

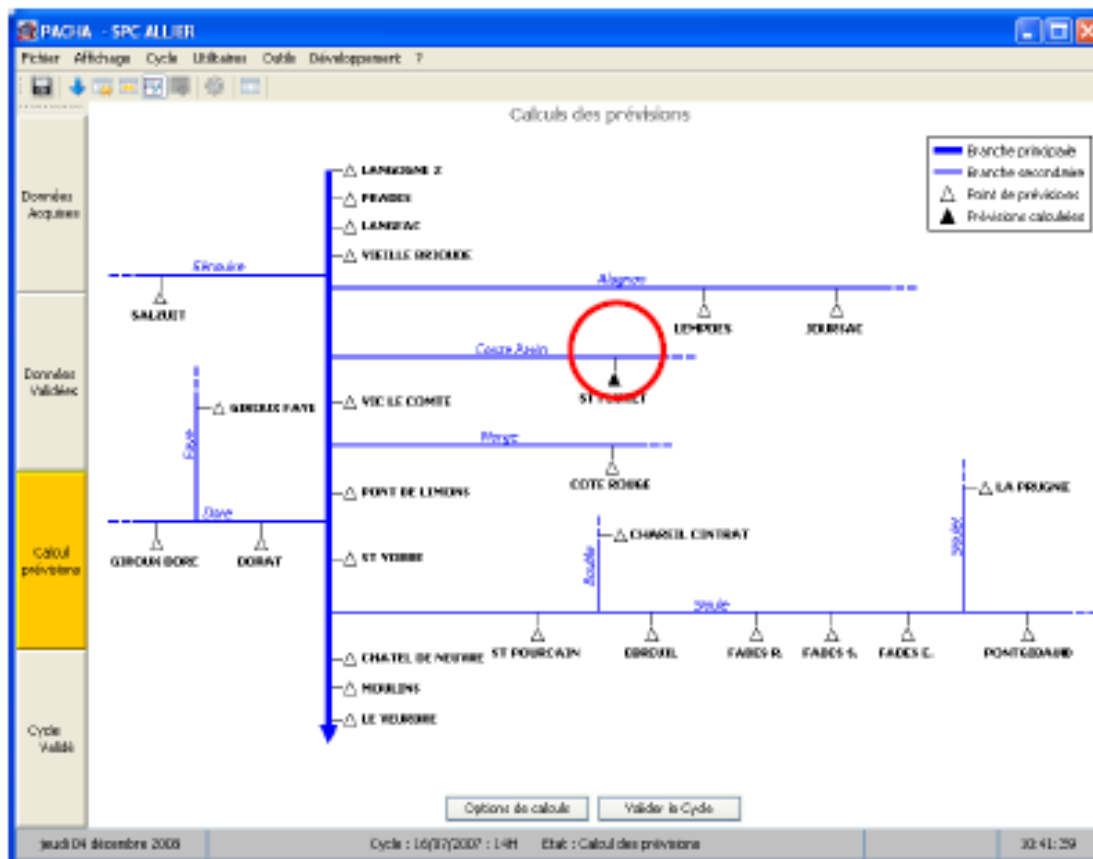
Annexe 1 : Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues – Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER

1 HISTORIQUE DU LOGICIEL PACHA

Le logiciel PACHA a été développé en 1994, sur la base d'une étude de modélisation hydrologique détaillée effectuée en 1991-1992. Le calage initial des modèles a été effectué sur les épisodes de crue de la période 1973-1990, ainsi que sur des crues historiques plus anciennes (notamment 1866), en moyenne 19 épisodes par modèle avaient été retenus,

Les modèles ont été calés sur les données de nombreuses stations hydrométriques et pluviométriques, dont certaines n'ont pas nécessairement été automatisées par la suite (réseau CRISTAL). D'autre part, de nouvelles stations ont été intégrées au réseau CRISTAL, et certaines ont été considérées en remplacement de stations utilisées initialement dans les modèles, alors qu'elles ne sont pas situées au même emplacement. La configuration actuelle des stations prises en compte dans les modèles est donc parfois différente de la configuration utilisée lors du calage.

Les points modélisés sont présentés dans le synoptique de présentation de Pacha V2 suivant :



Une nouvelle interface homme-machine a été développée depuis 2007, afin que l'outil puisse être utilisé dans l'environnement informatique actuel.

La description complète du modèle et ses évolutions sont décrites dans le diagnostic prévision du Volet 1 de l'étude 3P Allier.

2 GAMME DES CRUES DE CALAGE DU LOGICIEL PACHA

Le tableau suivant liste les crues les plus importantes prises en compte sur l'Allier pour le calage, avec les débits de pointe à Vieille Brioude et Moulins, et indique les débits maximaux des crues de décembre 2003 et novembre 2008.

crue	Débit max à Vieille Brioude (m3/s)	Débits max à Moulins (m3/s)
Décembre 1973	1440	1190
Octobre 1976	973	1076
Novembre 1976	1157	1170
Septembre 1980	1450	512
Janvier 1982	165	1320
Avril 1983		1286
Mai 1983	206	1211
Novembre 1984	1063	784
Mai 1985	147	1107
Mars 1988	147	1473
Décembre 2003	971(corrigé) 1340(brut)	1570
Novembre 2008	1040	857

La crue de décembre 2003 est supérieure aux crues de calage à Moulins (+100 m3/s par rapport à la crue de mars 1988, plus forte crue de l'échantillon hormis 1866) ; à Vieille Brioude les deux crues sont dans la gamme des plus fortes crues utilisées pour le calage.

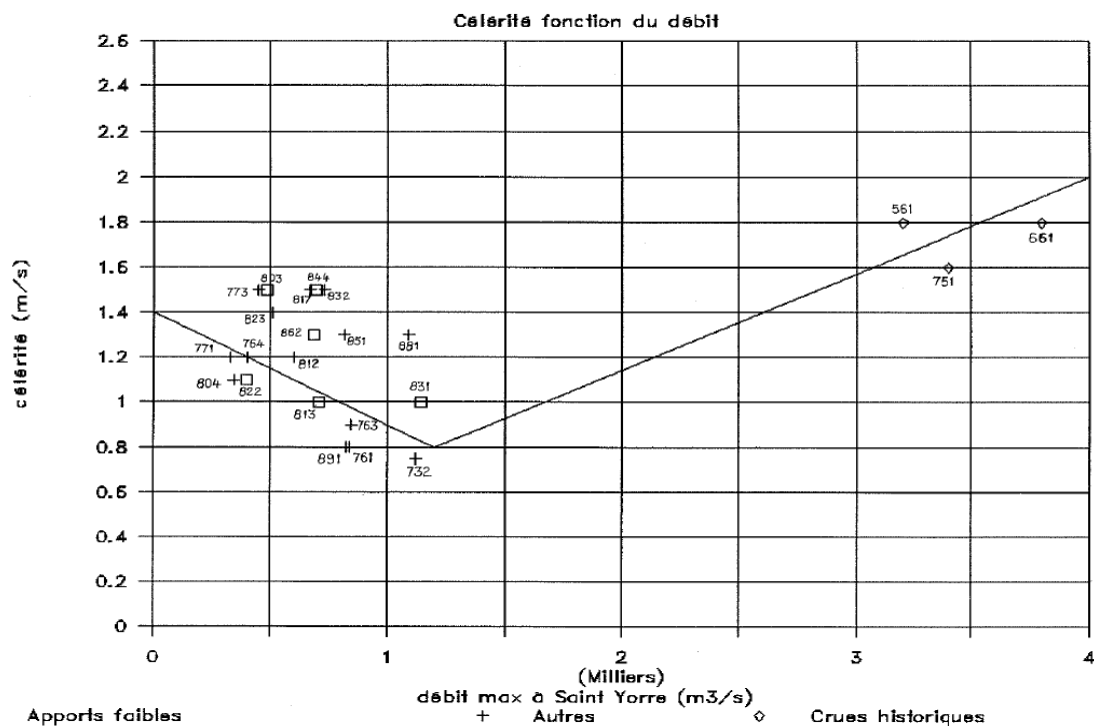
Les crues historiques de 1875, 1856 et 1966 ont également été utilisées pour le calage des modèles de propagation, leur débit estimé est au moins le double des débits maximaux de la période récente :

- Vieille Brioude : 1866 : 2500 m3/s
- St Yorre : 1856 : 3200 m3/s, 1866 : 3700m3/s , 1875 : 3400 m3/s
- Moulins : 1866 : 3500m3/s,

Sur la partie aval de l'Allier (entre Vic le Comte et Moulins notamment), les fonctions de variation de la célérité en fonction du débit calées dans l'étude initiale comportent donc deux zones : la zone des crues « courantes », jusqu'à 1500 m3/s à Moulins, et 3 points correspondant aux crues exceptionnelles du 19^{ème} siècle (débits supérieurs à 3000 m3/s à Moulins). Entre ces deux zones, la variation de la célérité en fonction du débit n'est pas précisément connue.

La crue de décembre 2003 apporte un point supplémentaire, mais qui reste proche de la série des crues « courantes ». La variation de la célérité en fonction du débit prise en compte dans cette zone intermédiaire restera donc estimative : par exemple entre St Yorre et Moulins, la célérité varie linéairement de 0.8m/s à 2m/s pour un débit variant respectivement de 1200 et 4000 m3/s. Cela correspond à une réduction de moitié des temps de propagation (cf figure suivante extraite du rapport d'étude sur le calage initial du modèle)..

VICHY – MOULINS



Modèle de propagation St Yorre-Moulins - Courbe de variation de la célérité en fonction du débit (extrait du rapport de calage du modèle initial – Bceom - 1992)

Depuis 1990, les crues les plus fortes sont les crues de décembre 2003 et novembre 2008. Les autres crues marquantes sont les suivantes :

<u>Date crue</u>	<u>Débit max à Vieille Brioude (m³/s)</u>
<u>Novembre 1994</u>	<u>925</u>
<u>Septembre 1994</u>	<u>780</u>
<u>Novembre 1996</u>	<u>543</u>
<u>Janvier 1996</u>	<u>441</u>
<u>Mai 1999</u>	<u>557</u>

3 ANALYSE DES RESULTATS POUR LES DEUX CRUES DE DECEMBRE 2003 ET NOVEMBRE 2008

L'analyse des résultats obtenus pour les deux crues récentes de décembre 2003 et novembre 2008 montre globalement un comportement satisfaisant des modèles.

Dans le paragraphe ci-après, sont fournies les courbes de prévision obtenues aux différents points de prévision avec le rejeu effectué en situation de prévisions temps réel à l'aide du logiciel PACHA. Ces rejeux ont été effectués avec les données disponibles en temps réel (données brutes validées par le SPC), et avec des données complétées a posteriori (données pluviométriques pour la crue de décembre 2003 notamment, et des estimations de certains hydrogrammes fortement revues par la Diren (banque HYDRO)).

Point par point, l'analyse des résultats obtenus montre :

▀ Prévisions à Langogne : les prévisions sont effectuées par des modèles pluie-débit (SCS+Fabret), calés pour des délais de prévision 2 heures et 4 heures. Pour la crue de novembre 2008, le modèle ne permet pas une reproduction correcte de la montée de crue, les prévisions étant en retard. Le délai de prévision minimal de 2h semble déjà trop élevé pour cette crue pour laquelle le temps de réponse a plutôt été de l'ordre de l'heure voire plus faible. Le modèle au délai 4 heures ne semble pas approprié (délai trop élevé par rapport au temps de réponse du bassin).

▀ Prévisions à Prades : pour la crue de novembre 2008, les prévisions sont en avance, avec une estimation correcte du maximum pour le délai 4h et une surestimation de la pointe de l'ordre de 20 à 40% pour le délai 6 heures, selon les instants de prévision. Pour la crue de décembre 2003, les prévisions sont également en avance dans la montée, avec une surestimation qui se produit déjà pour le délai 4 heures, et qui s'accroît pour le délai 6 heures. Le modèle au délai 4 heures semble approprié, le modèle au délai 6 heures ne semble pas pertinent.

▀ Prévisions à Langeac : les modèles n'avaient initialement pas été calés sur des données à Langeac, la station étant très récente. Les paramètres utilisés sont ceux calés à Prades, avec une modification de la taille du bassin versant (qui passe de 1350km² à 1781 km² entre Prades et Langeac). Les résultats obtenus pour les 2 crues décembre 2003 et novembre 2008 sont moins bons qu'à Prades. Les modèles demandent donc à être recalés sur les données à Langeac.

▀ Prévisions à Vieille Brioude : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation à partir de Prades, prise en compte des apports intermédiaires par application d'un coefficient multiplicatif des débits à Prades évalué selon les données de pluie. Pour la crue de novembre 2008, l'avance et la surestimation des prévisions à Prades se retrouvent à Vieille Brioude. Pour la crue de décembre 2003 et les données « temps réel », les prévisions sont correctes jusqu'au délai 10 heures avec cependant un retard à la 2^{ème} montée. Ce retard est probablement dû à une sous-estimation des apports du bassin versant intermédiaire. Le débit estimé avec les données « temps réel » était de 1340 m³/s à Vieille Brioude, soit plus du double de celui de Prades (640 m³/s). Avec un débit réévalué à 975 m³/s, les prévisions sont au final surestimées du fait de la surestimation à Prades.

▀ Prévisions à Lempdes : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation depuis Joursac, avec coefficient multiplicatif appliqué sur les débits à Joursac pour représenter les apports intermédiaires. Entre Joursac et Lempdes, les apports peuvent être très importants, pour la crue de décembre 2003, le débit de pointe passe de 86m³/s à Langeac à 416m³/s à Lempdes. Les prévisions sont tout d'abord sous-estimées à Lempdes, puis surestimées du fait de l'application du filtre, trop entreprenant dans ce cas (une correction de l'ordre de 400 m³/s a été appliquée par le filtre). On constate le même problème pour les prévisions de la crue de novembre 2008, plus faible (débit de pointe à Lempdes 100 m³/s).

▀ Prévisions à Vic le Comte : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation depuis Vieille Brioude, Lempdes, Saint Floret et Salzuit. La station de Salzuit (210 km²) remplace la station de Paulhaguet (155 km²), initialement prise en compte lors du calage des modèles. Les prévisions pour la crue de novembre 2008 sont correctes, avec cependant une sous-estimation progressive de la pointe due à la mise en œuvre du filtre sur les erreurs. En effet, l'avance en début de montée entraîne une correction non pertinente sur les prévisions future. La surestimation à Vieille Brioude compense probablement la sous-estimation des apports intermédiaires.

Pour la crue de décembre 2003, les prévisions sont bonnes pour la première pointe et surestimées pour la 2^{ème} pointe, du fait de la surestimation forte des débits à Lempdes.

