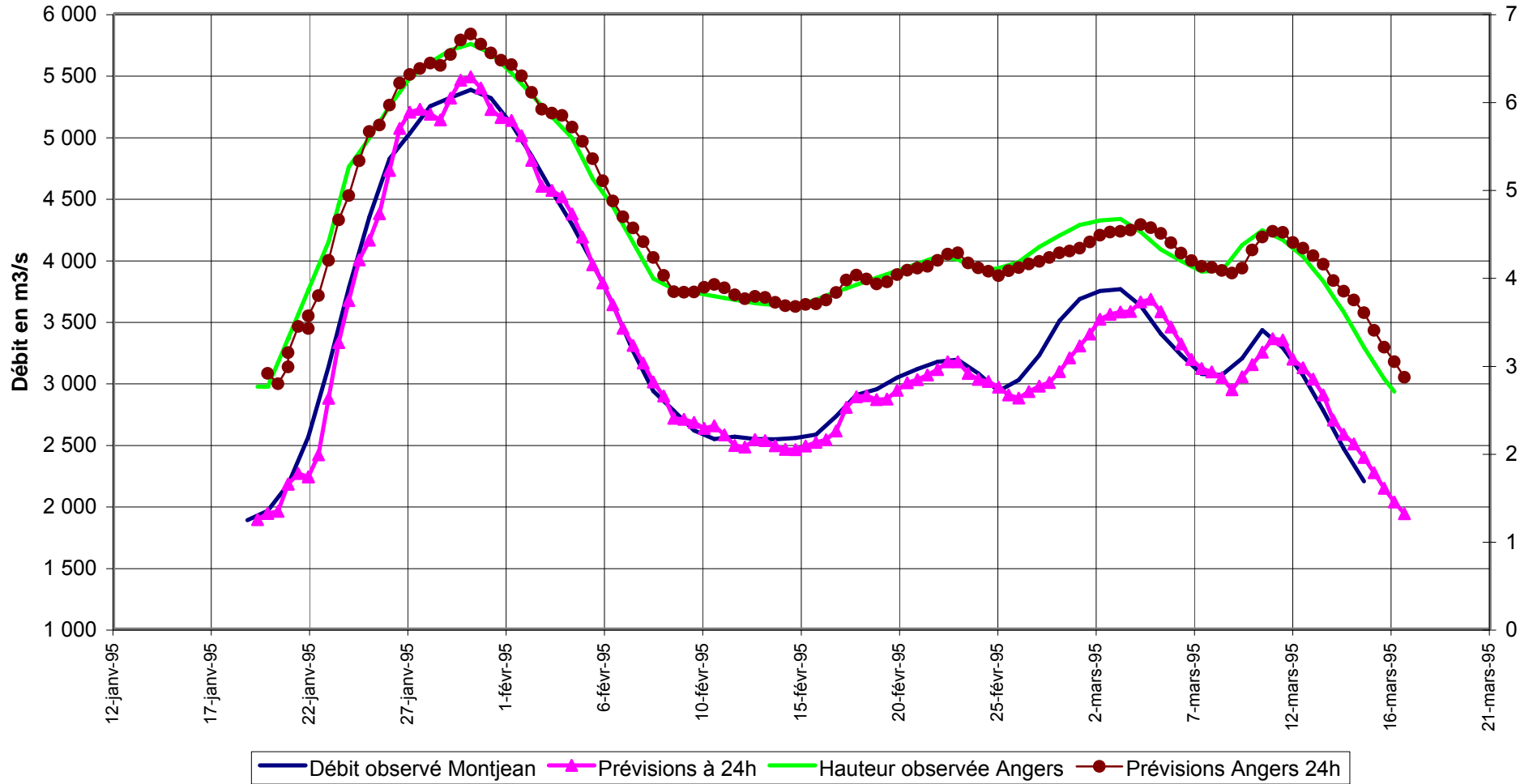


ANNEXE E

Prévisions effectuées à Montjean et Angers avec les outils existants

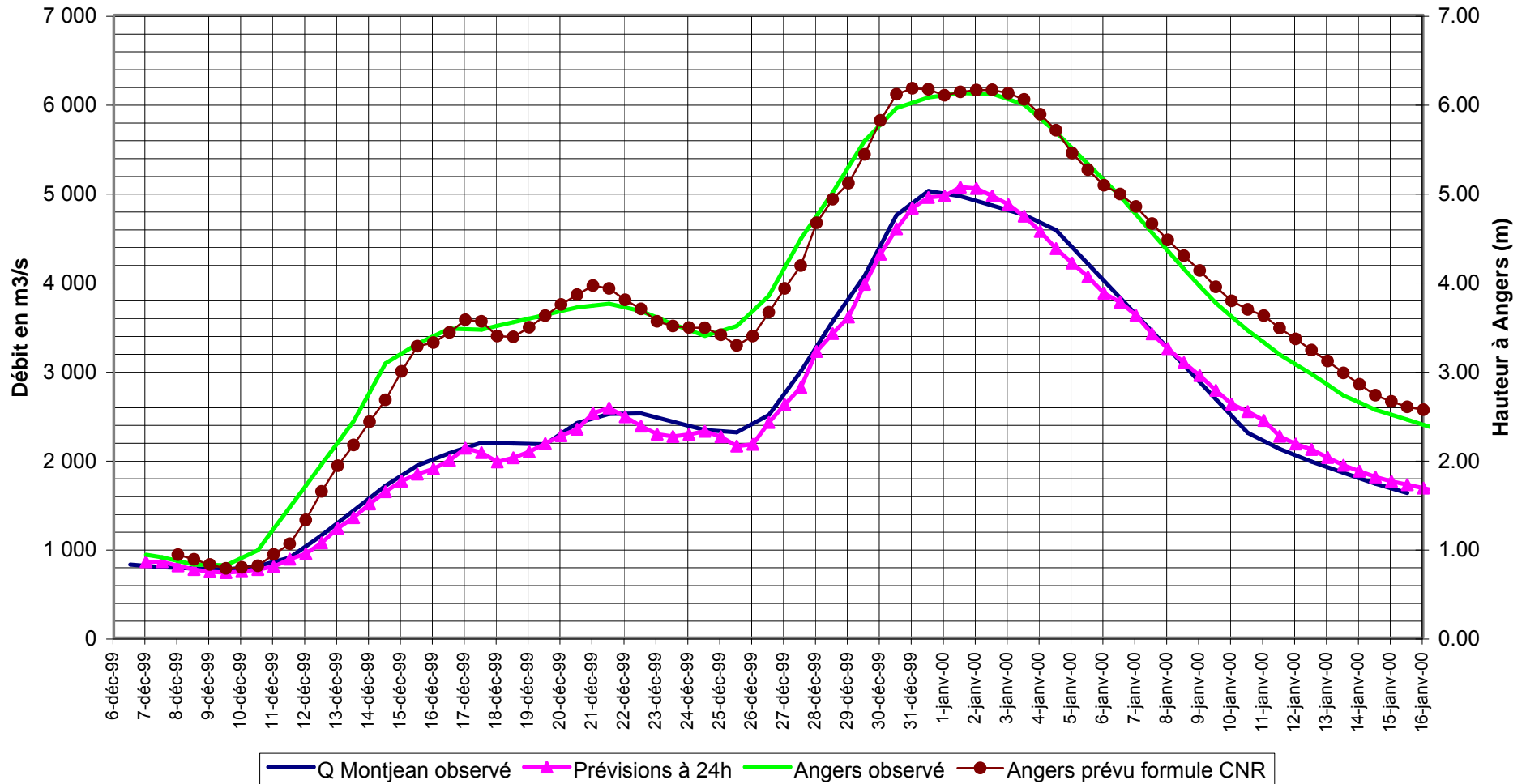
Crue janvier 1995

Prévisions du débit à Montjean et de la hauteur à Angers pour l'échéance 24h (comparaison observé [à t] et prévu [à t-24] pour l'échéance 24h , toutes les 12 heures)



