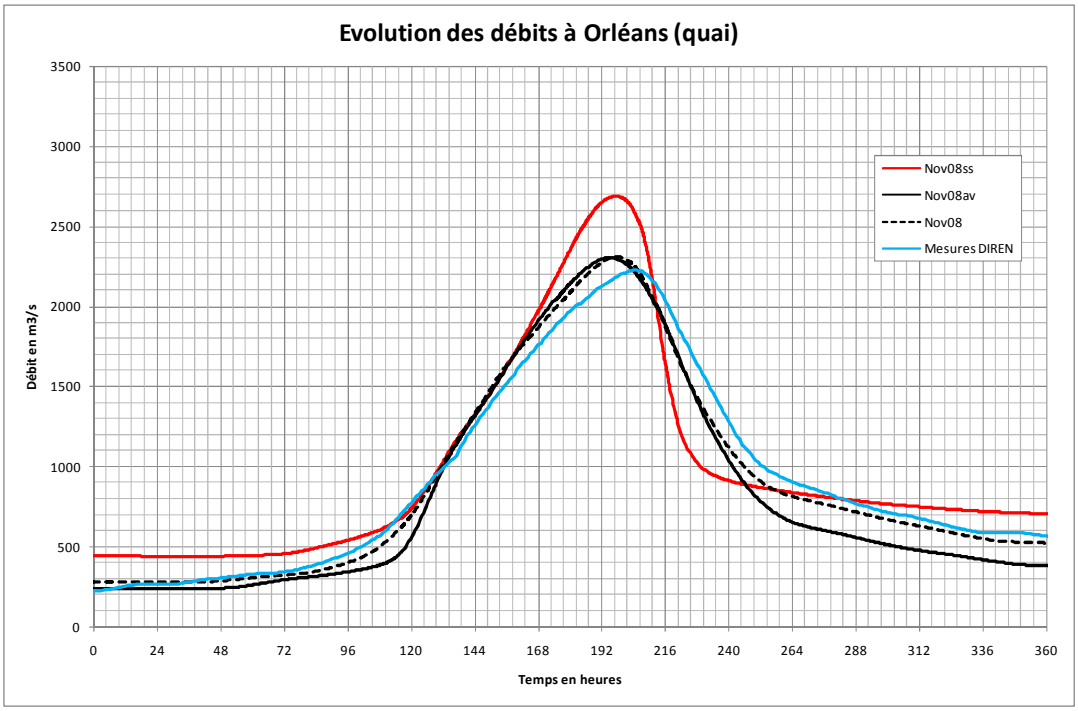


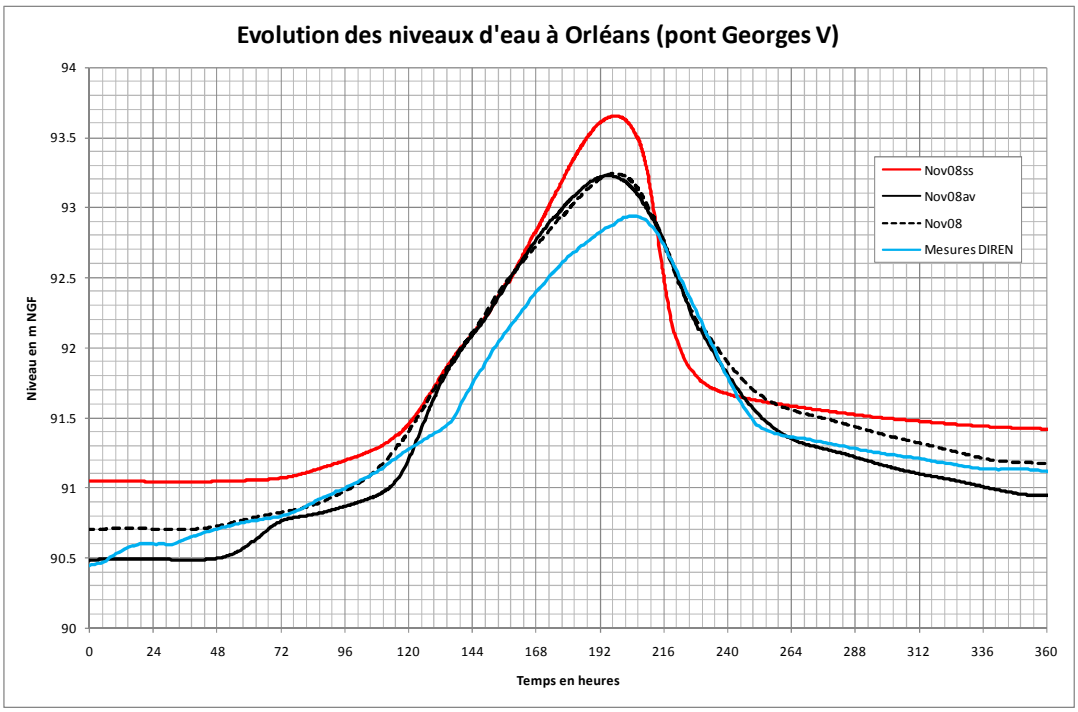
5.3 STATION DE GIEN



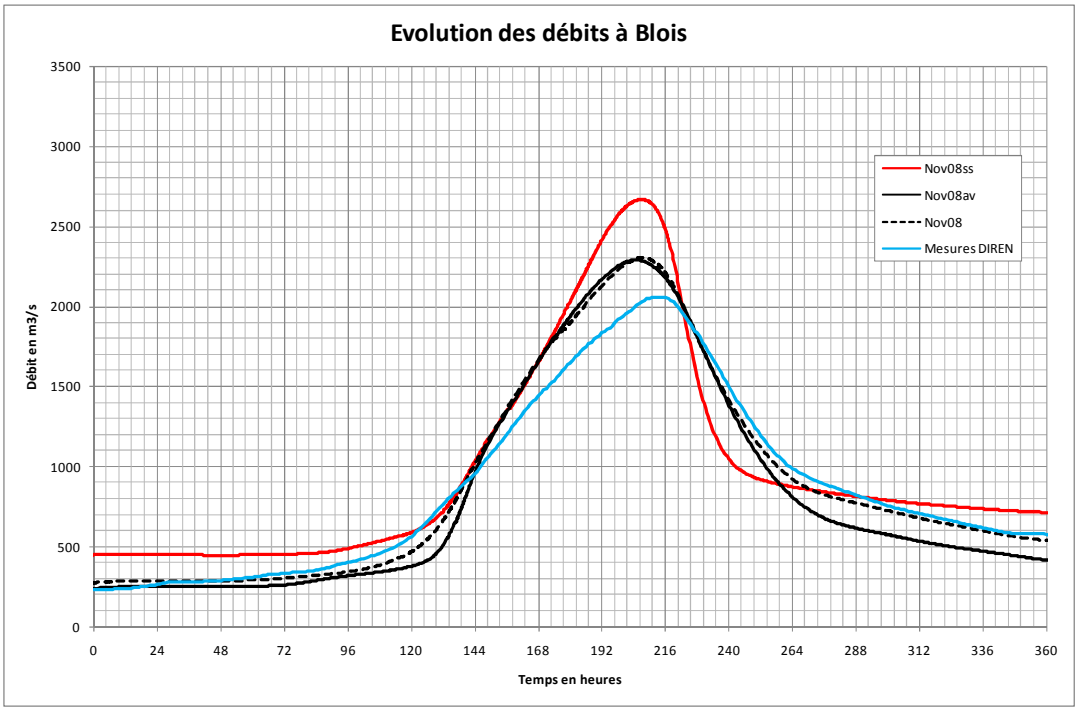


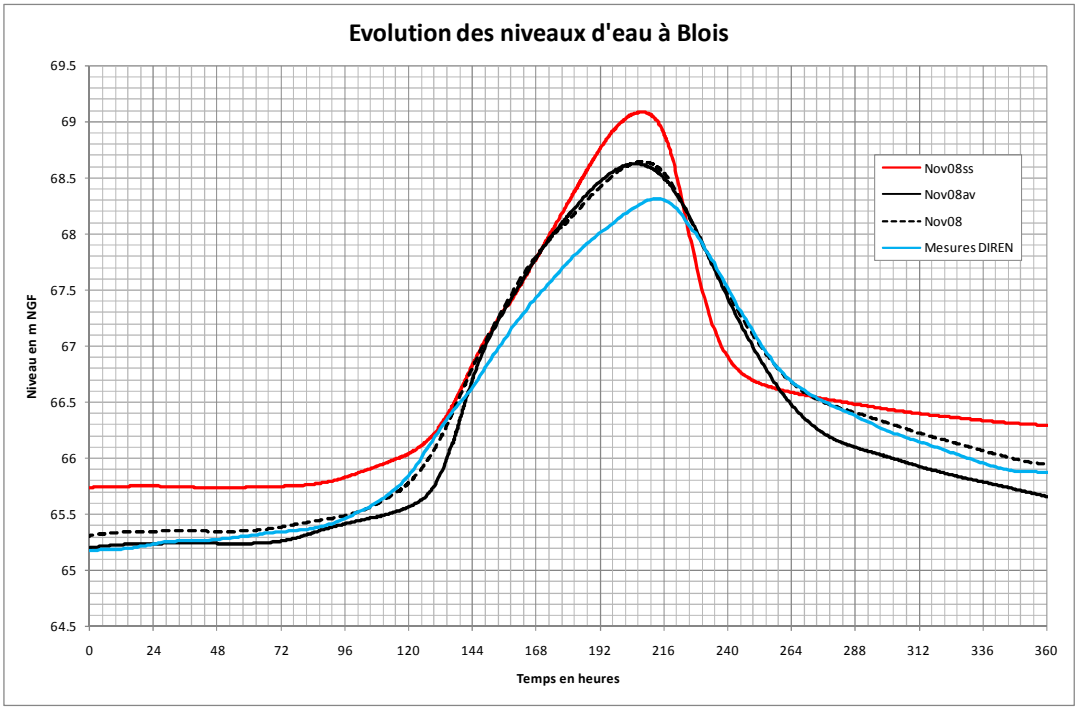
5.4 STATION D'ORLEANS



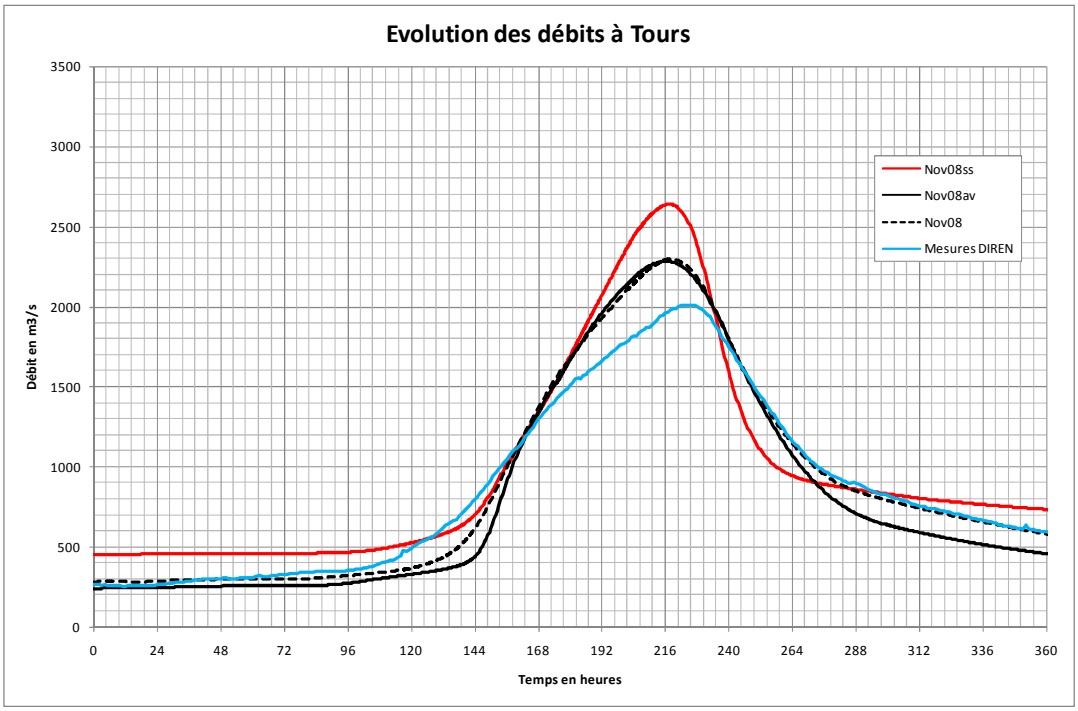


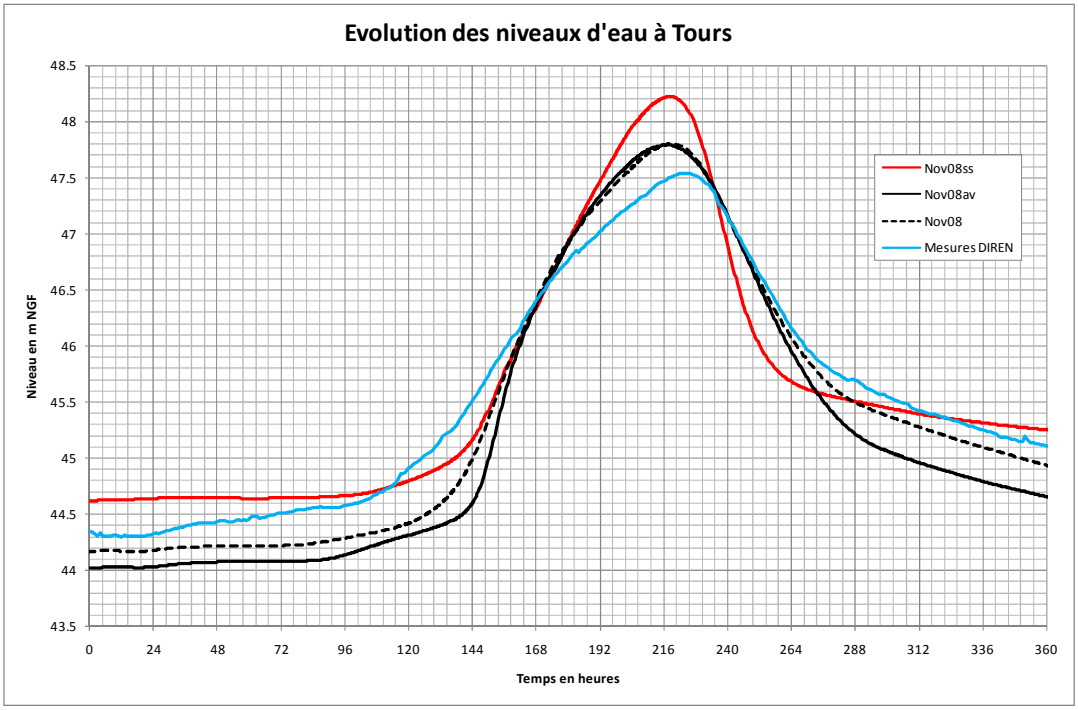
5.5 STATION DE BLOIS