➤ Prévisions à Pont de Limons : Les prévisions sont réalisées avec le modèle principal : propagation de Vic le Comte et Côte Rouge, les apports intermédiaires étant représentés par les débits de la Morge à Côte Rouge.

Pour la crue de décembre 2003, la montée à Pont de Limons est bien reproduite, ainsi que la pointe quand la surestimation à Vic le Comte disparaît.

Pour la crue de novembre 2008, la montée de crue est également bien reproduite, par contre la pointe de crue est sous-estimée. Cette sous-estimation est due à la sous-estimation à Vic, mais elle est constatée également pour le cycle pour lequel la prévision est surestimée à Vic (02/11 4h), et pour le cycle pour lequel il n'y a pas d'incidence de la prévision à Vic puisque la pointe a déjà été observée à Vic (03/11 20h). Pour ce dernier cas, l'écart vient probablement d'une incohérence entre les courbes de tarage. Les prévisions brutes sont sous-estimées d'environ 25%, le filtre améliore la prévision, avec une sous-estimation finale qui reste modérée, de l'ordre de 10 à 15%.

▀ Prévisions à Giroux/Dore : les prévisions sont réalisées avec le modèle principal pluie-débit (modèle au délai 4h, modèle au délai 10h). Il semble y avoir un problème de raccordement des prévisions des deux modèles pour le délai 12h (cf graphes en annexe). Le comportement du bassin est complexe avec une composante lente et une composante rapide. Pour la crue de décembre 2003, les données temps réel sont insuffisantes pour faire des prévisions à Giroux. Pour la crue de novembre 2008, les prévisions pour les courts délais sont bonnes pour la première montée. Les prévisions au-delà du délai 4h ne sont pas satisfaisantes du fait de l'incidence de la composante rapide, mais la composante lente du modèle permet de représenter une part significative de l'hydrogramme jusqu'à un délai de 14h.

▀ Prévisions à Dorat : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation de Giroux/Dore et Giroux/Faye, un coefficient multiplicatif fonction de la pluie étant appliqué aux débits de Giroux/Faye pour représenter les apports intermédiaires. Pour la crue de novembre 2008, les prévisions sont sous-estimées en début de montée (du fait des prévisions insuffisantes à Giroux), et correctes dans la 2^{ème} partie de la crue (la pointe est prévue correctement avec un délai de 18h). Remarque : il n'y pas eu de réel calage lors de l'étude de 1992, la station ayant été créée en 1992.

▀ Prévisions à St Yorre : les prévisions ont été effectuées avec le modèle principal : propagation depuis Pont de Limons, Giroux/Dore et Giroux/Faye. Pour la crue de décembre 2003, les données de pluie insuffisantes en temps réel ne permettent pas une prévision de la première montée (extrapolation uniquement). Les cycles pour lesquels une surestimation est obtenue à Vic le Comte entraînent également une surestimation à St Yorre. Sinon, la pointe à St Yorre est correctement prévue. Pour la crue de novembre 2008, la montée est bien reproduite, avec une sous-estimation du débit de pointe, un peu atténuée par l'effet positif du filtre.

➤ Prévisions à Chatel de Neuvre : les prévisions ont été effectuées par le modèle principal : propagation depuis St Yorre et St Pourçain. Pour la crue de décembre 2003, on retrouve la même configuration qu'à St Yorre : surestimation lorsque surestimation à Vic le Comte, sinon, prévision correcte. Pour la crue de novembre 2008, la forme n'est pas tout à fait reproduite, et le filtre entraîne une petite surestimation de la 2^{ème} partie de la montée du fait de la sous-estimation en début de montée. La pointe est correctement reproduite. L'incidence des prévisions à St Pourçain est très faible. On note une avance de l'hydrogramme de crue dans la montée (de l'ordre de 4 à 6h pour des débits de 600 m³/s, et qui s'accroît pour les débits plus élevés) qui va ensuite se répercuter jusqu'au Veudre. Ce phénomène est moins marqué pour la crue de décembre 2003. La fonction de célérité en fonction du débit demanderait à être recalée sur le tronçon St Yorre-Chatel de Neuvre.

▀ Prévisions à Moulins : les prévisions ont été effectuées par le modèle principal : propagation depuis Chatel de Neuvre. Pour la crue de décembre 2008, l'hydrogramme se déforme de manière importante, cette déformation n'est pas correctement reproduite par le modèle, et l'on constate une surestimation de la pointe due à l'effet du filtre trop entreprenant dans ce cas. Pour la crue de décembre 2003, la pointe est correctement reproduite lorsqu'il n'y a plus de surestimation à Vic le Comte.

▀ Prévisions au Veudre : les prévisions sont effectuées par le modèle principal : propagation des débits à Moulins et modèle pluie-débit pour les apports intermédiaires. Pour la crue de décembre 2008, les prévisions sont bonnes dans la montée avec une pointe correctement prévue lorsqu'on surestime un peu les débits à Moulins. Sinon, le débit de pointe est sous-estimé au Veudre. Pour la crue de décembre

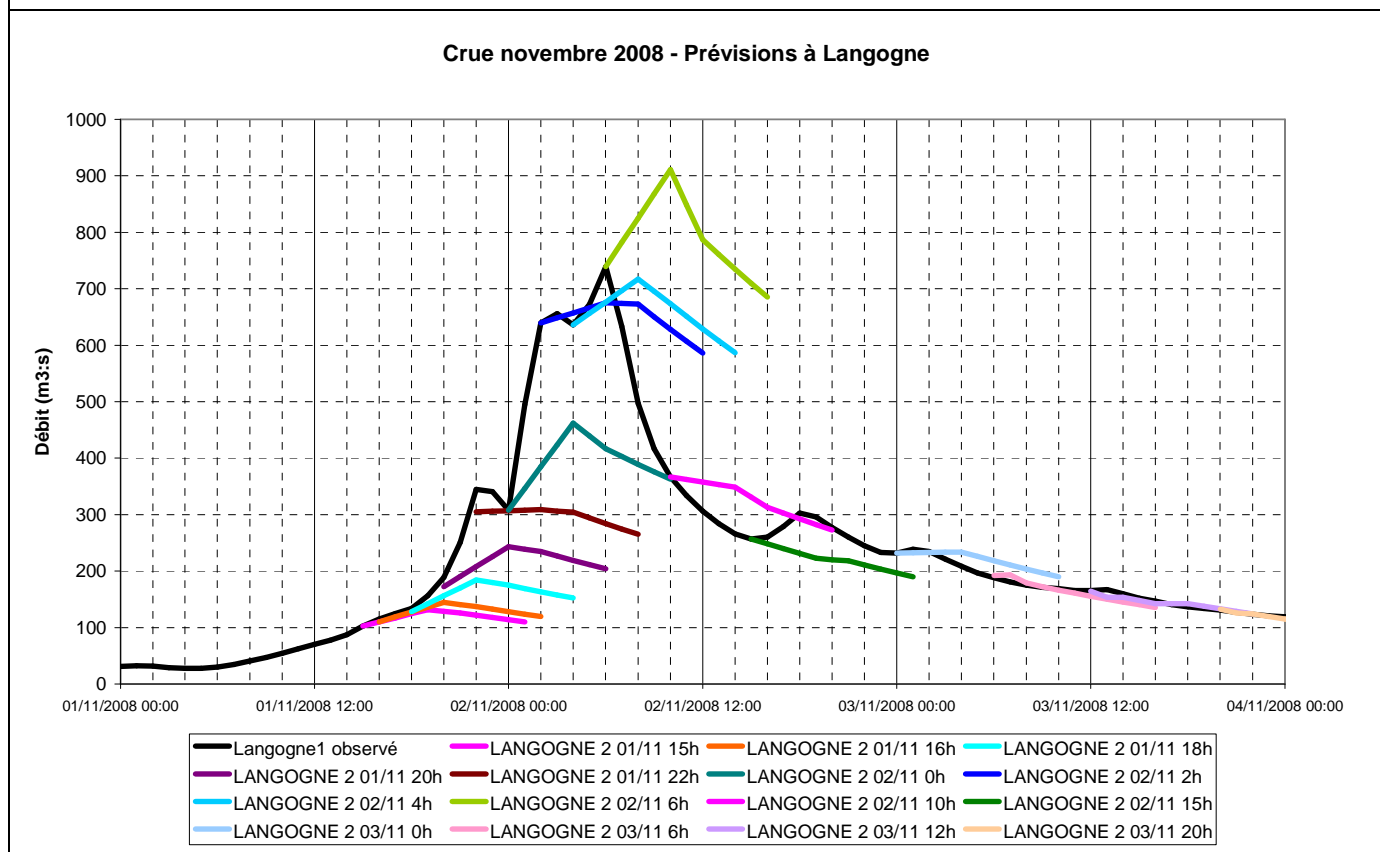
2003, on ne dispose d'observations que pour le début de la montée qui est correctement reproduite. La surestimation des débits pour certains cycles en amont se répercute jusqu'au Veurdre.

Remarques d'ensemble :

- ▶ Les modèles pluie-débit calés délai par délai ne permettent pas une prévision « continue », ce qui entraîne parfois des décalages lors du raccordement des prévisions faites pour différents délais. De plus, dans les parties amont, des modèles ont été établis pour des délais supérieurs aux temps de réponse, et ne sont pas performants notamment pour les plus fortes crues (décembre 2003, novembre 2008).
- ▶ Les erreurs de prévision se reportent de l'amont vers l'aval, et notamment les erreurs des modèles pluie-débit non pertinents se reportent en aval, et peuvent être amplifiées par l'application de coefficients pour représenter les apports (exemple : le modèle à 6h à Prades qui a tendance à surestimer les débits, entraîne une surestimation des prévisions à Vieille Brioude). De même, une erreur sur les prévisions à Lempdes (par exemple due à un traitement d'erreur trop entreprenant comme pour la crue de décembre 2003) se reporte à Vic le Comte avec un coefficient multiplicatif important (1.4).
- Les apports intermédiaires entre les stations principales de l'Allier sont souvent représentés par une station sur un affluent, dont les débits sont multipliés par un coefficient variable, dépendant souvent de la pluviométrie. Ces coefficients peuvent atteindre des valeurs élevées (par exemple jusqu'à 11 pour le coefficient multiplicatif des débits à Giroux/Faye) pour les prévisions à St Yorre. Ces coefficients peuvent varier de manière importante d'un pas de temps à l'autre, et d'un cycle à l'autre (selon la pluviométrie), et entraîner des variations des prévisions significatives (ex : crue de novembre 2008 – cycles 03/11 20h et 04/11/6h).
- ▶ Les traitements d'erreur sont parfois contre-performants, quand l'erreur ne provient pas d'une sous-estimation ou surestimation des apports mais d'un décalage temporel. En effet, dans ce cas, il peut se produire une inversion des écarts en phase de montée, le traitement d'erreur basé sur les erreurs passées accroîtra alors les erreurs au lieu de les réduire. En temps réel, l'outil propose par défaut de prendre en compte les prévisions filtrées et ne permet pas de prendre en compte facilement les prévisions non corrigées (sauf saisie manuelle fastidieuse). C'est une fonctionnalité qui devrait être intégrée dans l'outil.
- Les modèles de secours prévus dans la version initiale de l'outil ne semblent pas toujours être pris correctement en compte dans le nouvel outil, et cela peut être pénalisant pour les prévisions :
 - par exemple, les prévisions à Saint Yorre ne sont souvent pas calculées du fait de défaillances des données pluvios sur le bassin de la Dore, alors que le modèle de secours à partir de Dorat pourrait être utilisé.,
 - de même, le calcul des lames d'eau est parfois stoppé alors qu'il existe des données à certains postes pluvios du bassin versant et que les postes manquants ne sont pas déclarés « indispensables » (exemple pour la lame d'eau Dore pour la crue de décembre 2003). Une vérification du fonctionnement de l'outil pour les modes de secours serait utile.

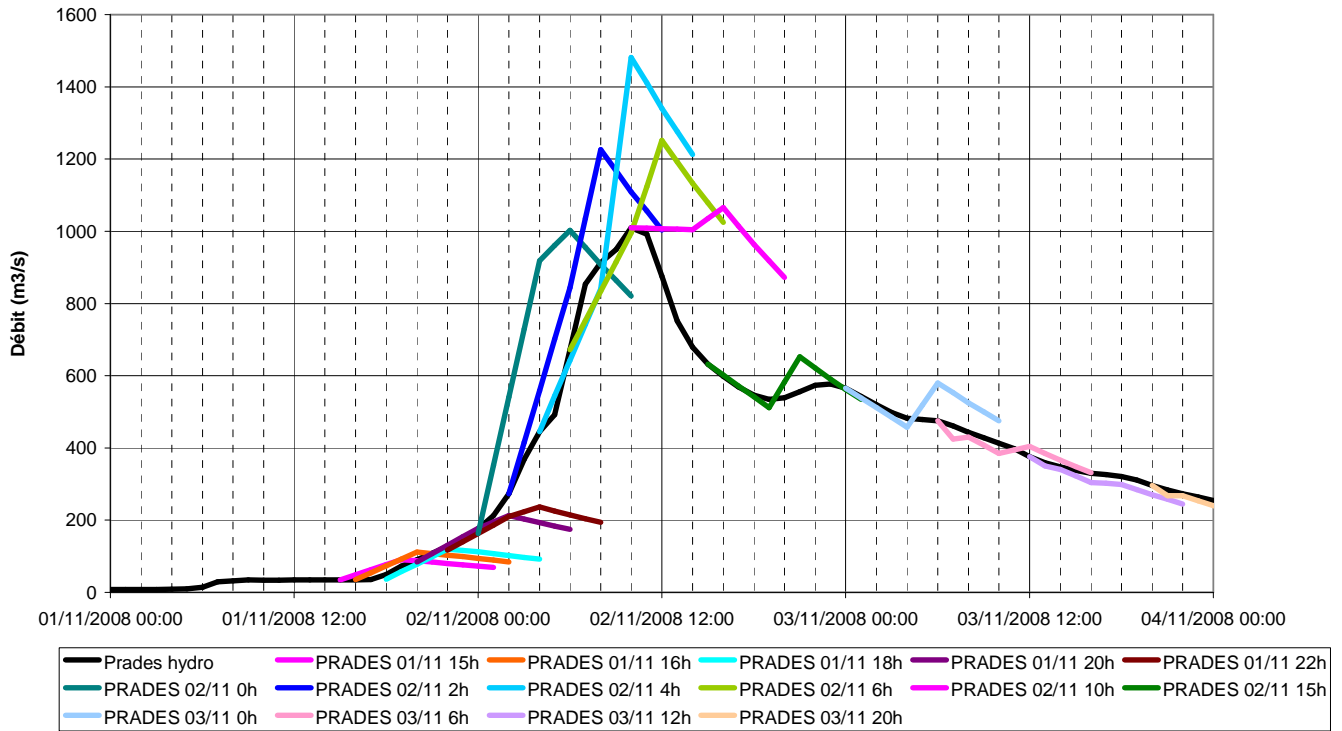
4 COURBES DE PREVISION OBTENUES AUX DIFFERENTS POINTS DE PREVISION AVEC LE REJEU DES CRUES DE NOVEMBRE 2008