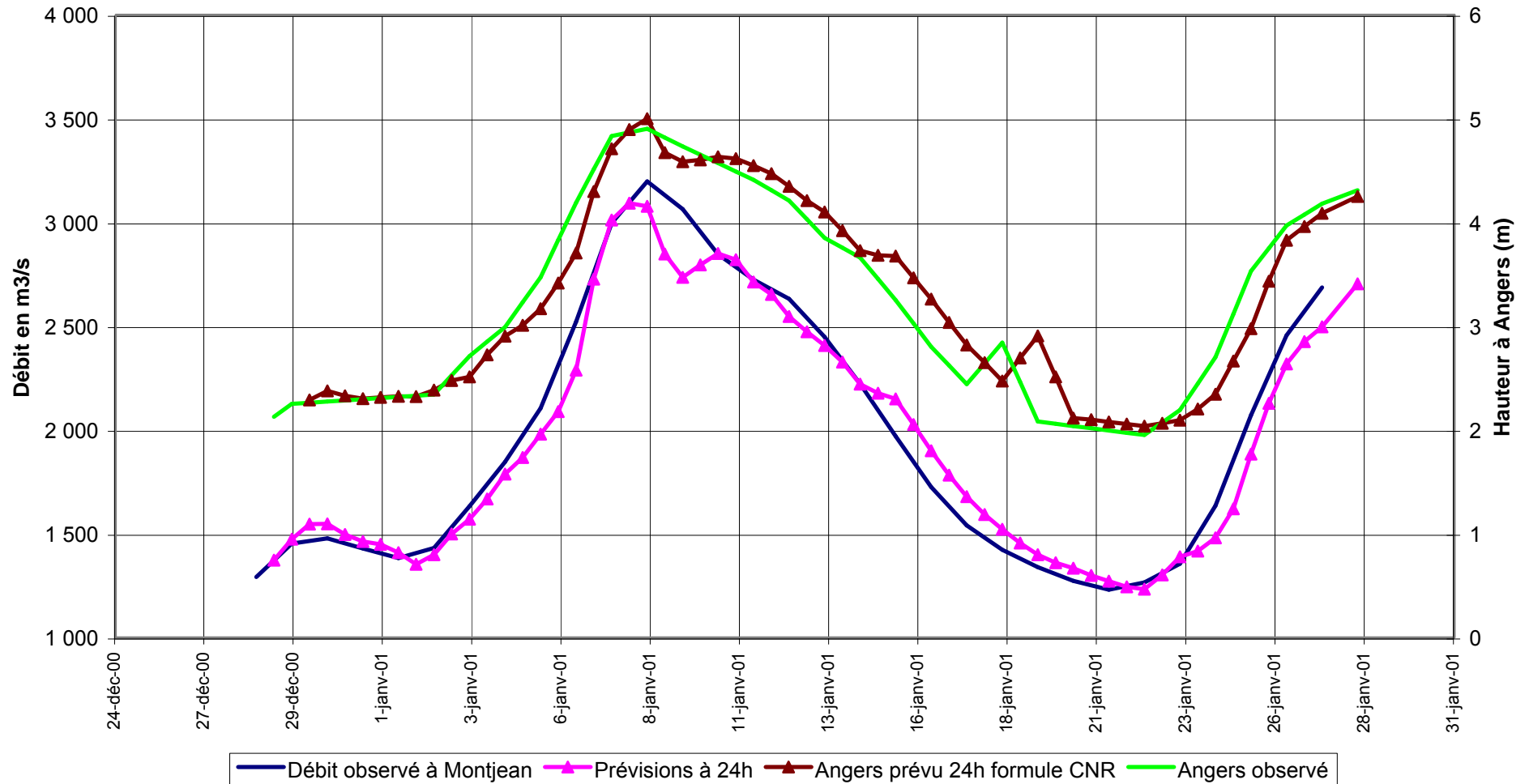
Crue décembre 1999

Prévisions du débit à Montjean et de la hauteur à Angers pour l'échéance 24h (comparaison observé et prévu à t-24 pour l'échéance 24h, toutes les 12 heures)