5.6 STATION DE TOURS



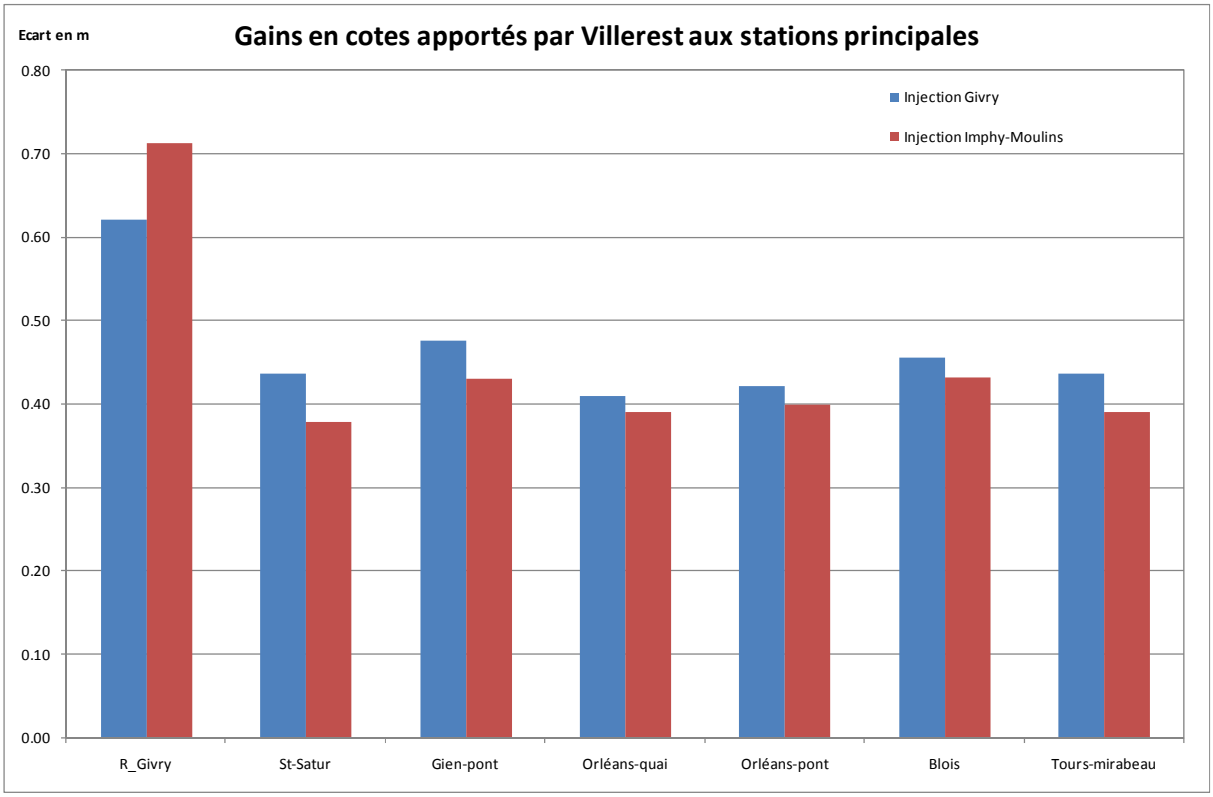


5.7 CONCLUSION

L'injection des hydrogrammes à Givry améliore la propagation le long de la Loire, par rapport aux simulations depuis Imphy et Moulins. Le modèle reste toutefois trop rapide en aval d'Orléans et n'écrête pas suffisamment le débit pour la crue de novembre 2008.

Or, le modèle produit des résultats tout à fait satisfaisants sur les 9 autres crues testées dans le cadre de la prévision des crues en temps réel pour le SPC Loire-Cher-Indre.

Le tableau suivant donne les maximums de débit et de cote aux échelles de la Loire pour les deux simulations avec et sans Villerest :

	Q max (en m3/s)			Z max (en m3/s)		
Station	Nov08ss	Nov08av	Ecart	Nov08ss	Nov08av	Ecart
Givry	2 986	2 402	584	168.77	168.15	0.62
St-Satur	2 793	2 348	445	148.10	147.67	0.44
Gien-pont	2 716	2 312	405	125.36	124.89	0.48
Orléans-quai	2 686	2 302	385	94.49	94.08	0.41
Orléans-pont	1 226	1 075	151	93.65	93.23	0.42
Blois	2 670	2 293	377	69.08	68.63	0.45
Tours-mirabeau	2 639	2 286	352	48.22	47.79	0.44

Les gains en cotes apportés par l'effet du barrage de Villerest aux principales échelles de la Loire sont sensiblement les mêmes, à 5 cm près, que l'on débute les simulations à Imphy-Moulins à Givry :