PREVISIONS POUR LA CRUE DE NOVEMBRE 2008 – Données banque Hydro utilisées pour les débits

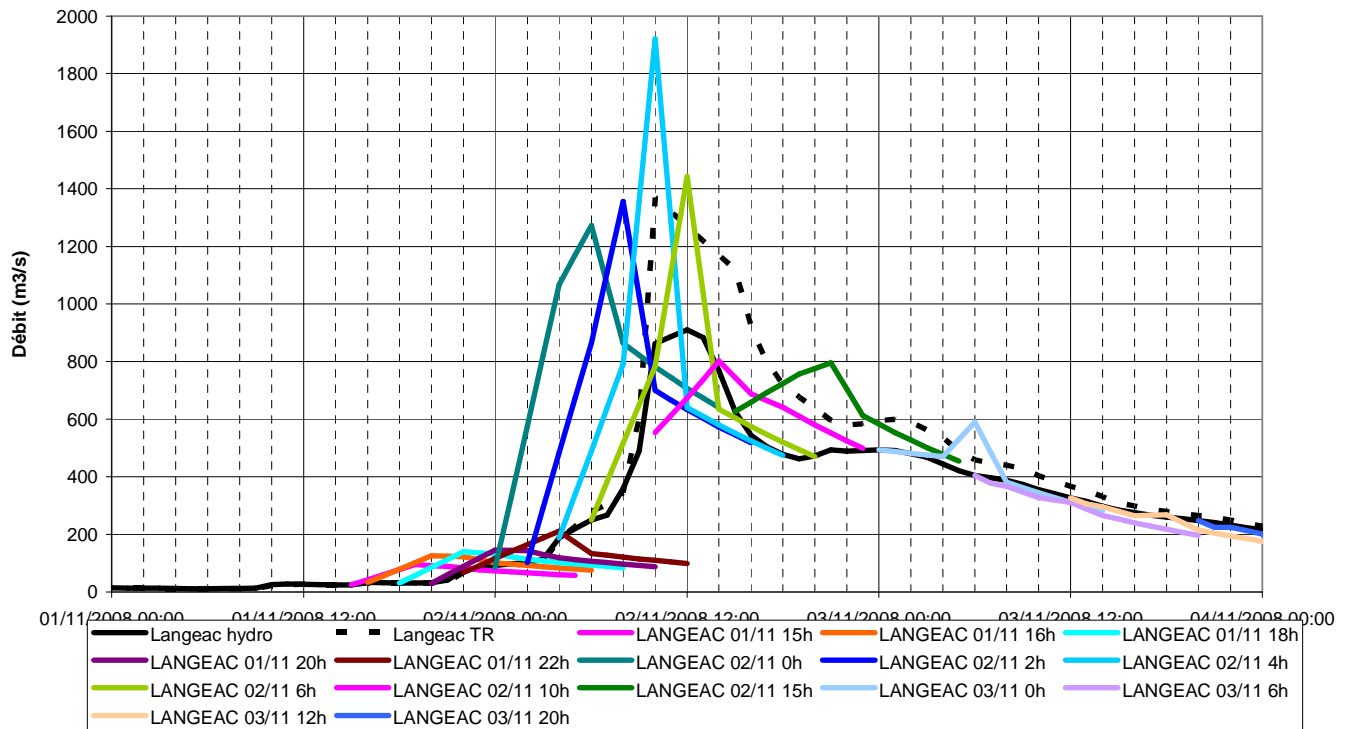


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejou des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue novembre 2008 - Prévisions à Prades

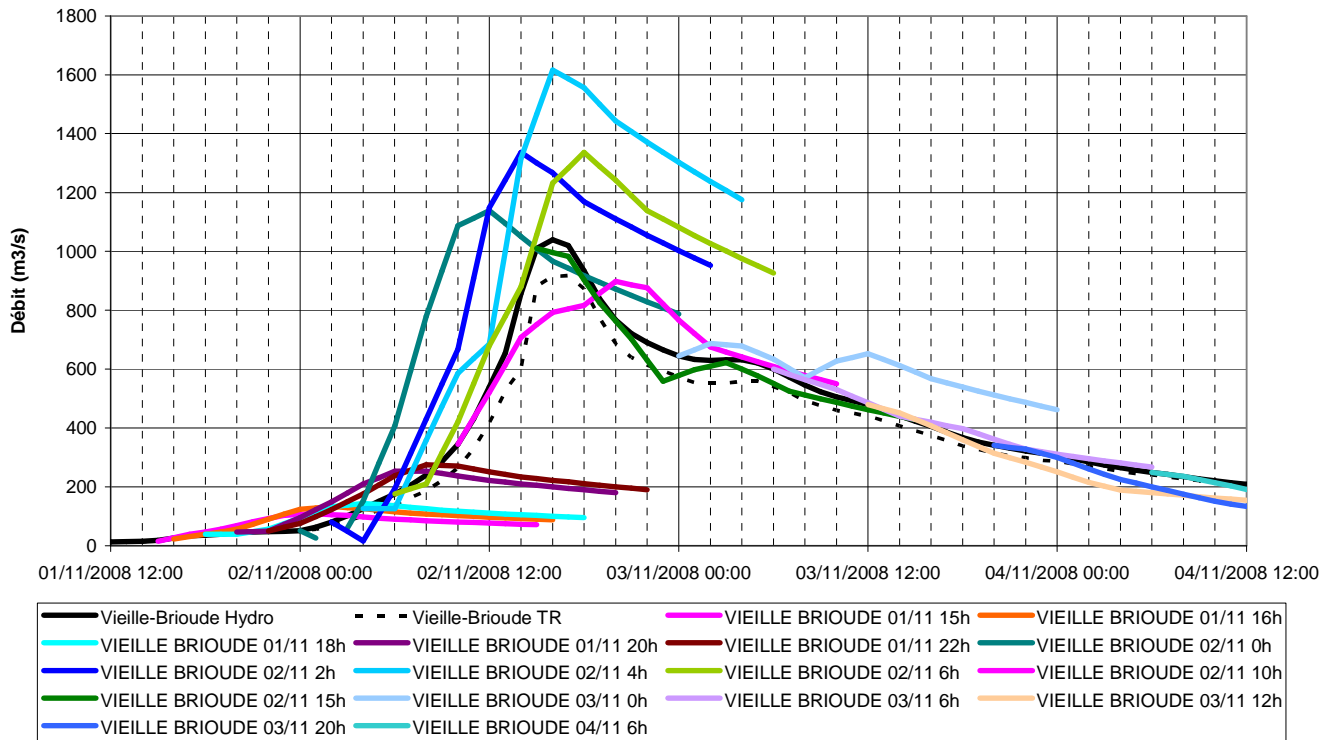


Crue novembre 2008 - Prévisions à Langeac

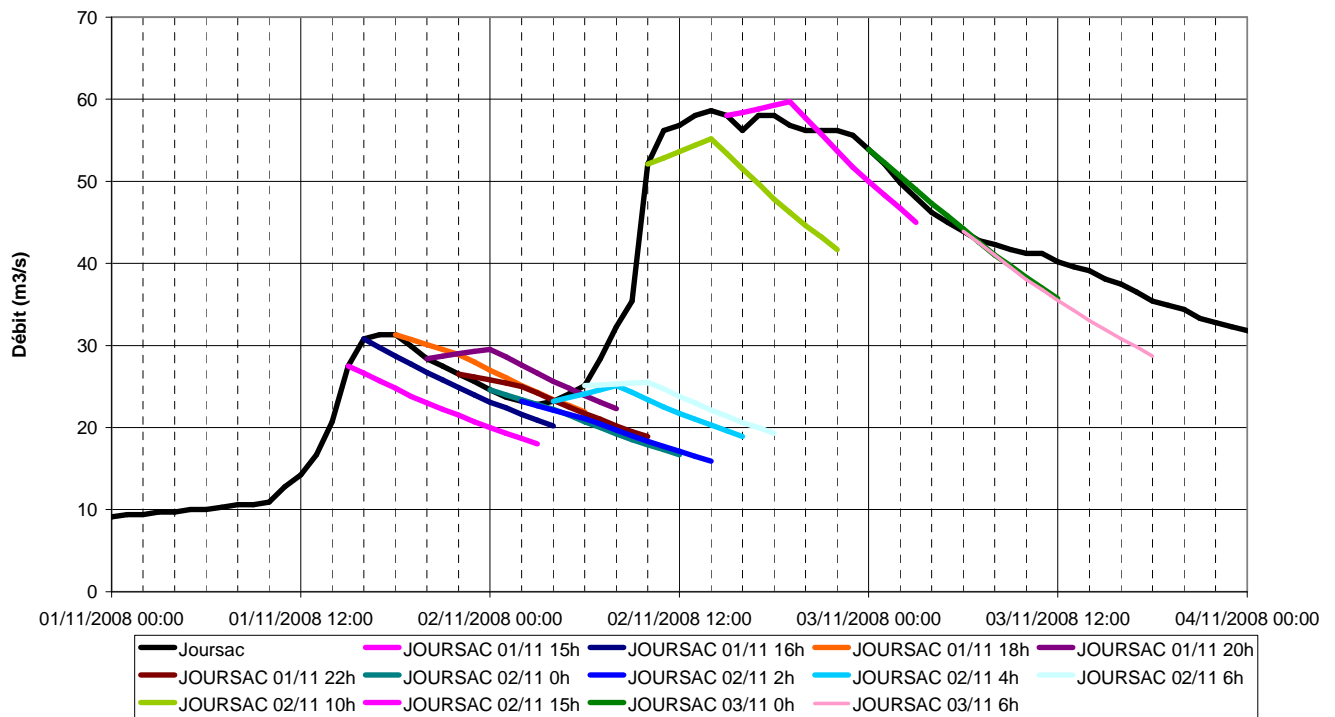


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue novembre 2008 - Prévisions à Vieille Brioude

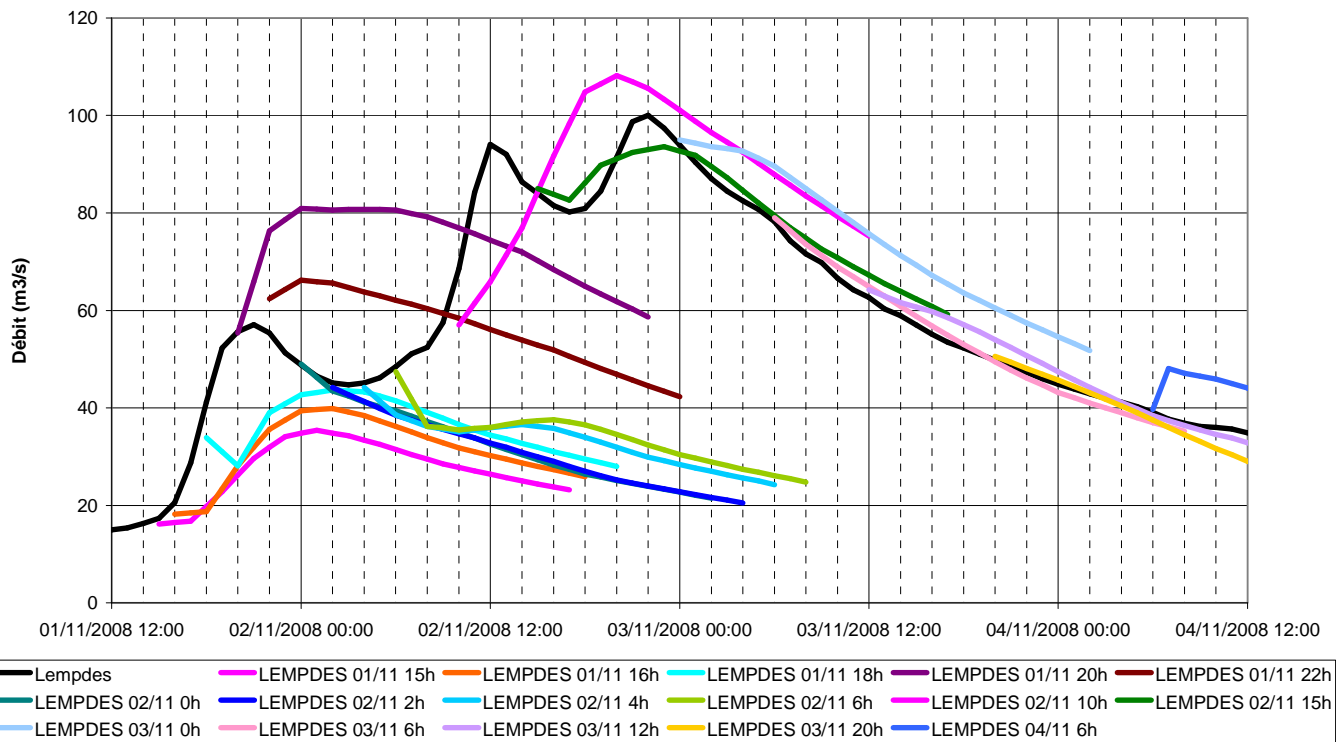


Crue novembre 2008 - Prévisions à Joursac

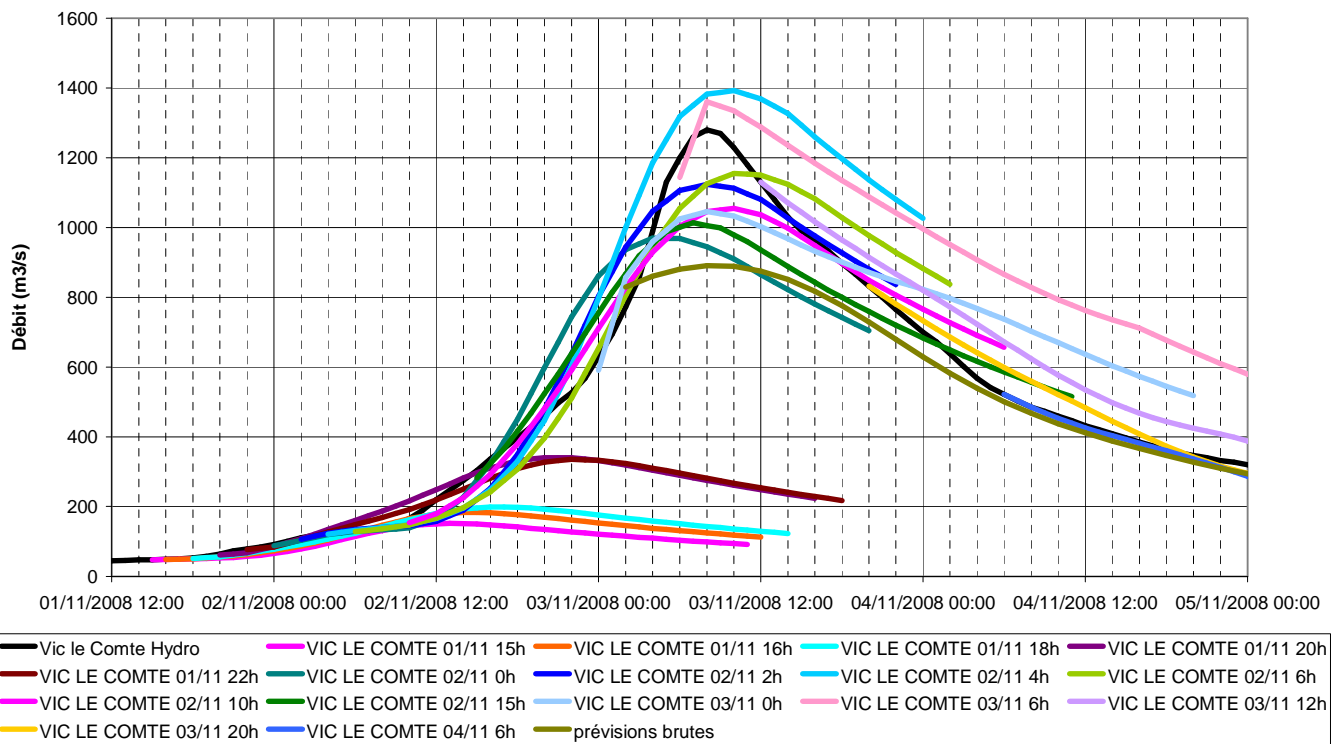


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue novembre 2008 - Prévisions à Lempdes