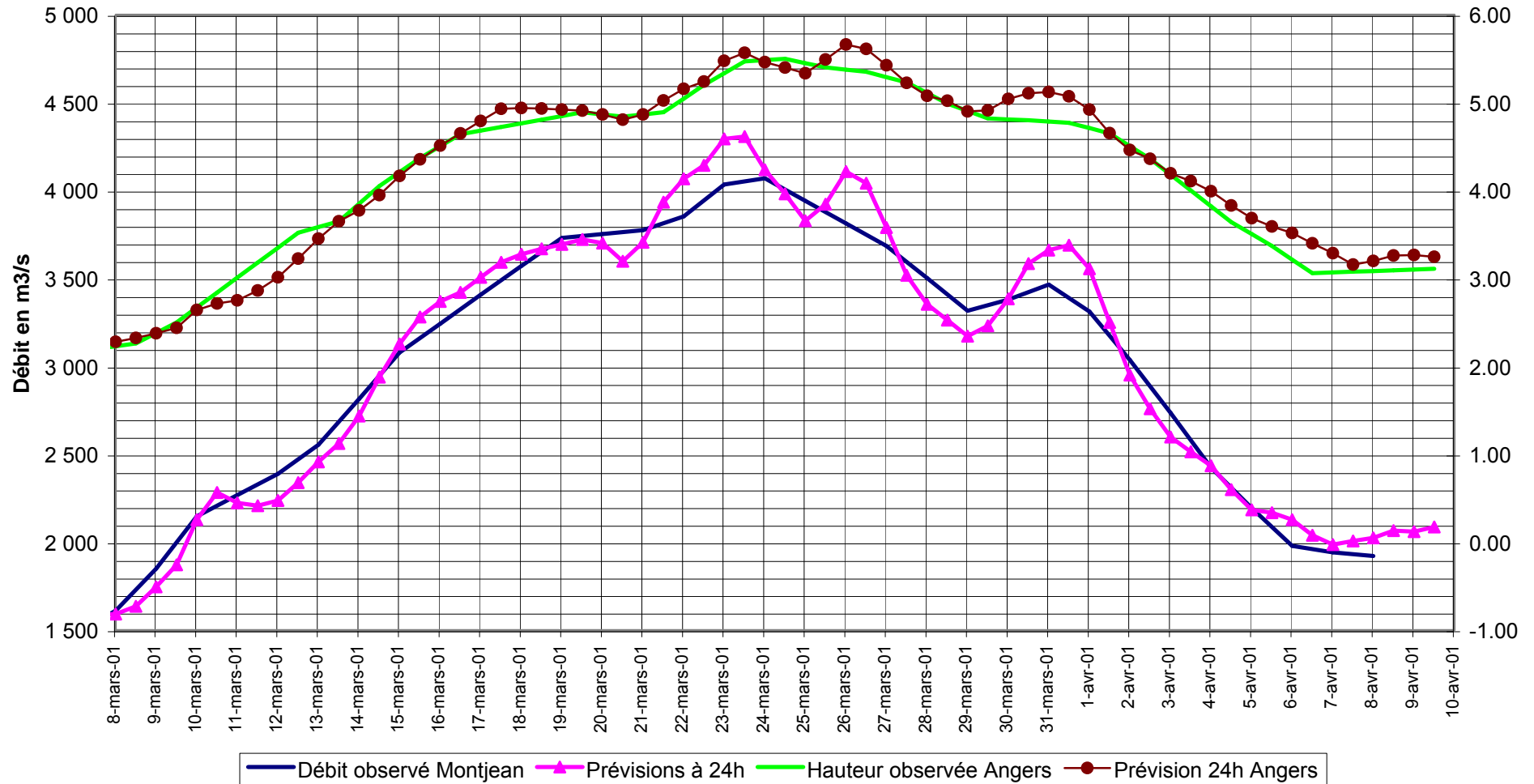
Crue janvier 2001

Prévisions du débit à Montjean et de la hauteur à Angers pour l'échéance 24h (comparaison observé [à t] et prévu [à t-24] pour l'échéance 24h, toutes les 12 heures)



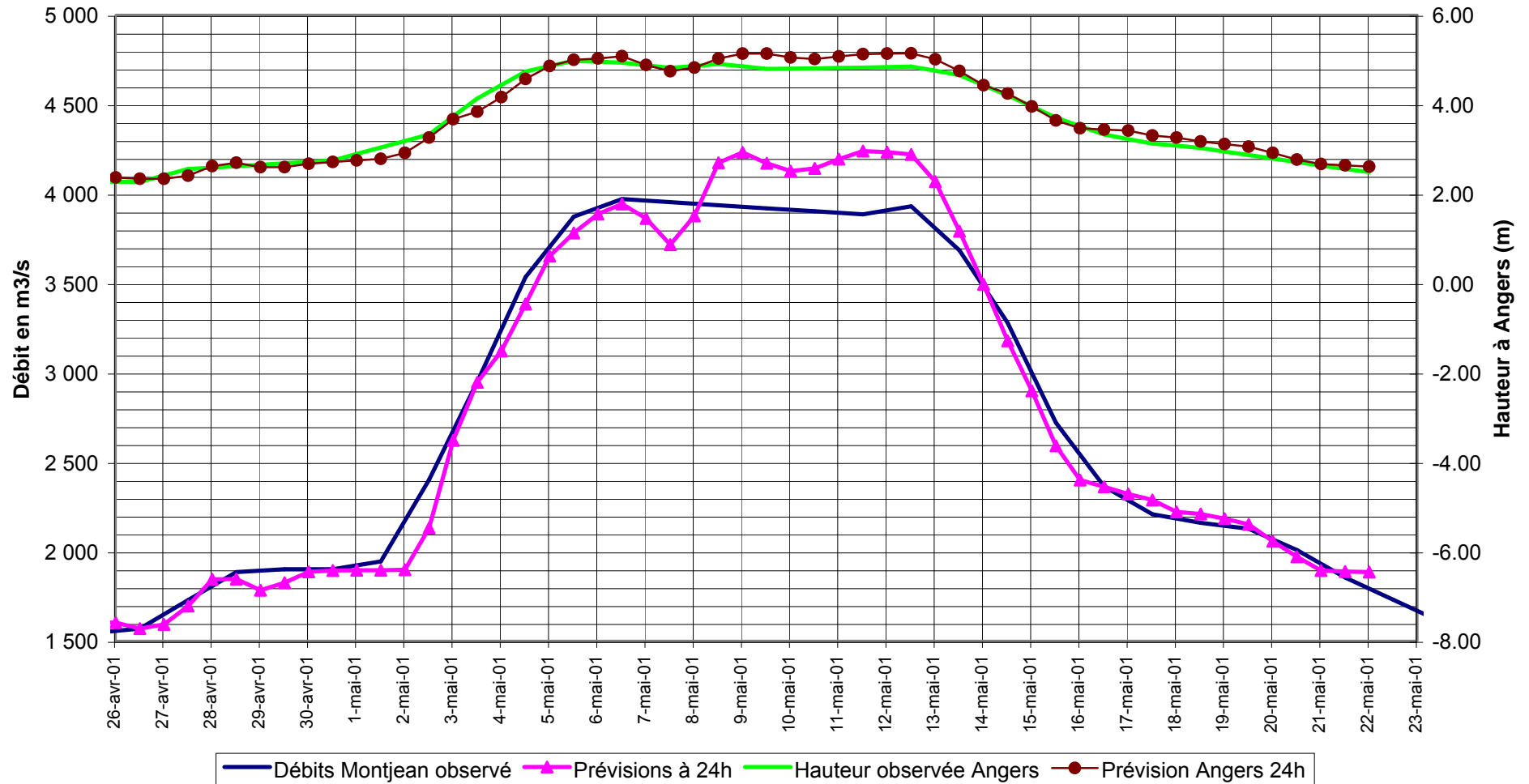
Crue mars 2001

Prévisions du débit à Montjean et de la hauteur à Angers pour l'échéance 24h (comparaison observé [à t] et prévu [à t-24]) pour l'échéance 24h, toutes les 12 heures)