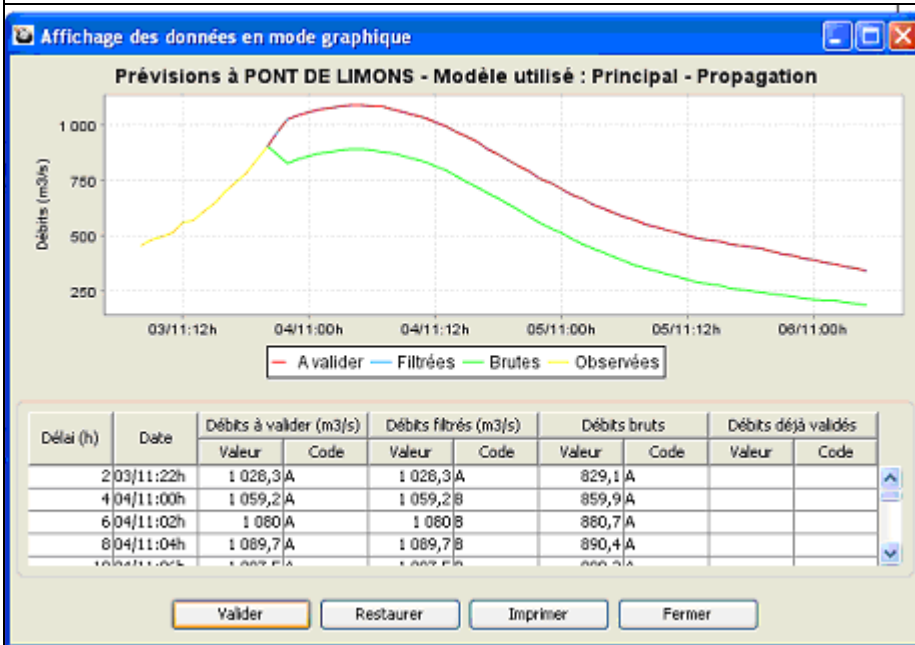
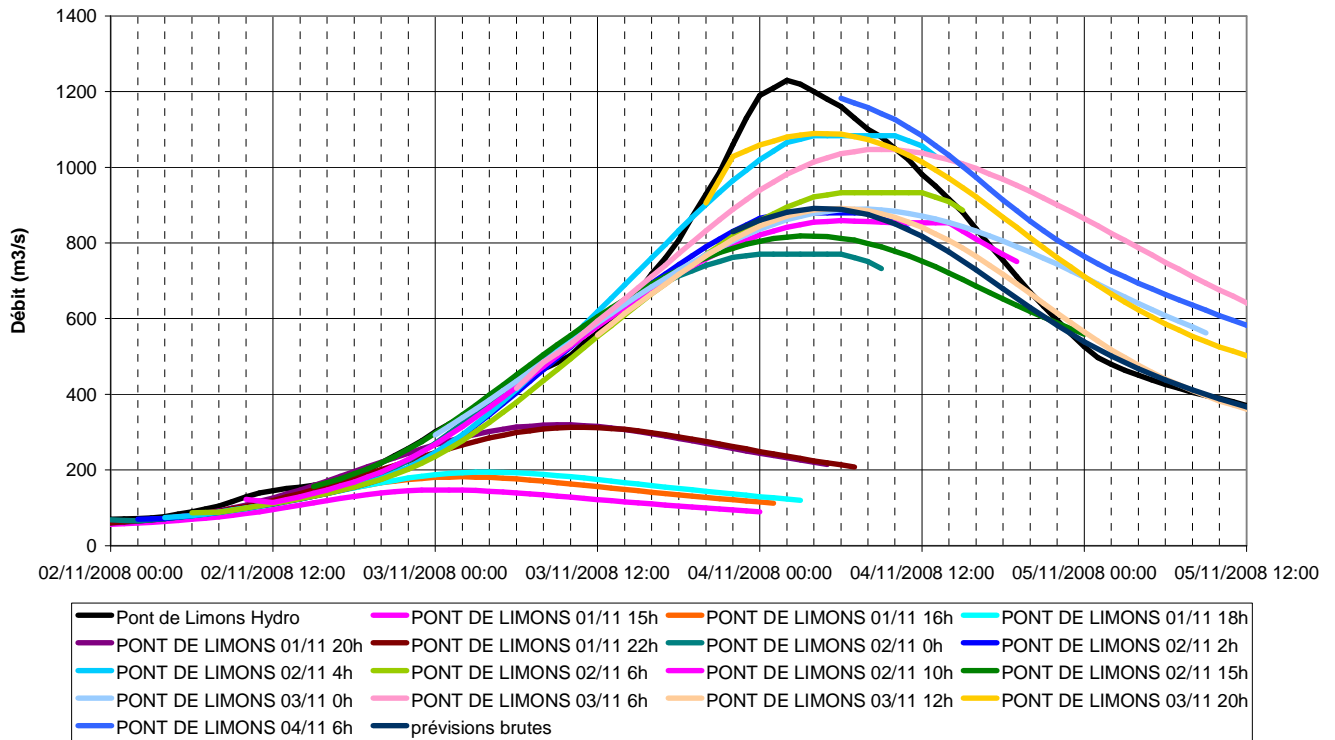


Crue novembre 2008 - Prévisions à Vic le Comte



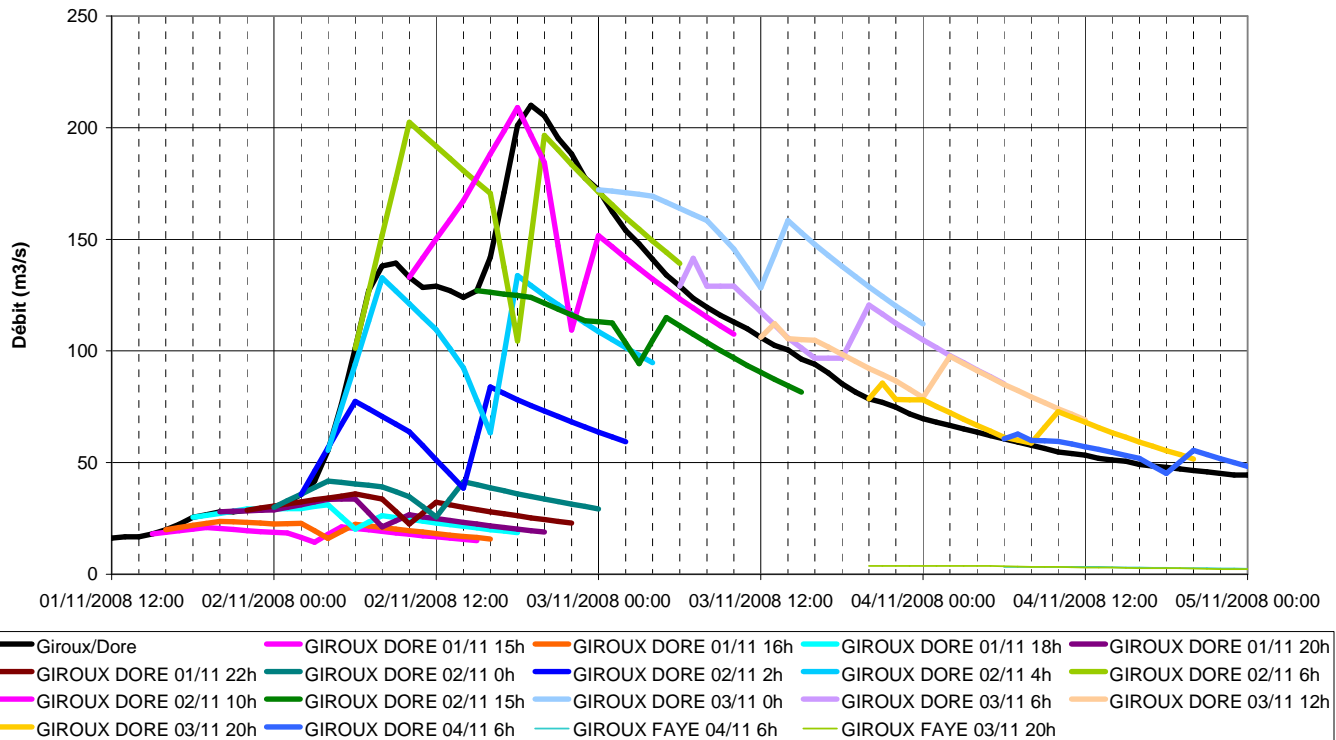
Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER

Crue novembre 2008 - Prévisions à Pont de Limons

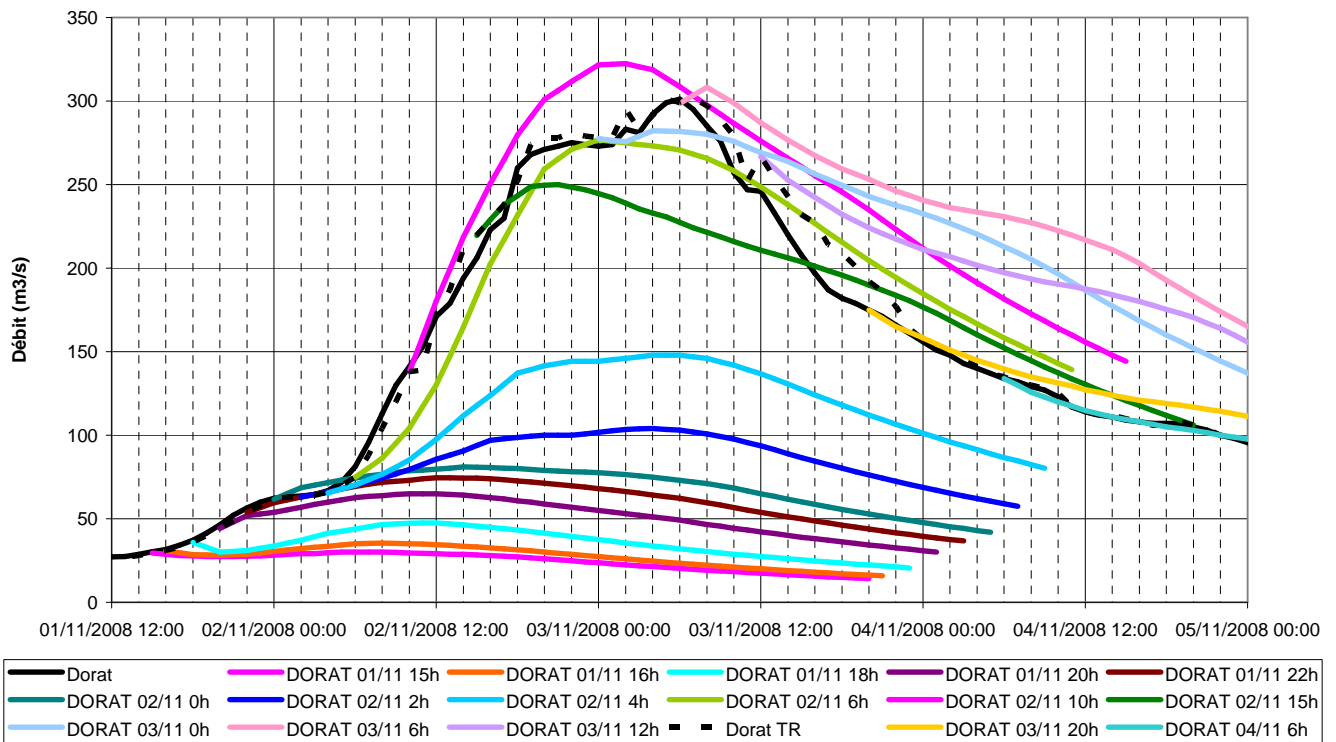


exemple de calcul de prévision à Pont de Limons : affichage des prévisions brutes (en vert) et des prévisions filtrées (en rouge)