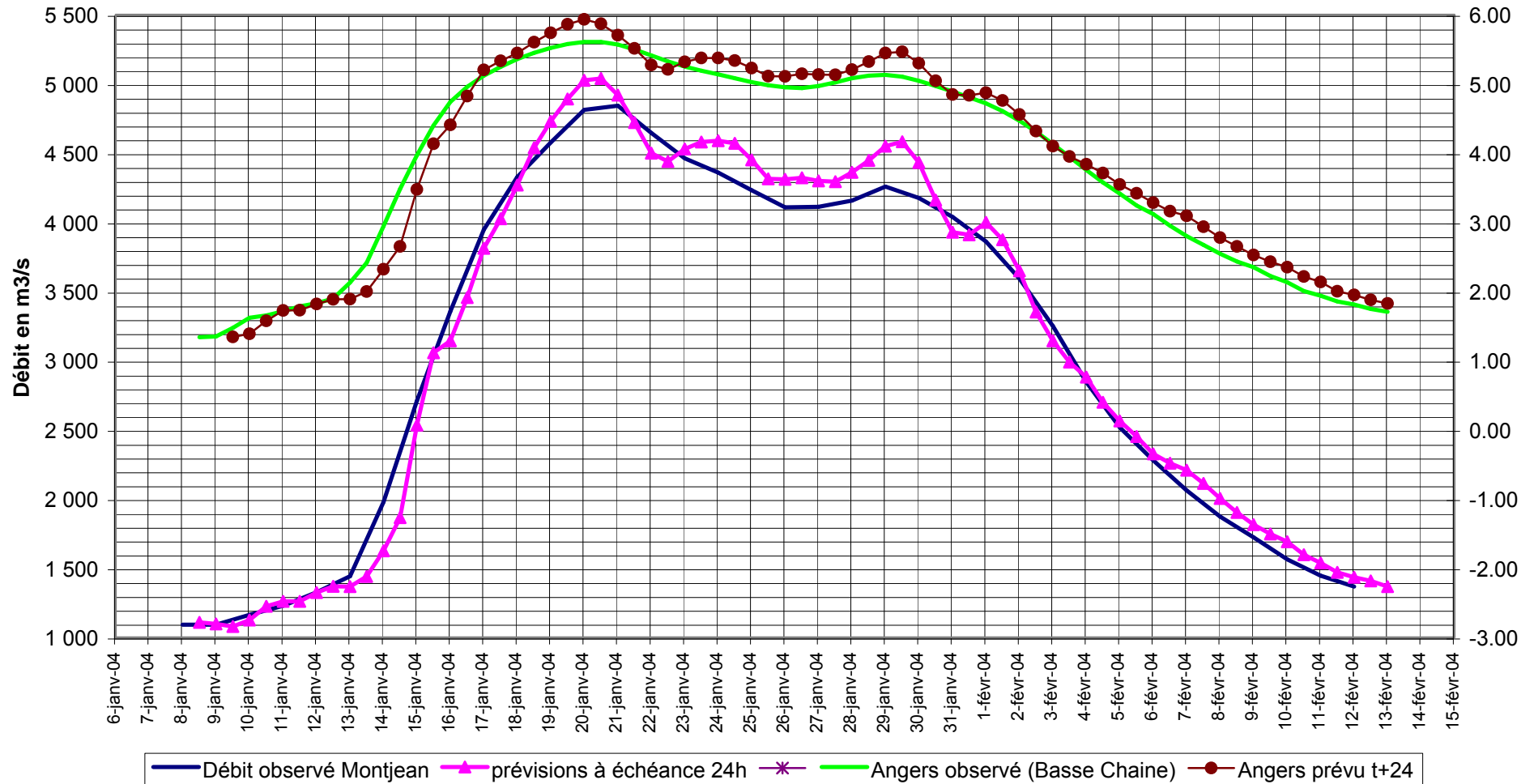
Crue mai 2001

Prévisions du débit à Montjean et de la hauteur à Angers pour l'échéance 24h (comparaison observé [à t] et prévu [à t-24] pour l'échéance 24h, toutes les 12 heures)



Crue janvier 2004

Prévisions du débit à Montjean et de la hauteur à Angers pour l'échéance 24h (comparaison observé [à t] et prévu [à t-24] pour l'échéance 24h, toutes les 12 heures)



**F. MISE EN ŒUVRE DU MODELE HYDRAULIQUE
POUR LA PREVISION TEMPS REEL**

TABLE DES MATIERES

F.	MISE EN ŒUVRE DU MODELE HYDRAULIQUE POUR LA PREVISION TEMPS REEL	
1.	CONTEXTE	1
2.	ZONE MODELISEE	2
3.	ENTREES DU MODELE	3
3.1.	Entrées amont	3
3.2.	Apports intermédiaires	3
3.3.	Condition limite aval	5
3.4.	Etat initial	5
4.	FONCTIONNEMENT EN TEMPS REEL	6
4.1.	Principes généraux du calcul en temps réel	6
4.1.1.	Données à fournir – conditions limites	6
4.1.2.	Recalage en temps réel	7
4.2.	Tests de fonctionnement en temps réel	7
4.2.1.	Tests de « récupération » d'erreur	7
4.2.2.	Tests d'incidence relative des erreurs	8
4.2.3.	Tests d'incidence des erreurs sur les apports intermédiaires	10
4.2.4.	Test de validation du calcul	10
4.3.	Méthode de recalage en temps réel mise en œuvre	11
4.4.	Mode de prise en compte des manques de données	13
5.	CONCLUSION	14

Liste des tableaux

Tableau 1 Méthodes d'estimation des apports intermédiaires	4
Tableau 2 Débits utilisés pour l'état initial standard.....	11

Liste des figures

Figure 1 : Zone modélisée avec STREAM.....	2
Figure 2 : Points d'injection des apports dans le modèle hydraulique.....	5
Figure 3 Schéma de l'enchaînement des simulations au cours d'une session de prévision.....	6

ANNEXES F

ANNEXE F1 : TESTS DE RECUPERATION D'ERREURS POUR LA PREVISION

ANNEXE F2 : COMPARAISON RESULTATS CALAGE ET RESULTATS MOISE

ANNEXE F3 : MISE EN ŒUVRE DE LA PROCEDURE DE RECALAGE DANS MOISE

1. CONTEXTE

La tranche conditionnelle du volet prévision a pour objet la mise en œuvre du modèle hydraulique STREAM pour la prévision en temps réel. Le modèle STREAM a été calé lors de la phase de calage hydraulique.

La mise en œuvre du modèle STREAM pour la prévision en temps réel se fait via la structure d'accueil MOISE, qui propose au prévisionniste une interface conviviale et dédiée à la prévision temps réel. L'utilisation de STREAM reste transparente pour le prévisionniste, qui n'a pas à connaître le fonctionnement détaillé du modèle hydraulique, ni à fournir de paramètres spécifiques pour le calcul.

Le présent rapport décrit les conditions de mise en œuvre du modèle STREAM pour la prévision en temps réel, ainsi que les tests effectués sur le traitement d'erreur.

2. ZONE MODELISEE

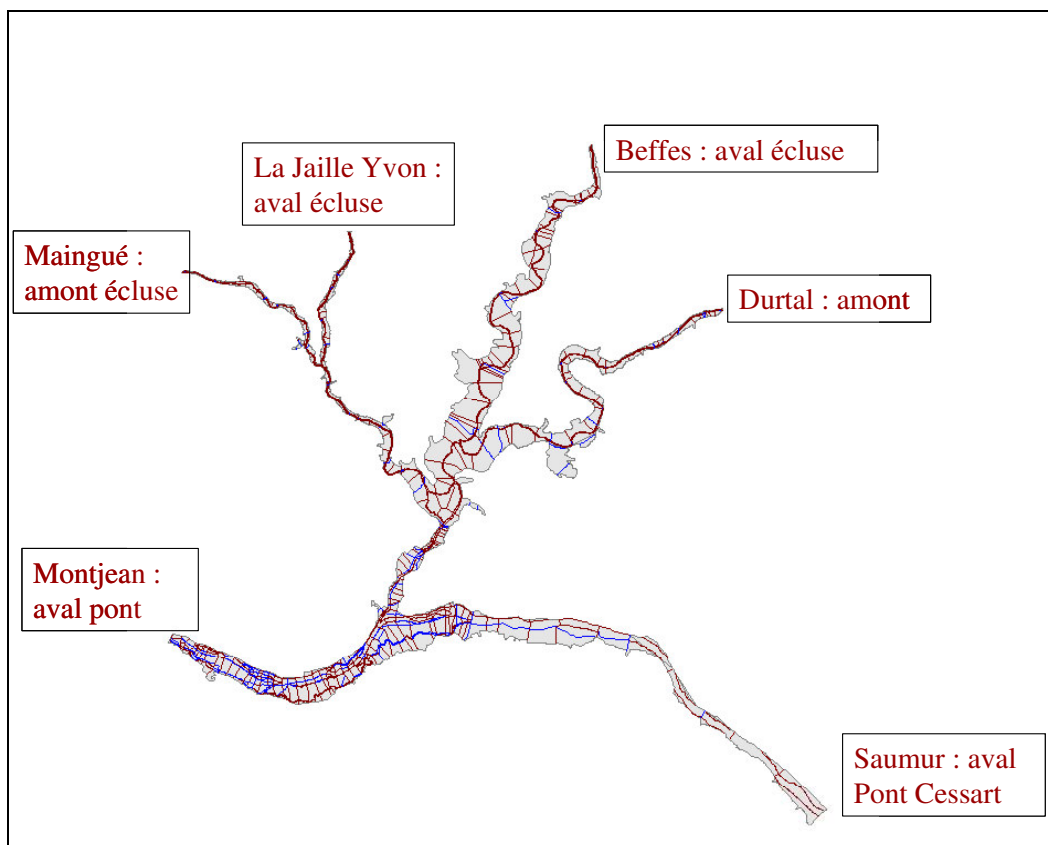
La zone modélisée est délimitée par :

- L'Oudon à Maingué (amont écluse),
- La Mayenne à l'écluse de la Jaille Yvon (aval écluse),
- La Sarthe à Beffes (aval écluse),
- Le Loir à Durtal,
- La Loire à Saumur (aval Pont Cessart),
- La Loire à Montjean-sur-Loire (aval pont).

Le modèle représente les lits mineur et majeur des rivières principales.

La zone modélisée est représentée sur la [Figure 1](#) ~~Figure 1~~.

Figure 1 : Zone modélisée avec STREAM



3. ENTREES DU MODELE

Les entrées du modèle sont :

- les conditions limites :
 - amont : débits aux points d'entrée amont,
 - latérales : débits aux points d'entrée latéraux (apports intermédiaires),
 - aval : relation cote-débit au point aval du modèle
- l'état initial.

3.1. ENTREES AMONT

Les entrées amont sont constituées des débits aux stations hydrométriques de :

- Maingué (Oudon),
- Château Gontier (Mayenne) retardé de 4 heures,
- Beffes (Sarthe),
- Durtal (Loir),
- Saumur (Loire).

3.2. APPORTS INTERMEDIAIRES

Les apports intermédiaires correspondent aux bassins versants suivants :

Les affluents de la Loire :

- Le Thouet
- L'Authion
- L'Aubance
- Le Layon
- Le bassin intermédiaire des BVA : les apports sont répartis en 9 points d'entrée dans le modèle : 3 sur le Loir, 4 sur la Sarthe, 1 sur la Mayenne, 1 sur l'Oudon.

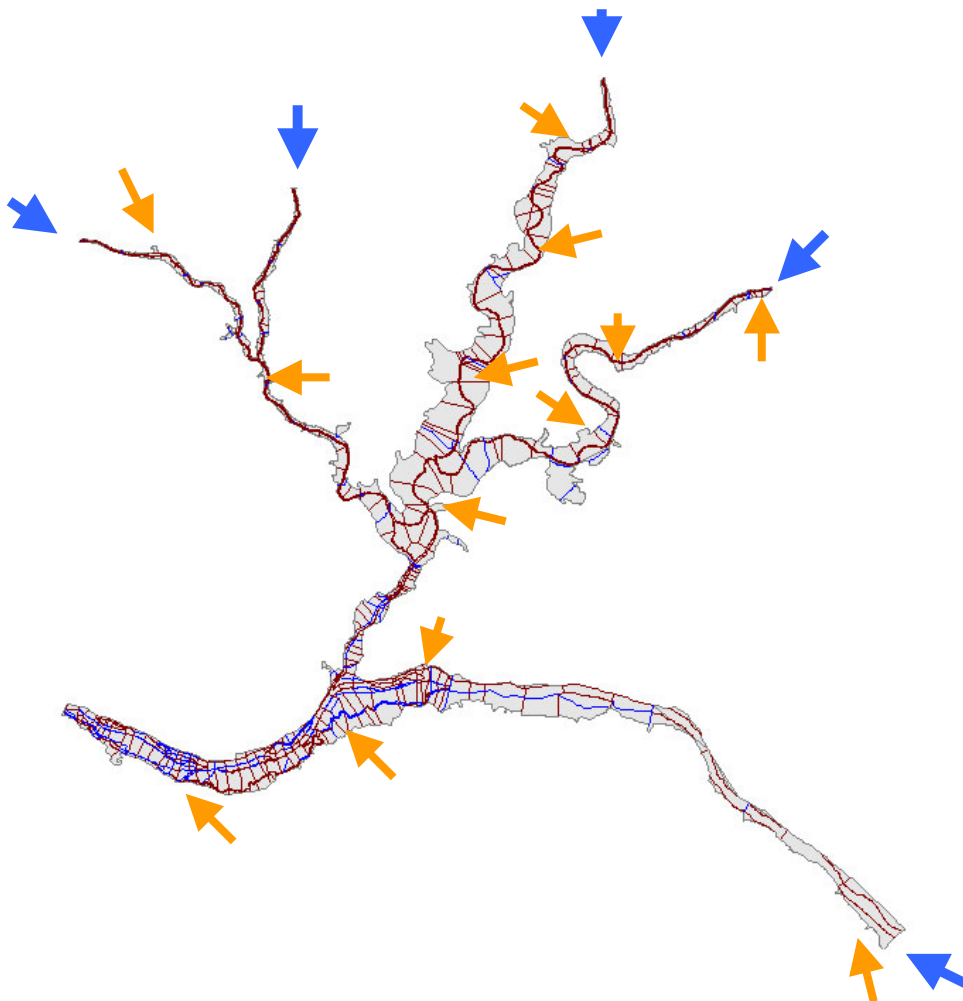
L'étude hydrologique ainsi que les résultats obtenus lors du calage du modèle hydraulique ont montré que l'on pouvait en première approche estimer les débits des apports intermédiaires à partir des débits journaliers du Layon et de l'Aubance, mesurés respectivement aux stations hydrométriques de St Lambert du Lattay et de Soulaines.