Crue novembre 2008 - Prévisions à Giroux/Dore

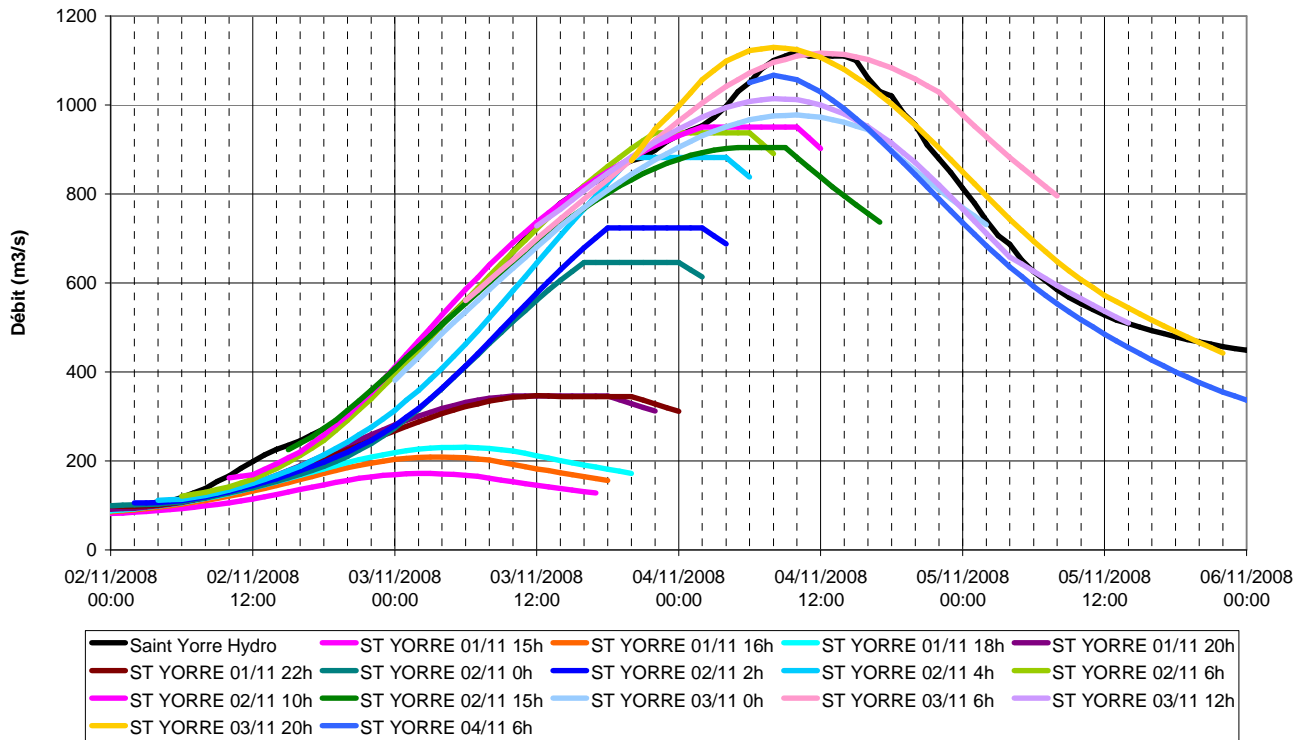


Crue novembre 2008 - Prévisions à Dorat

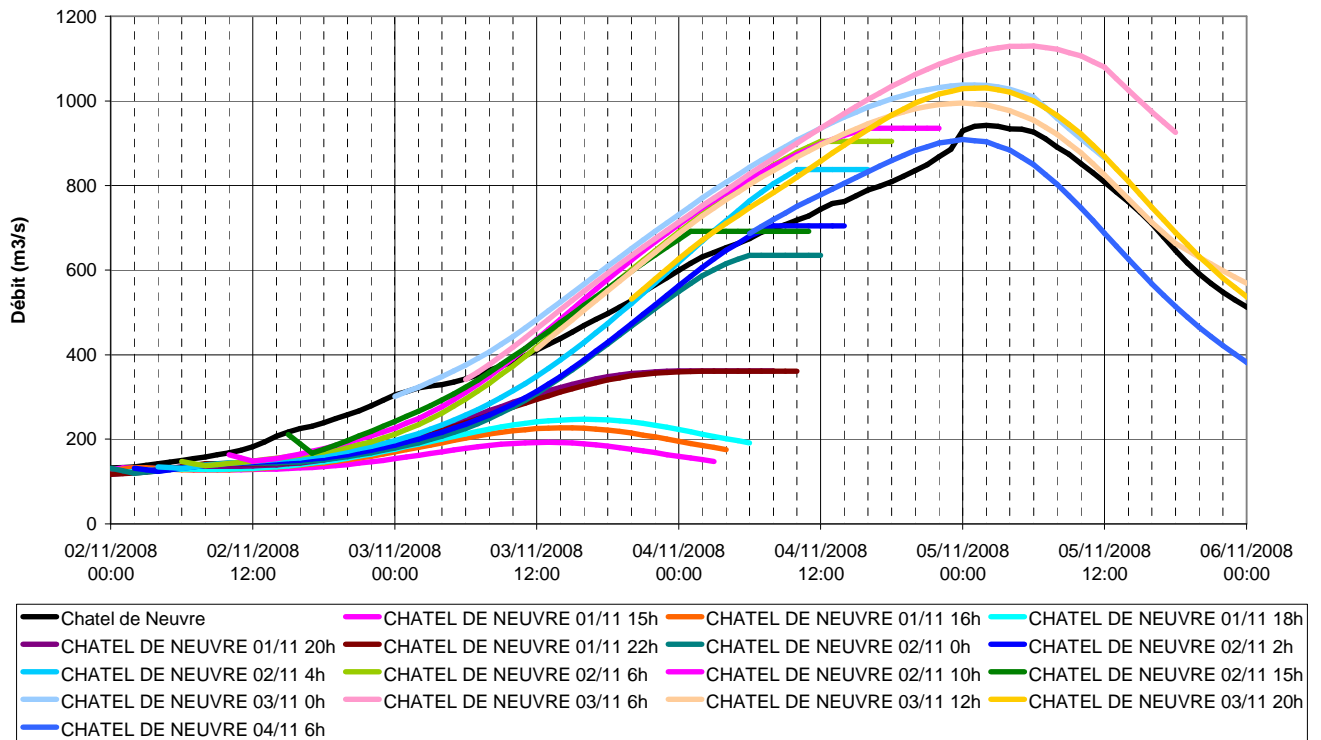


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue novembre 2008 - Prévisions à St Yorre

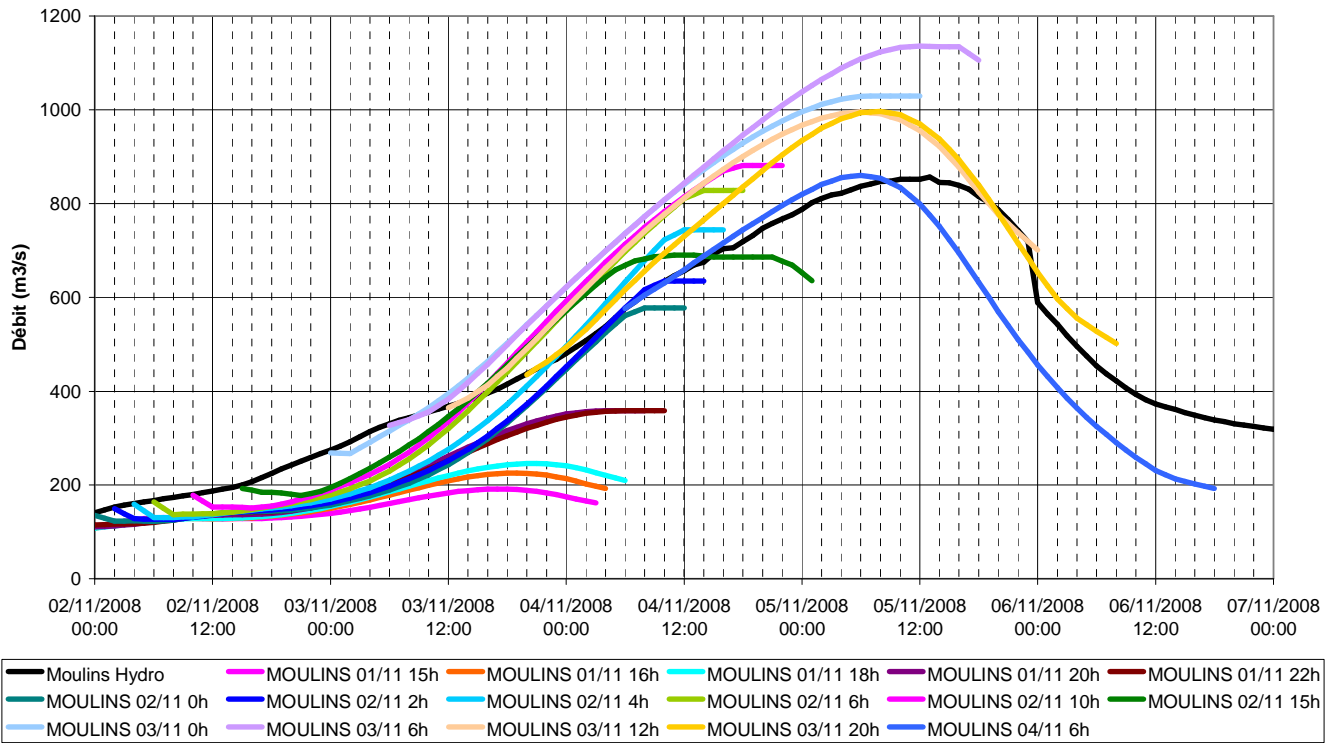


Crue novembre 2008 - Prévisions à Chatel de Neuvre

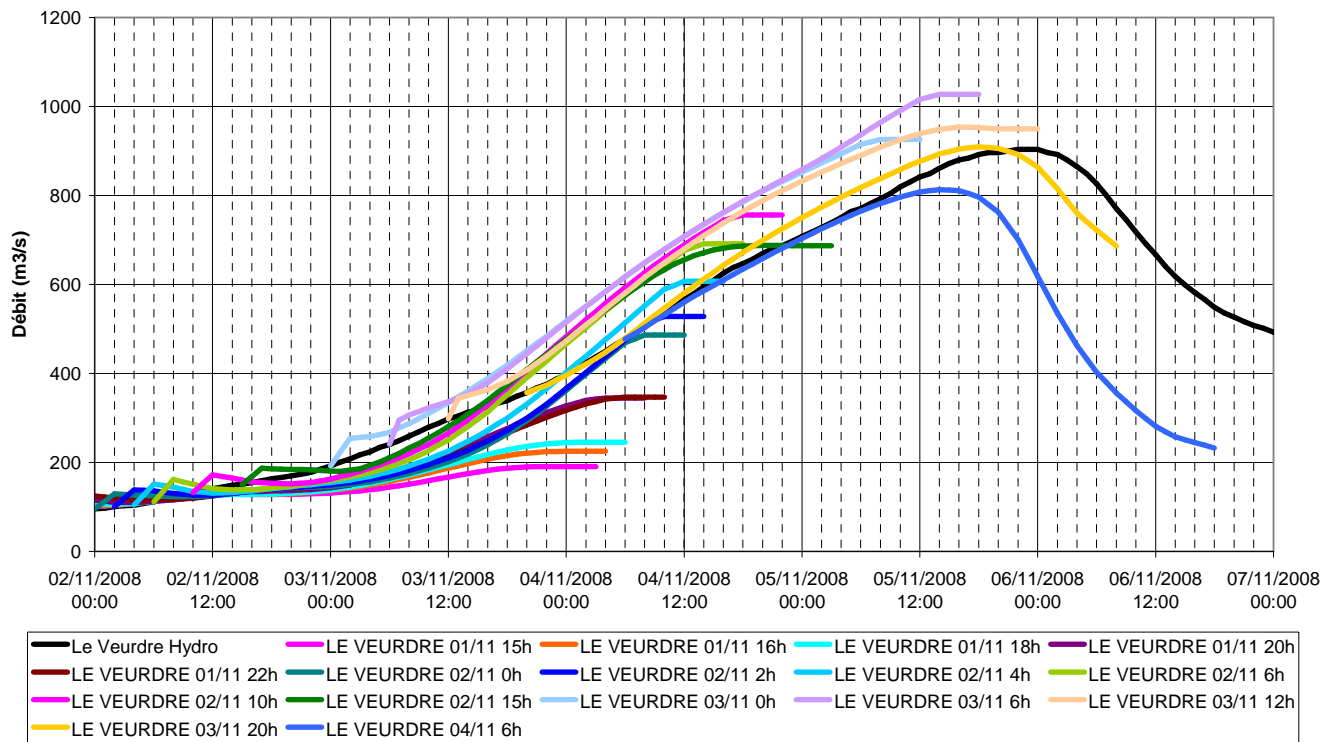


Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues – Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER

Crue novembre 2008 - Prévisions à Moulines



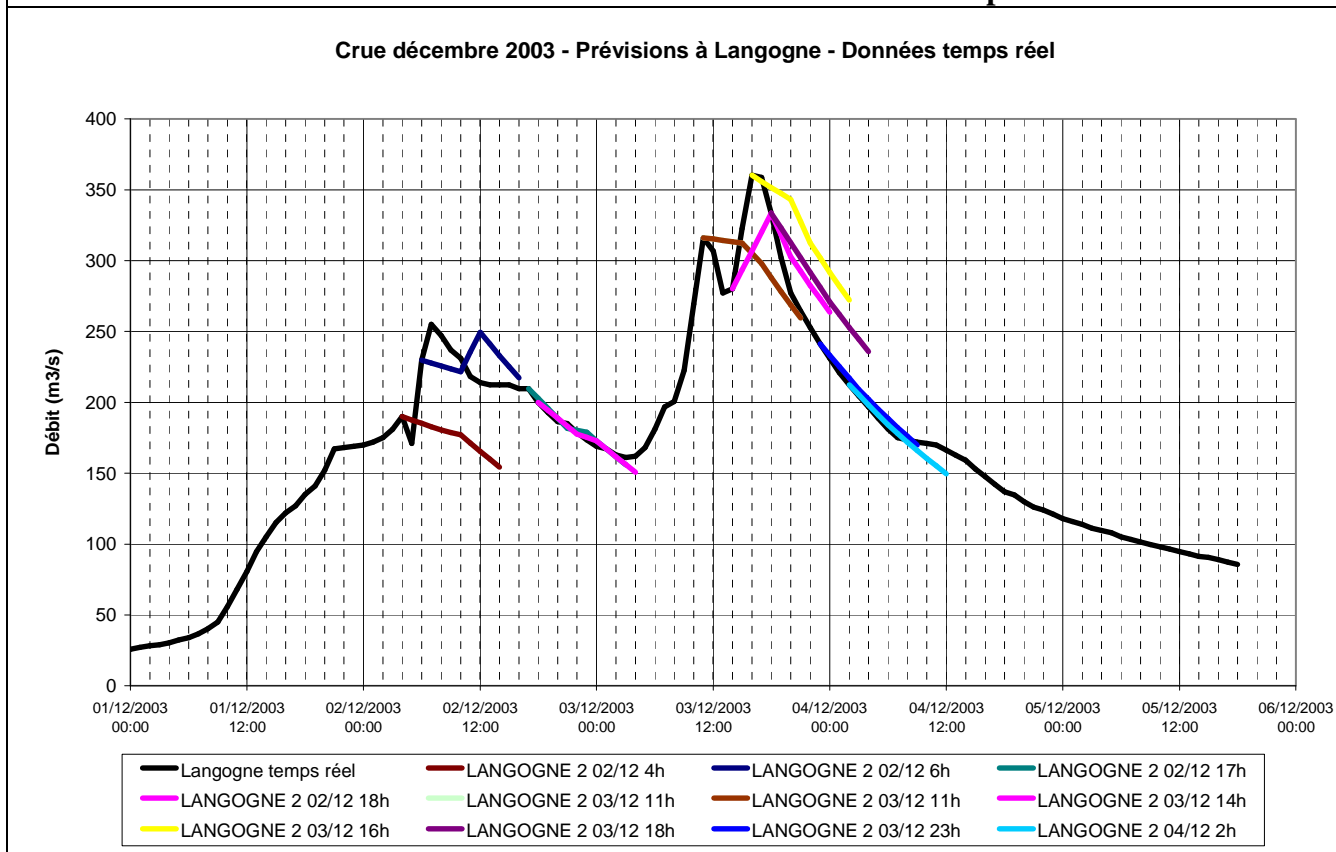
Crue novembre 2008 - Prévisions au Veurdre



*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

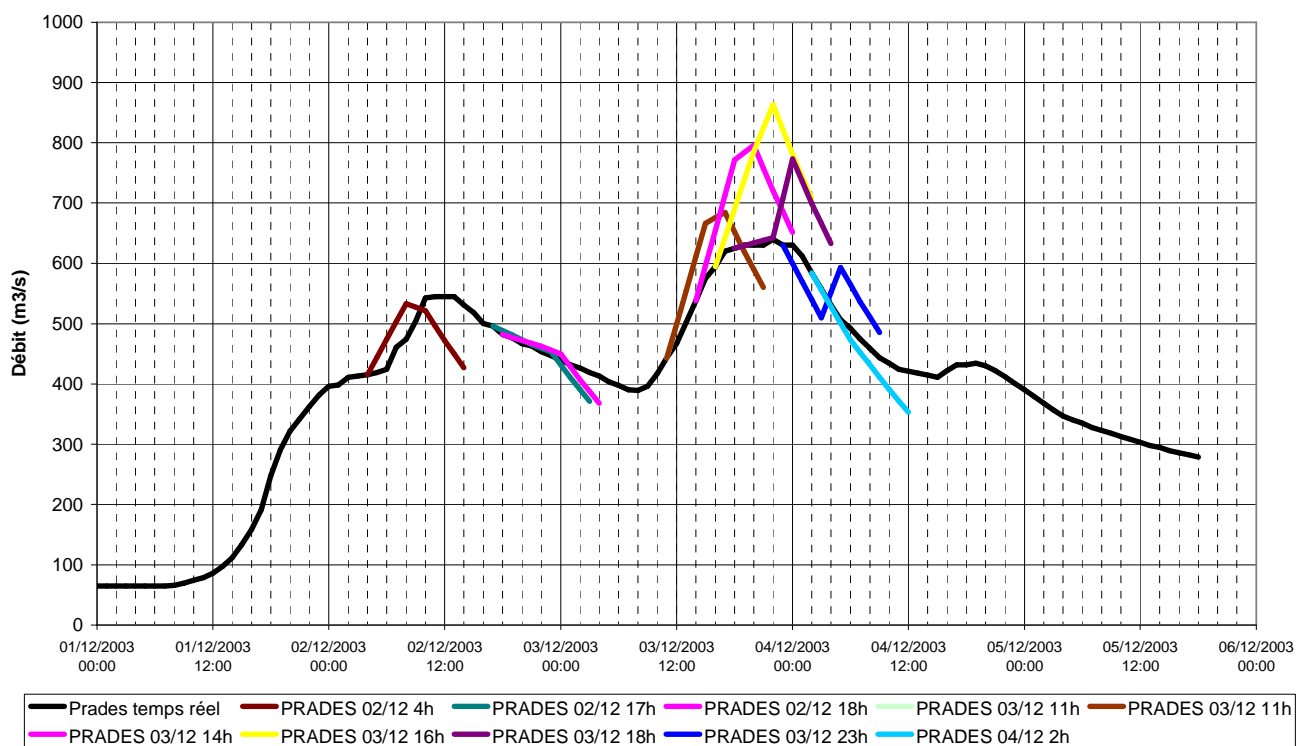
5 COURBES DE PREVISION OBTENUES AUX DIFFERENTS POINTS DE PREVISION AVEC LE REJEU DES CRUES DE DECEMBRE 2003

PREVISIONS POUR LA CRUE DE DECEMBRE 2003 – Données temps réel utilisées

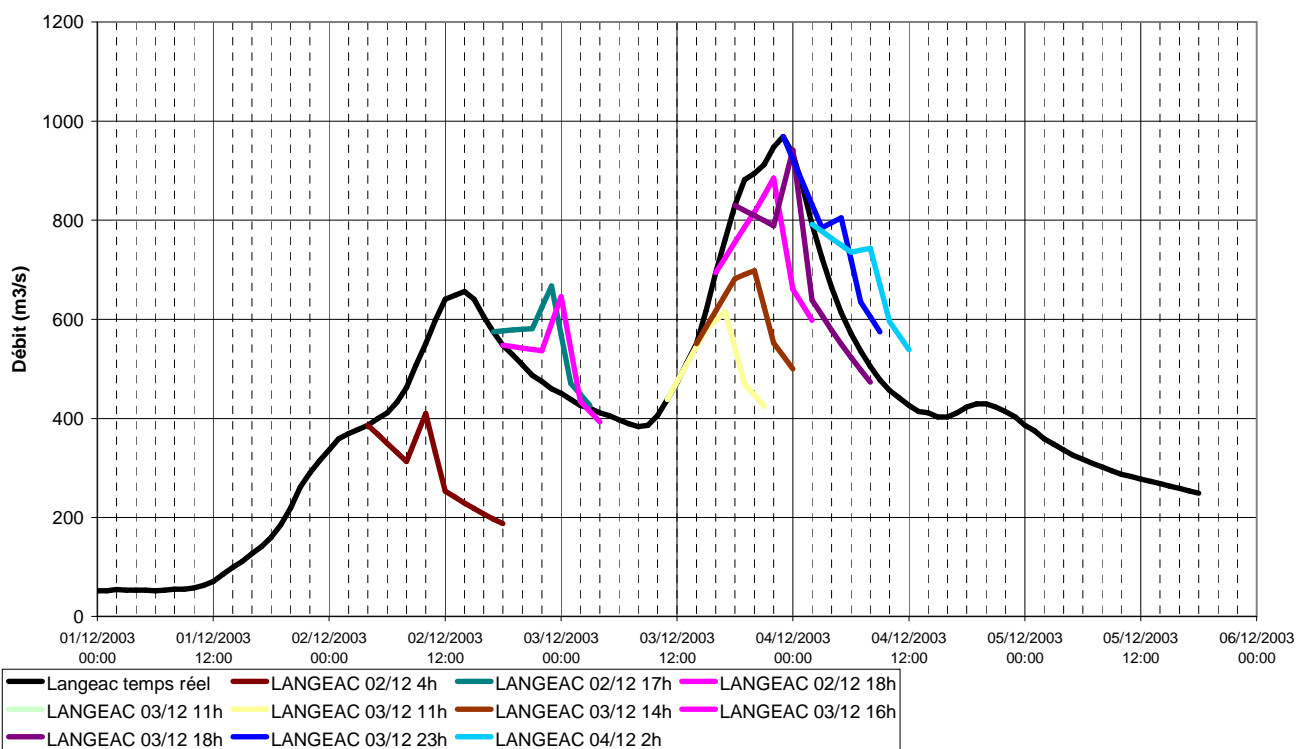


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejou des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue décembre 2003 - Prévisions à Prades

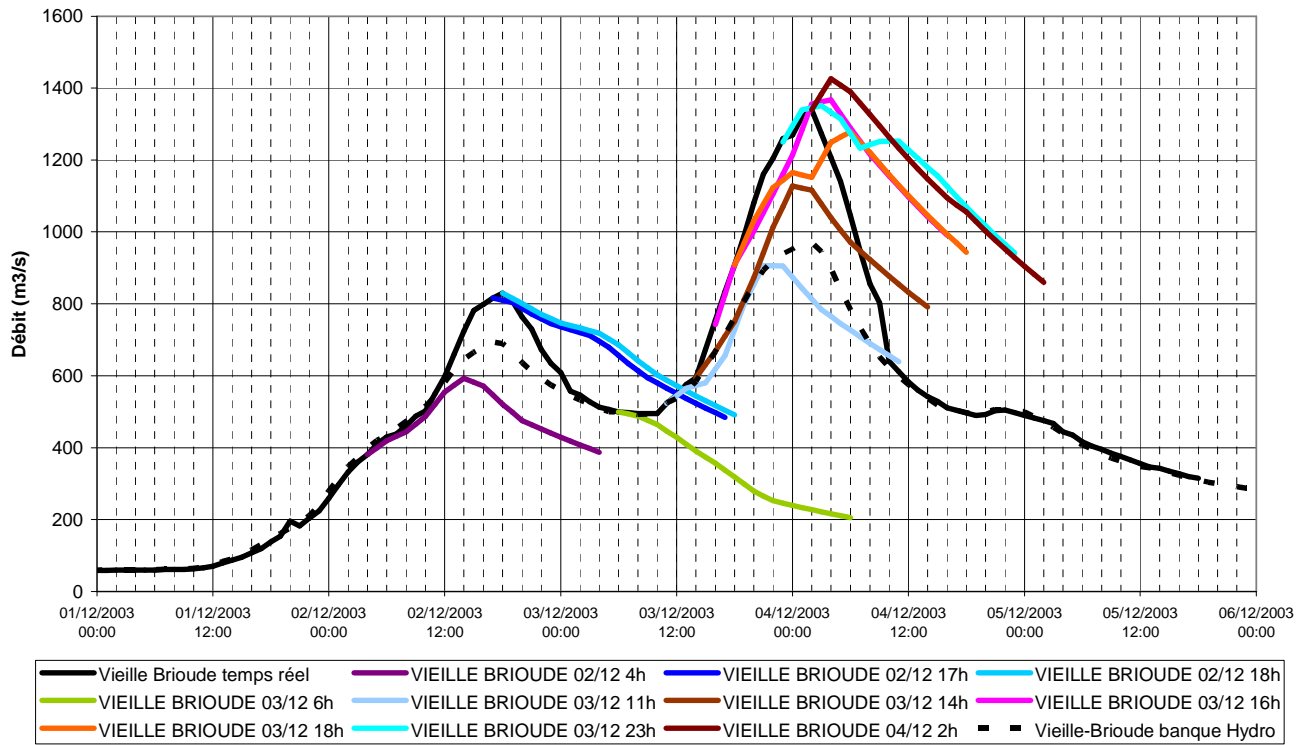


Crue décembre 2003 - Prévisions à Langeac

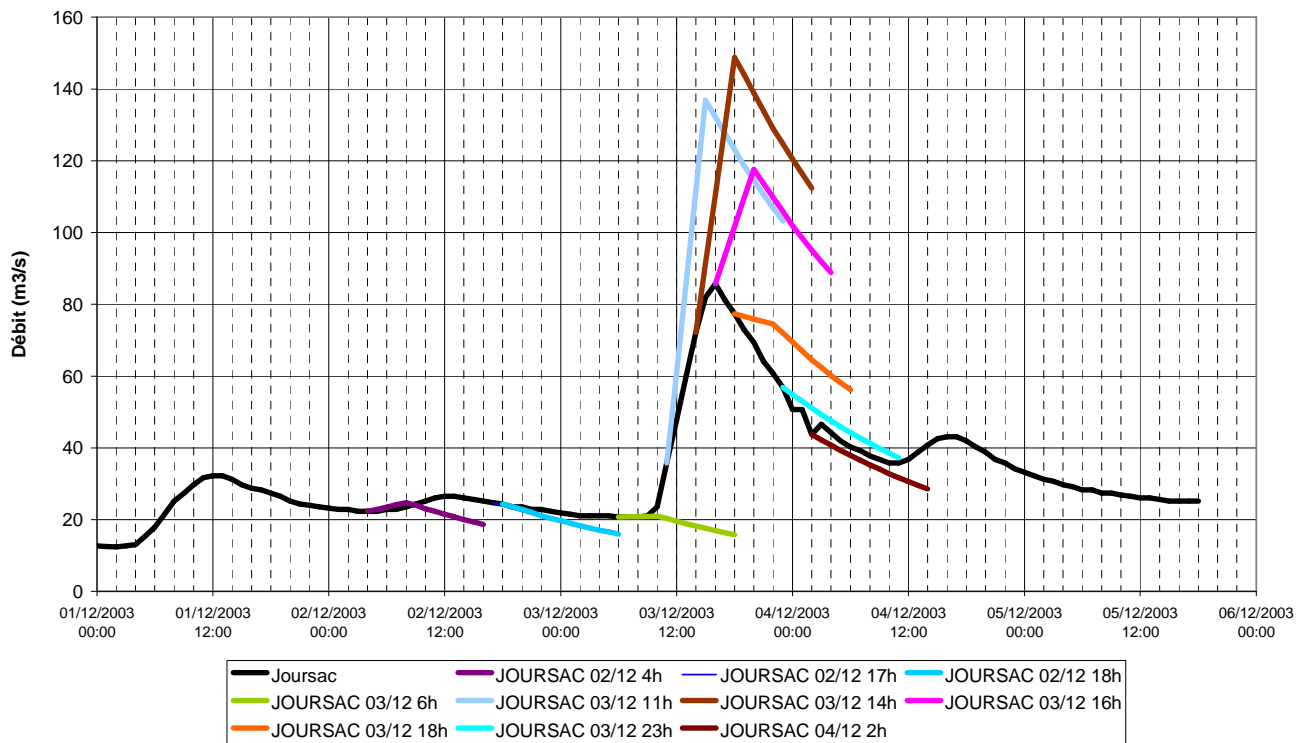


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue décembre 2003 - Prévisions à Vieille Brioude - Données temps réel