Le [Tableau 1](#) ~~Tableau 1~~ fournit les méthodes de calcul utilisées pour l'estimation des apports intermédiaires pour chaque affluent ou sous-bassin versant.

Tableau 1 Méthodes d'estimation des apports intermédiaires

Apport	Données de base pour le calcul	Formule (les débits sont en m3/s, les surfaces de bassin versant en km2)	Observations
Thouet	Qj Layon	$Q_j \text{ Thouet} = 3.019 * Q_{\text{Layon}}(j-0.5) - 10.4$ si $Q_j \text{ Thouet}$ calculé négatif $Q_j \text{ Thouet} = Q_j \text{ Layon}$	Modèle de prévision des crues en cours sur le Thouet
Layon	Qj Layon		
Authion	Qj Aubance (Soulaines)	$Q_j \text{ Authion} = Q_j \text{ Aubance} * (1483/172)^{0.8}$	Débit station de pompage quand portes exutoire Authion fermées
Aubance	Qj Aubance (Soulaines)	$Q_j \text{ Aubance total} = Q_j \text{ Aubance} * (490/172)^{0.8}$	
BVA (9 points d'entrée)	Qj Aubance (Soulaines)	$Q_j = Q_j \text{ Aubance} * (S_{bv} / 172)^{0.8}$ (Sbv en km2)	Répartition sur les différentes branches selon la superficie de bassin intermédiaire
BVA Oudon		Sbv1=75 km2	
BVA Mayenne		Sbv2=192 km2	
BVA Sarthe		Sbv3=217 km2 Sbv4=143 km2 Sbv5=91 km2 Sbv9=120 km2	
BVA Loir		Sbv6=90 km2 Sbv7 =112km2 Sbv8 = 129 km2	

Figure 2 : Points d'injection des apports dans le modèle hydraulique



3.3. CONDITION LIMITE AVAL

La condition limite aval du modèle est constituée par la relation cote-débit au point aval, soit la station hydrométrique de Montjean-sur-Loire.

En cas d'évolution de la relation cote-débit à Montjean-sur-Loire (évolution du lit de la Loire), cette condition limite aval est à réévaluer.

Pour les débits élevés, l'incidence de l'approfondissement du lit de la Loire constaté depuis une vingtaine d'années est faible (cf Etude hydrologique). L'incidence sur les faibles débits est par contre proportionnellement plus importante, et le suivi de l'évolution de la courbe cote-débit à Montjean-sur-Loire est recommandé.

3.4. ETAT INITIAL

L'état initial est constitué par les cotes au début du calcul au centre de chaque casier.

4. FONCTIONNEMENT EN TEMPS REEL

4.1. PRINCIPES GENERAUX DU CALCUL EN TEMPS REEL

4.1.1. Données à fournir – conditions limites

Pendant la crue, les calculs vont être effectués avec une certaine périodicité, au fur et à mesure du déroulement de la crue et selon les contraintes du prévisionniste. Au cours d'une session de prévision, chaque calcul est appelé « simulation ». Une simulation couvre une période d'observations et de prévision, selon les principes schématisés en [Figure 3](#). A chaque simulation, t_0 désigne l'instant jusqu'auquel on dispose de données observées.

Lors de chaque simulation, à l'instant t_0 , le calcul sera effectué entre un instant antérieur à t_0 (dénommé $t_0 - nbval_avant_t_0$) et un instant postérieur à t_0 (dénommé $t_0 + nbval_après_t_0$). Les prévisions proprement dites concernent les instants postérieurs à t_0 . Le paramètre $nbval_avant_t_0$ est à définir selon la configuration du bassin, il ne peut être inférieur à l'intervalle entre deux simulations. Le paramètre $nbval_après_t_0$ définit le délai de prévision maximal du calcul.

L'utilisation d'un modèle hydraulique pour le calcul de prévisions en temps réel nécessite, pour chaque simulation, de fournir les valeurs des conditions limites sur la totalité de la période de calcul, ainsi qu'un état initial.

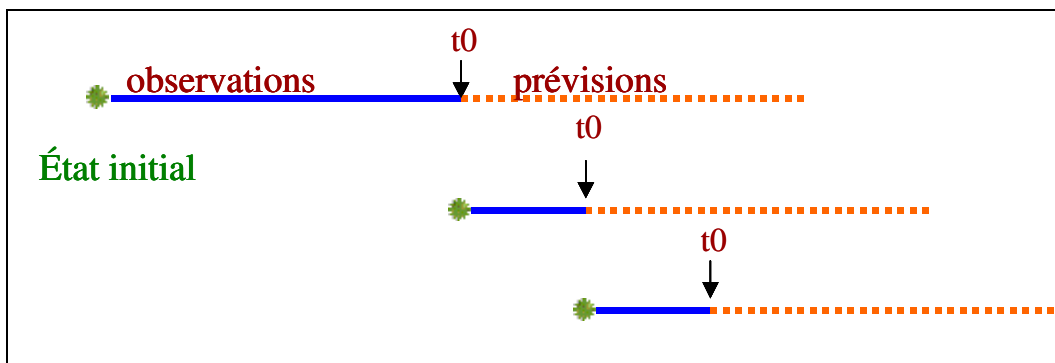
Les conditions limites sont constituées par :

- les entrées en débit (débits amont et apports intermédiaires),
- la condition limite aval, qui est invariante : il s'agit de la relation cote-débit à Montjean.

Les entrées en débit doivent être fournies pour la totalité de période simulée, c'est à dire que l'on doit fournir en entrées des prévisions de débits amont et de débits d'apports intermédiaires.

L'état initial doit être fourni pour l'instant de début du calcul, soit $t_0 - nbval_avant_t_0$.

Figure 3 Schéma de l'enchaînement des simulations au cours d'une session de prévision



4.1.2. Recalage en temps réel

Lors de chaque simulation, le calcul commence « dans le passé », c'est à dire avec des entrées constituées de débits observés. Si l'état initial est correct, cela permet a priori de calculer pour l'instant t0 un état initial correct, qui permet ensuite de minimiser les erreurs de calcul pour les prévisions.

L'état initial est constitué de cotes pour chaque casier. Cet état initial est celui calculé lors de la simulation précédente.

Certaines observations sont disponibles pour les capteurs limnimétriques situés à l'intérieur du modèle (par exemple Cheffes, Seiches, Angers, ...). Ces observations permettent de connaître l'erreur faite par le modèle.

Une correction de l'état initial est effectuée par comparaison des valeurs observées et calculées. Cette correction consiste à répartir de manière linéaire l'écart observé aux points de contrôle, pour les casiers situés entre deux points de contrôle.