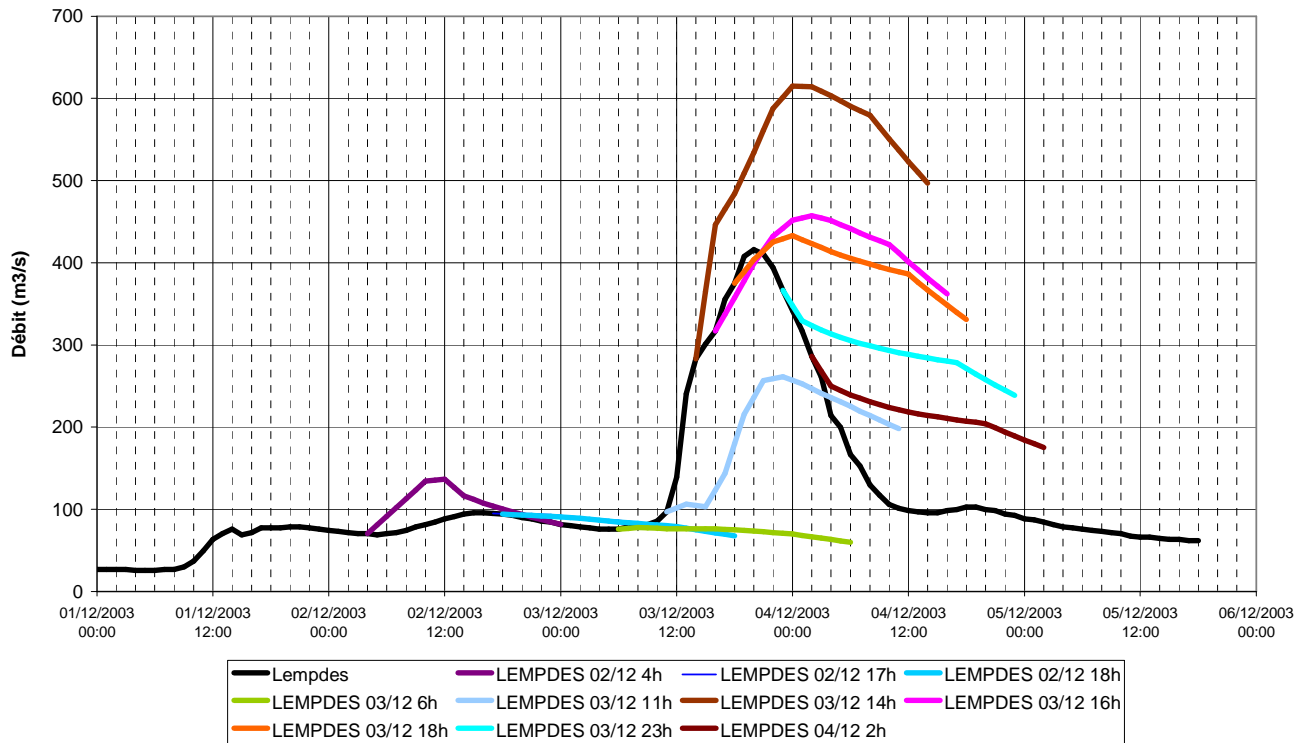


Crue décembre 2003 - Prévisions à Joursac - Données temps réel



Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER

Crue décembre 2003 - Prévisions à Lempdes - Données temps réel



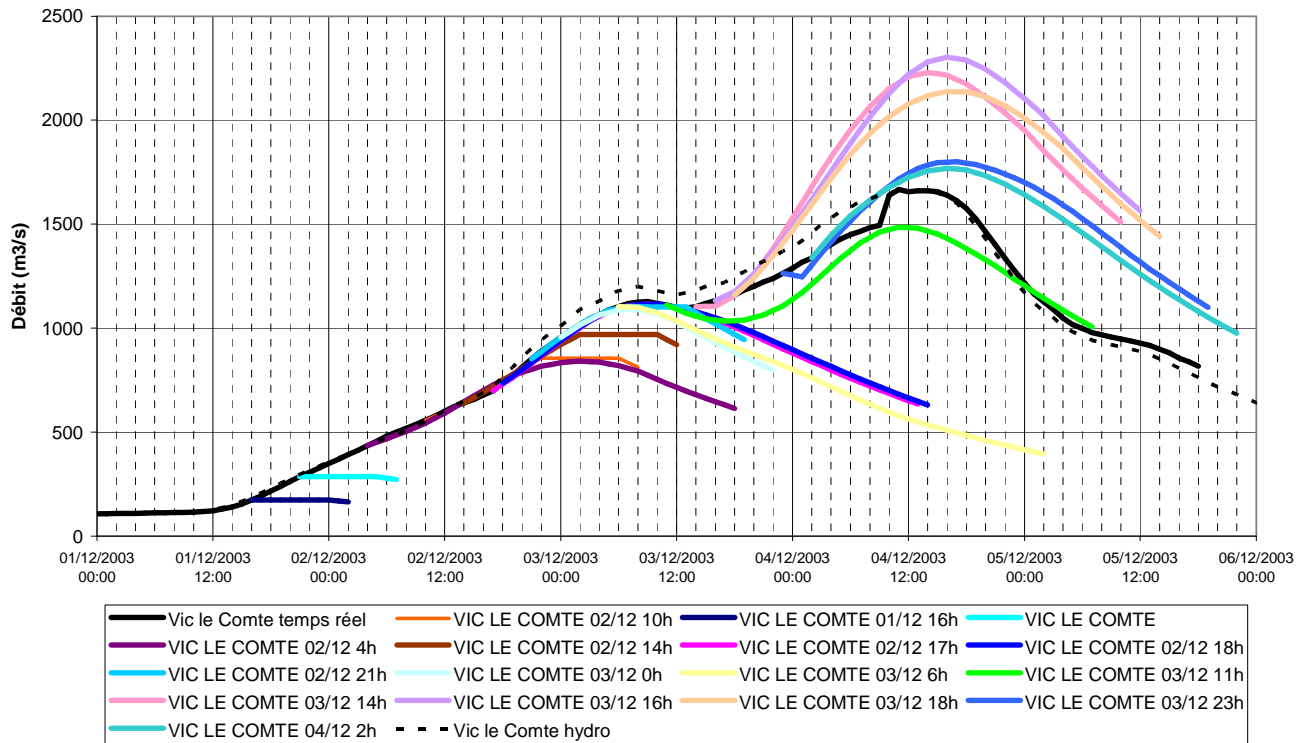
Affichage des données en mode graphique

Prévisions à LEMPDES - Modèle utilisé : Principal - Propagation avec coef pluie

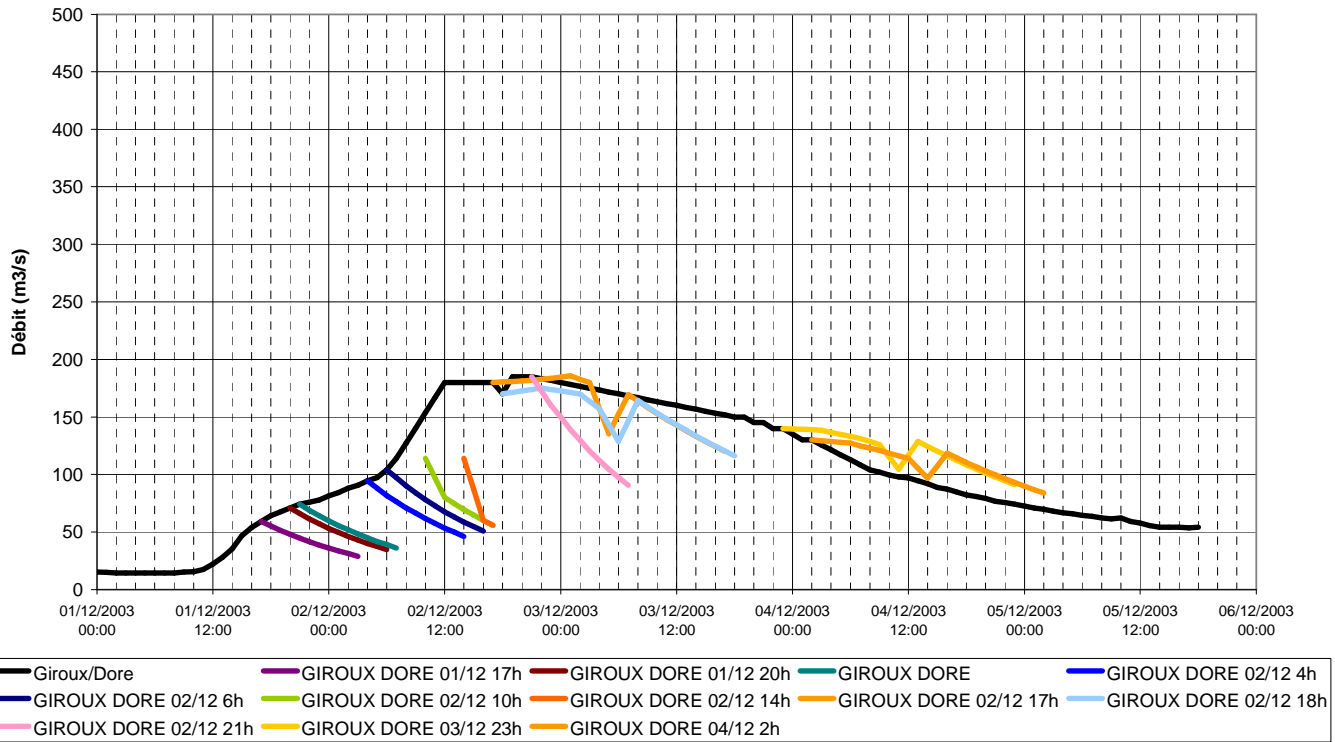
Délai (h)	Date	Débits à valider (m³/s)		Débits filtrés (m³/s)		Débits bruts		Débits déjà validés	
		Valeur	Code	Valeur	Code	Valeur	Code	Valeur	Code
2	03/12:16h	446,3	A	446,3	A	36,2	A		
4	03/12:18h	484	A	484	B	73,9	A		
6	03/12:20h	533,9	A	533,9	B	123,8	A		
8	03/12:22h	587,9	A	587,9	B	177,8	A		
10	03/12:00h	614,0	A	614,0	B	231,7	A		

incidence du filtre sur les prévisions à Lempdes : en vert, prévisions brutes, en rouge : prévisions corrigées (exemple de filtre trop entreprenant, cette correction surestime fortement les débits, et cette erreur se retrouve jusqu'au Veudre

Crue décembre 2003 - Prévisions à Vic le Comte - Données temps réel

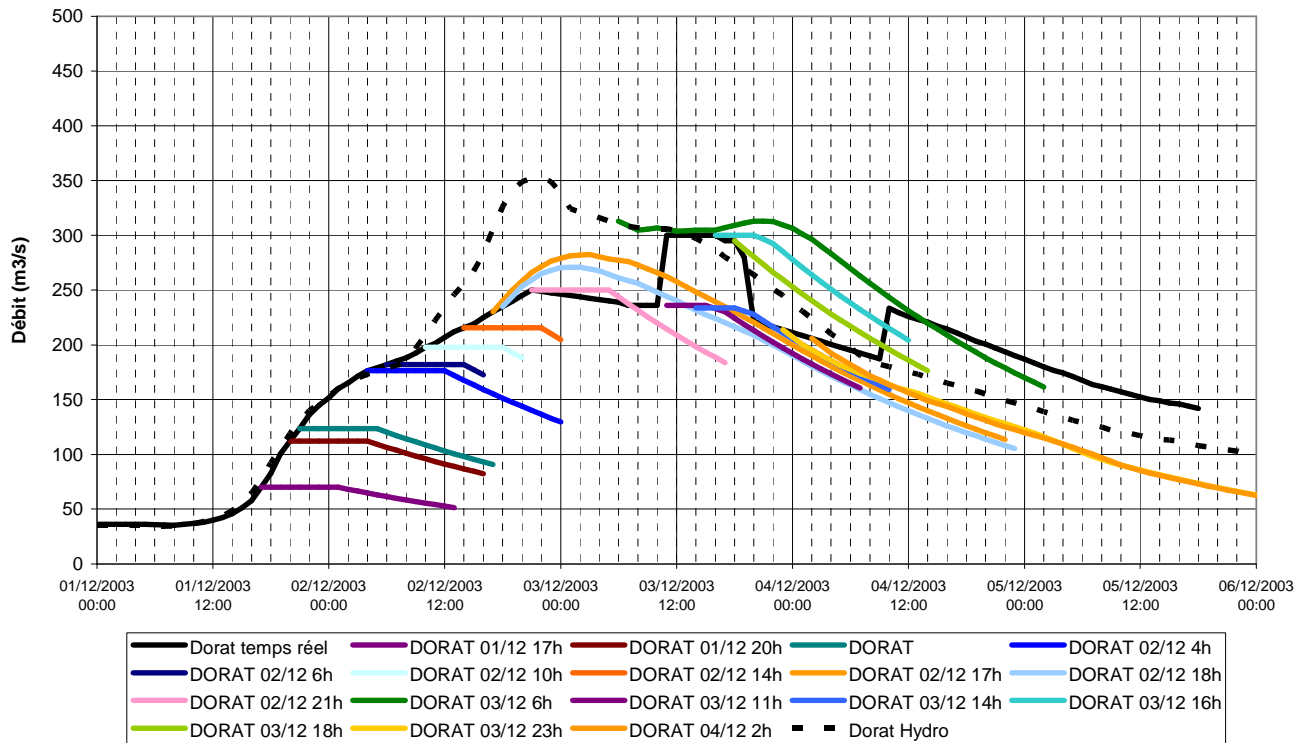


Crue décembre 2003 - Prévisions à Giroux/Dore - Données temps réel

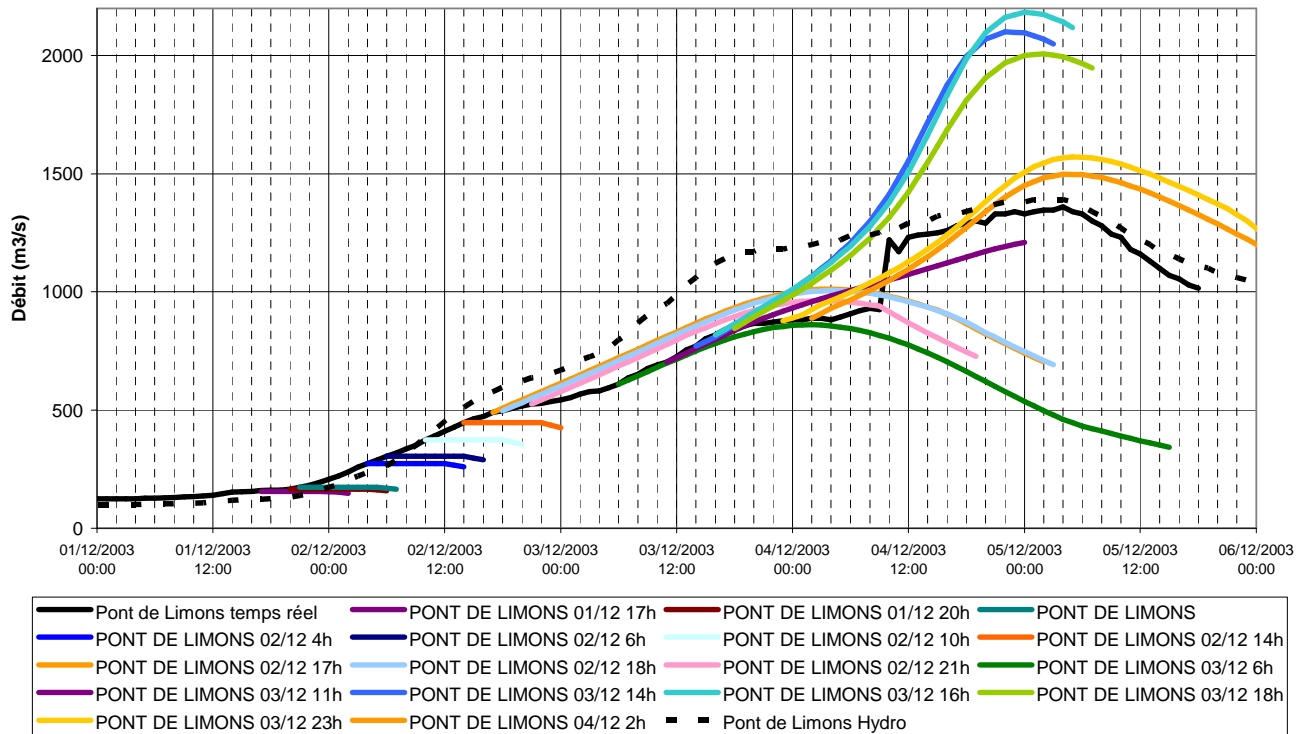


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue décembre 2003 - Prévisions à Dorat - Données temps réel

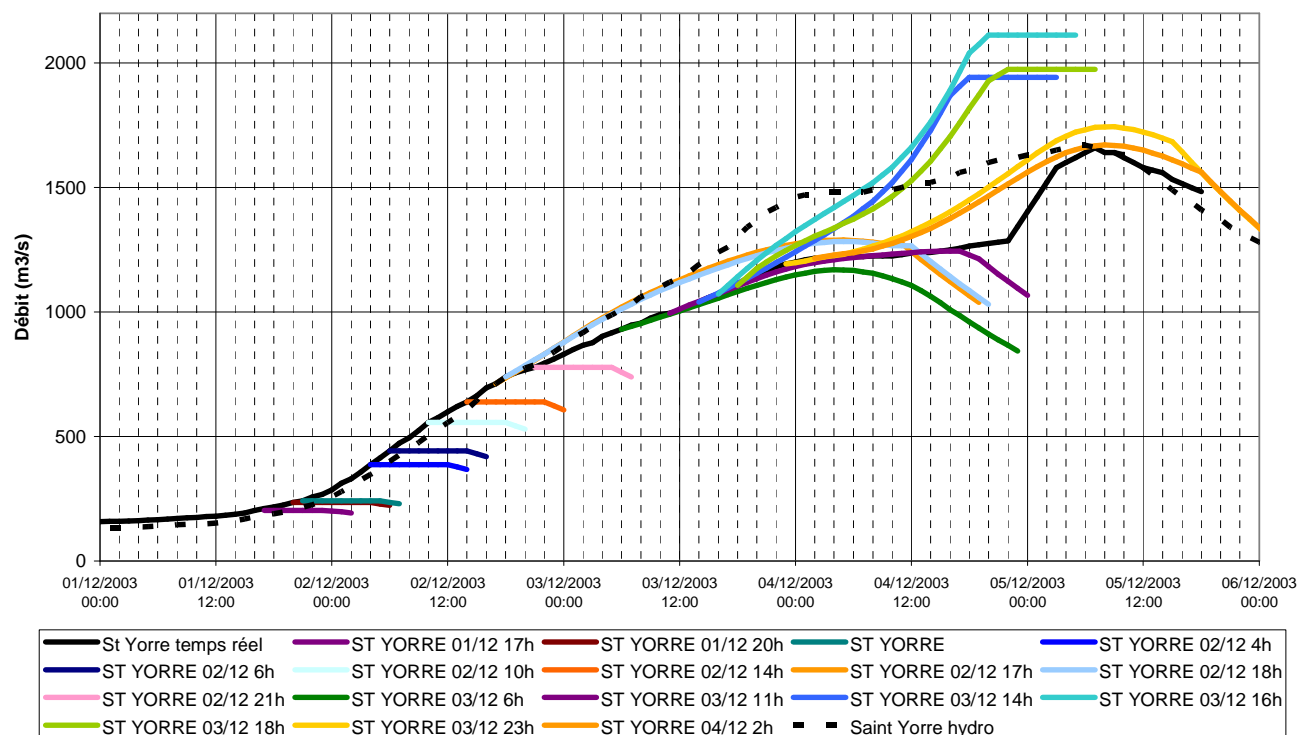


Crue décembre 2003 - Prévisions à Pont de Limons - Données temps réel

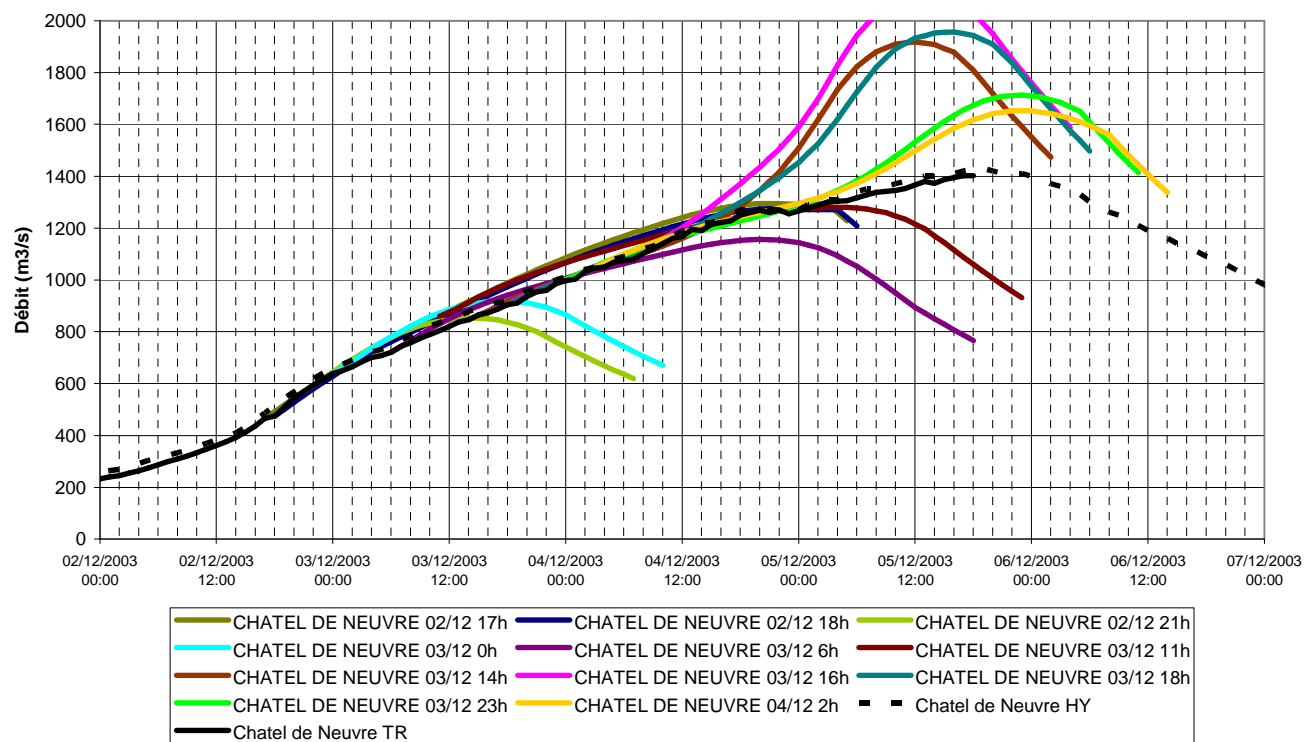


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue décembre 2003 - Prévisions à St Yorre - Données temps réel

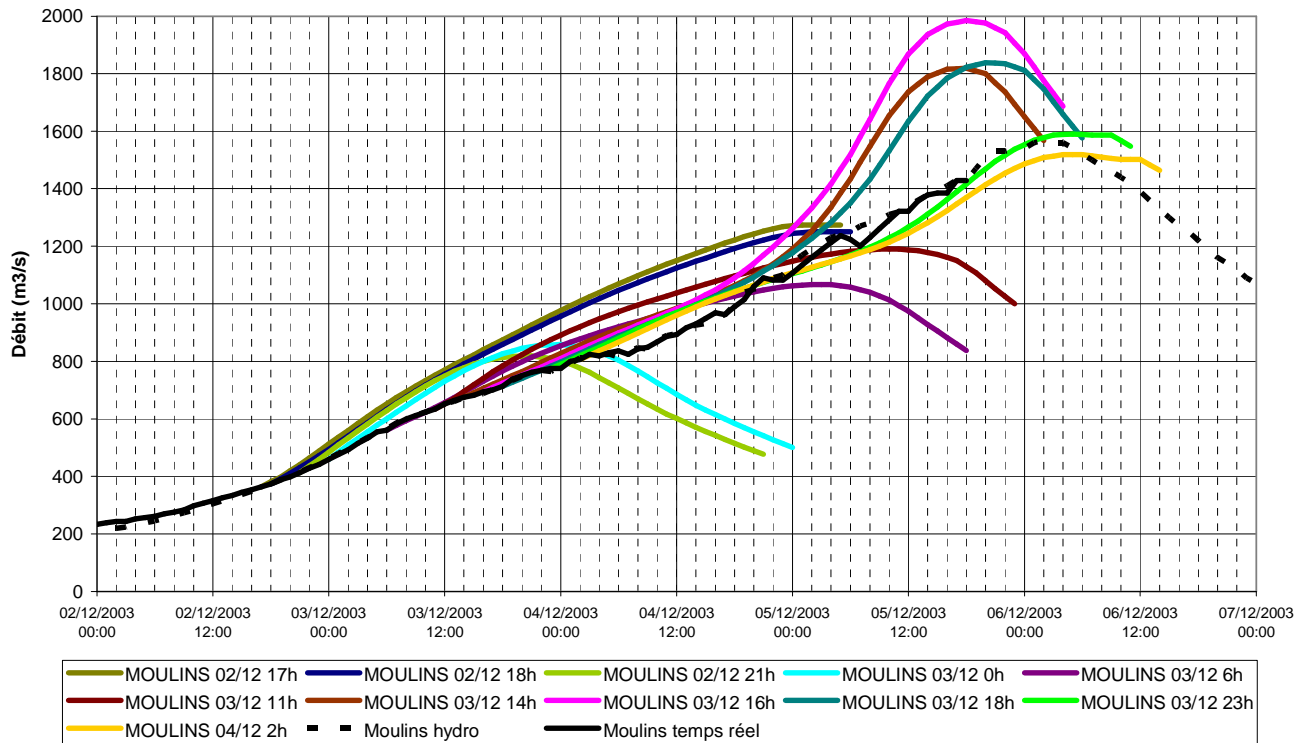


Crue décembre 2003 - Prévisions à Chatel de Neuvre - Données temps réel

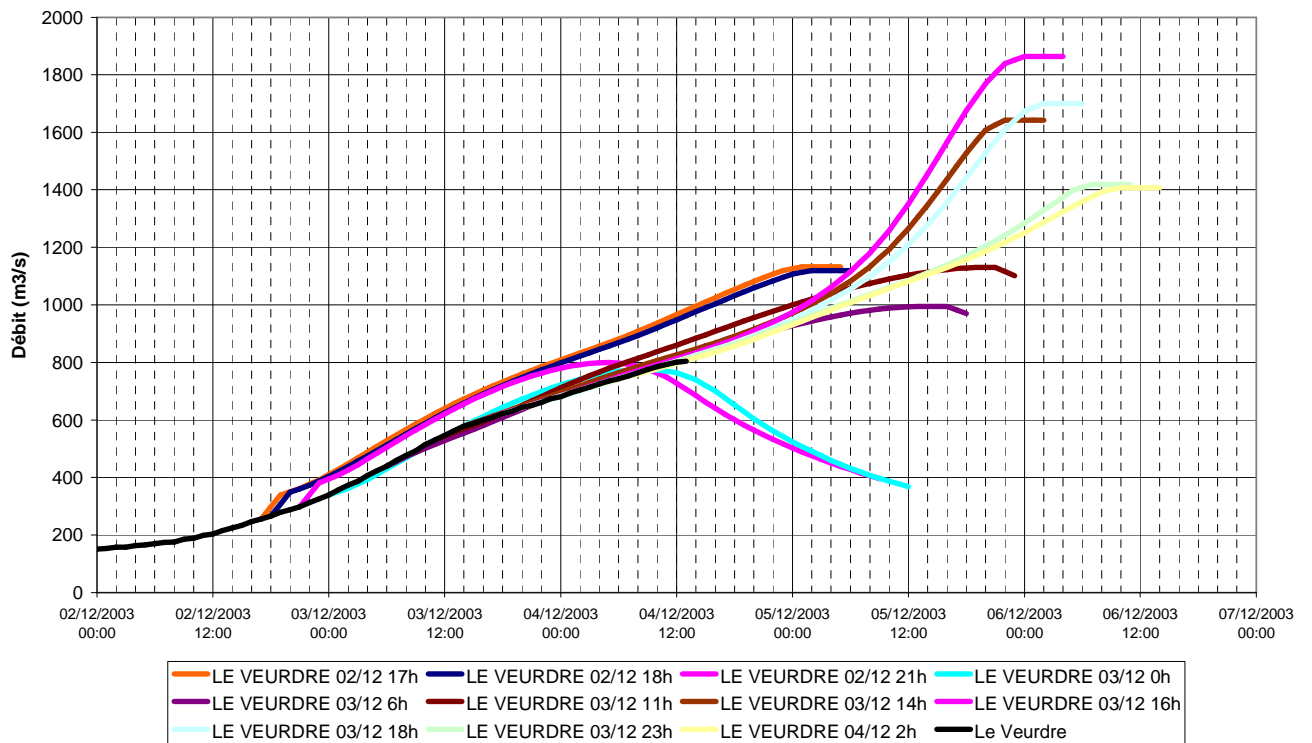


*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*

Crue décembre 2003 - Prévisions à Moulins - Données temps réel



Crue décembre 2003 - Prévisions au Veurdre - Données temps réel



*Précision concernant les propositions d'amélioration du logiciel PACHA et les résultats du rejeu des crues –
Réalisation EGIS EAU – Etude 3P ALLIER*