Des tests ont été effectués afin de déterminer :

- Quelle est la « mémoire » du système ? quelle période de simulation avec des données correctes est-elle nécessaire pour annuler l'impact d'un état initial erroné ?
- Quel est le lien entre les erreurs en différents secteurs du modèle (par exemple impact d'une erreur à Montjean-sur-Loire sur les prévisions à Angers)

4.2. TESTS DE FONCTIONNEMENT EN TEMPS REEL

4.2.1. Tests de « récupération » d'erreur

Ces tests ont consisté à fournir des entrées volontairement erronées (surestimation ou sous-estimation de 10 à 30% des entrées) de manière à calculer un état initial « erroné ». Des simulations ont ensuite été effectuées en fournissant des entrées correctes. On a ensuite contrôlé selon les secteurs la durée de calcul à partir de laquelle l'incidence d'un état initial erroné devient négligeable. Les résultats de ces tests sont visualisables sur les graphes fournis en annexe F1 qui représentent des profils en long des erreurs sur les différentes rivières, pour différents instants de calcul et différentes hypothèses de modification des entrées.

Ces calculs ont été effectués à partir de la crue de janvier 1995, en se plaçant au milieu de la montée de la crue soit à l'instant 312h (l'état initial des calculs représentés sur les graphes correspond au 24 janvier 1995).

Les hypothèses prises en compte sont les suivantes :

- Entrées augmentées de 30% sur les BVA et inchangées sur la Loire,
- Entrées inchangées dans les BVA et augmentées de 10% sur la Loire,
- Entrées augmentées de 30% sur les BVA et de 10% sur la Loire,
- Entrées réduites de 30% sur les BVA et de 10% sur la Loire.

On constate que :

- dans le secteur des BVA, l'incidence d'un état initial erroné est importante, et il faut plusieurs jours (de l'ordre de 5 jours) pour « annuler » l'incidence d'une erreur initiale. Cela est dû à l'incidence du volume de stockage sur la crue. Par exemple,

une erreur de 20cm à Cheffes est de 12cm 24heures plus tard et est encore de 7cm 48 heures plus tard. Au bout de cinq jours, elle est de 2cm.

- Sur la Maine, on récupère 50% de l'erreur en 48h, et également 90% de l'erreur au bout de 5 jours,
- sur les secteurs amont, en dehors de la grande zone de stockage des BVA, la durée nécessaire pour réduire l'incidence d'une erreur initiale est nettement plus courte. On récupère plus de 50% de l'erreur au bout de 12 heures et plus de 90% de l'erreur au bout de 24 heures sur les secteurs suivants :
 - sur la Mayenne, en amont de l'écluse de Grez-Neuville,
 - sur l'Oudon, sur la totalité du cours,
 - sur la Sarthe, en amont de l'écluse du Pendu. Entre l'écluse de Villechien et l'écluse du Pendu, on récupère également 50% de l'erreur en 12 heures, mais seulement 80% au bout de 24 heures,
 - sur le Loir, en amont du seuil de Chaufour. Entre le seuil de Prigne et le seuil de Chaufour, on récupère également 50% de l'erreur en 12heures, mais seulement 70 à 80% de l'erreur en 24 heures.
- sur la Loire :
 - en amont des Ponts-de-Cé, plus on est proche de Saumur et plus l'erreur est récupérée rapidement : 50% au bout de 6h en amont de La Bohalle, et 90% de l'erreur après 18heures.
 - en aval des Ponts-de-Cé, on récupère plus de 50% de l'erreur en 24 heures, et plus de 75% après 48 heures.

Ces tests mettent en évidence l'incidence très importante du niveau initial dans les BVA. Dans ces secteurs, la cote ne dépend pas directement du débit : corriger le débit amont n'est pas suffisant (ou bien il faudrait une durée de calcul très importante avec des débits exacts). Une correction de la cote pourra améliorer la prévision, en plus de la correction des débits amont. Pour la prévision en temps réel, il sera important que les niveaux initiaux soient corrects dans ce secteur, une correction des niveaux pouvant être effectuée à partir des niveaux observés en cours de crue. Ainsi, les mesures des niveaux dans le secteur des BVA contribueront à une meilleure correction des erreurs.

Sur les secteurs amont, l'erreur sera plus directement liée au débit amont. L'effet du stockage est peu important, la correction du débit permettra de corriger très rapidement une erreur. Une correction de la cote seule dans ces secteurs se sera pas efficace.

4.2.2. Tests d'incidence relative des erreurs

Ces tests ont pour objectifs d'analyser l'incidence relative d'erreurs aval sur les niveaux amont, en particulier pour les secteurs suivants :

- Incidence d'une erreur sur la cote de la Loire sur les niveaux à Angers et dans les BVA,
- incidence d'une erreur dans la partie aval des BVA (confluence Sarthe-Mayenne : secteur Ecoufant-Cantenay Epinard) sur la Sarthe, le Loir et la Mayenne.

▪ **INCIDENCE DANS LES BVA D'UNE ERREUR DE LA COTE DE LA LOIRE**

Une surcote de l'ordre de 20 cm à la confluence Loire-Maine se transmet en amont en s'atténuant lentement :

- à Angers, l'incidence est encore de 15cm au pont de Verdun,
- sur la Sarthe, l'incidence est encore de 10 cm jusqu'à Cheffes, puis de 5cm à Chateauneuf,
- sur le Loir, l'incidence est encore de 10 cm à Seiches, puis de 5 cm au seuil Bruneau,
- sur la Mayenne, l'incidence est de 10cm jusqu'à l'écluse de Montreuil Belfroy, puis encore de 5cm à l'écluse de La Roussière.
- Sur l'Oudon, l'incidence reste inférieure à 5cm.

▪ **INCIDENCE SUR LES RIVIERES AMONT D'UNE ERREUR DANS LES BVA**

Une surcote aval de l'ordre de 60cm à la confluence Sarthe-Mayenne, va se répercuter vers l'amont en s'atténuant lentement, avec les incidences suivantes :

- Sur le Loir, l'incidence reste de l'ordre de 60cm jusqu'à Seiches, sans s'atténuer, puis s'atténue lentement vers l'amont : encore 30cm au seuil Bruneau, puis 25cm à Prigne, 10cm au seuil de Chaufour.
- Sur la Sarthe, l'incidence reste de l'ordre de 60cm jusqu'à Cheffes, puis se réduit vers l'amont : 45cm à Chateauneuf, encore 25cm à l'écluse de Villechien, 10cm à l'écluse du Pendu,
- Sur la Mayenne, l'incidence s'atténue un plus rapidement vers l'amont que le Loir et la Sarthe : 50cm à l'écluse de Montreuil Belfroy, 40cm à l'écluse de Montreuil/Maine, 30cm à Chambellay.
- Sur l'Oudon, l'incidence aval de l'ordre de 40cm à la confluence avec la Mayenne se propage jusqu'à l'écluse de la Himbaudière, puis se réduit vers l'amont (encore 30cm à l'écluse de la Chapelle, puis 10cm à Maingué).

Les résultats sont similaires pour un abaissement de 60 cm à la confluence Sarthe-Mayenne, l'incidence est simplement réduite sur les parties amont des différentes rivières :

- Sur le Loir, l'incidence est similaire jusqu'à Seiches, puis se réduit à -15cm au seuil Bruneau et -5cm au seuil de Prigne.
- Sur la Sarthe, l'incidence est similaire jusqu'à Cheffes, puis se réduit à -35cm à Chateauneuf, -15cm à l'écluse de Villechien et -5cm à l'écluse du Pendu
- Sur la Mayenne, l'incidence se réduit plus rapidement : -45cm à l'écluse de Montreuil-Belfroy, -20cm à l'écluse de Montreuil/Maine et -15cm à Chambellay,
- Sur l'Oudon, l'incidence de -40cm à la confluence avec la Mayenne se réduit également plus rapidement, elle est encore de -35cm à l'écluse de la Himbaudière, puis se réduit à -20cm à l'écluse de la Chapelle et -5cm à l'écluse de Maingué.

▪ **INCIDENCE SUR LA LOIRE D'UNE ERREUR DANS LES BVA :**

Une surcote de l'ordre de l'ordre de 20 cm à la confluence Loire-Maine se transmet dans la Loire vers l'amont en s'atténuant. Aux Ponts-de-Cé, elle est inférieure à 10cm, et devient nulle à Saint-Mathurin-sur-Loire.

En aval de la confluence Loire-Maine, l'erreur reste similaire à celle obtenue à la confluence. Elle est même augmentée à Montjean, du fait de la sensibilité plus grande de la relation cote-débit. Remarque : l'analyse directe des graphes des erreurs sur la Loire est perturbée par la propagation de l'hydrogramme amont (Saumur).

Remarque : les incidences indiquées sont similaires pour un abaissement.

4.2.3. Tests d'incidence des erreurs sur les apports intermédiaires

Ces tests ont été effectués avec les configurations suivantes :

- Apport du Thouet augmenté ou diminué de 20%,
- Apports intermédiaires dans les BVA augmentés ou diminués de 20%.

Dans le cas où le débit du Thouet est augmenté ou réduit de 20%, l'incidence est de l'ordre de 7 à 8 cm sur la Loire depuis la confluence avec le Thouet jusqu'à La Bohalle, en amont des Ponts-de-Cé (surcote si on augmente le débit du Thouet, abaissement si on réduit le débit du Thouet). En aval, l'incidence est de l'ordre de 6 cm jusqu'à Montjean-sur-Loire (surcote si on augmente le débit du Thouet, abaissement si on réduit le débit du Thouet). Dans le cas de la crue de janvier 1995, pendant la période où l'on effectue les tests, le débit du Thouet représente environ 15% du débit de la Loire à Saumur. Cette incidence se transmet dans la Maine et les BVA mais en se réduisant vers l'amont : 3cm en amont de la Maine, et sur la Sarthe, le Loir et la Mayenne.

Dans le cas de l'augmentation ou de la réduction des débits d'apport dans les BVA, on obtient une incidence positive ou négative de l'ordre de 4cm sur la Sarthe, le Loir et la Mayenne et de 1.5cm sur l'Oudon. Au moment des tests, le débit des apports dans les BVA représente environ 10% de la somme des entrées amont.

4.2.4. Test de validation du calcul

Ce test a pour objet de valider que le calcul effectué par STREAM au travers la structure d'accueil MOISE est identique au calcul effectué par STREAM, dans les conditions du calage.

La comparaison a été effectuée pour 3 crues : janvier 1995, janvier 2004 et décembre 1999. Les graphes de comparaison des résultats STREAM (résultats obtenus lors du calage du modèle) et des résultats MOISE sans procédure de recalage sont fournis en annexe F2. Ces graphes permettent de visualiser les cotes calculées et observées aux stations de Angers, Montjean-sur-Loire, Chambellay et Ponts de Cé (pour janvier 2004 seulement). A Angers, le point de prévision représenté est la station de Basse Chaîne (aval du pont). Pour la crue de janvier 2004, la comparaison est effectuée avec les observations disponibles à ce capteur, pour les autres crues, la comparaison est légèrement faussée, la cote observée étant celle de l'échelle du Pont de Verdun (aval du Pont).

On constate une très bonne concordance entre les deux calculs (sur chaque graphe, on a la comparaison entre valeurs observées et valeurs calculées). Pour la crue de janvier 1995, il existe une petite différence entre les 2 calculs, due à Angers à l'écart entre la cote au pont de Verdun et la cote au pont de Basse Chaîne. A Montjean-sur-Loire, l'écart est sans doute du au mode de prise en compte des apports intermédiaires. Pour le calage, on a dans certains cas utilisé des données réelles lorsqu'elles étaient disponibles, alors que dans MOISE, les apports sont tous calculés en fonction uniquement des débits du Layon et de l'Aubance. Pour cette crue, les résultats obtenus sont meilleurs avec MOISE. Dans les deux cas, les apports réels ne sont pas complètement connus, en particulier les apports du Thouet et les apports

dans les BVA. La méthode d'estimation retenue pour la mise en œuvre dans MOISE est par conséquent pertinente, mais une meilleure connaissance des apports du Thouet en particulier permettra d'améliorer la qualité des prévisions en cas de crue atypique par rapport aux crues de calage.

4.3. METHODE DE RECALAGE EN TEMPS REEL MISE EN ŒUVRE

Compte-tenu des résultats des tests effectués sur la sensibilité de la zone modélisée aux différents types d'erreurs qui peuvent se manifester en temps réel, le recalage en temps réel mis en œuvre est le suivant :

- **EN DEBUT DE CRUE (PREMIERE SIMULATION D'UNE SESSION DE PREVISION) :**

En début de crue, on ne dispose pas d'un état initial pour le modèle hydraulique cohérent avec la situation observée. Un calcul est alors effectué sur une durée suffisamment longue dans le passé pour permettre d'aboutir à un état initial calculé cohérent.

Lorsque l'on est en début de crue, une durée de calcul de 3 jours est suffisante pour que l'état initial calculé soit correct. En cours de crue, lorsque le volume stocké dans les BVA devient significatif, les tests effectués montrent qu'il serait quasiment nécessaire de commencer le calcul depuis le début de la crue pour retrouver un état initial cohérent. Un test de démarrage en pleine crue a été effectué pour la crue de janvier 1995. On constate qu'une erreur initiale de l'ordre de -20cm sur le niveau dans les BVA, n'est pas récupérée lors des simulations suivantes, du fait de la forte incidence du niveau initial dans les BVA sur le niveau des jours suivants. Il est par conséquent tout à fait déconseillé de commencer un calcul en pleine crue, car le volume stocké dans les BVA risque d'être calculé de manière incorrecte pour l'état initial.

L'état initial pris en compte pour commencer le calcul sera un état initial correspondant à des débits faibles (débits moyens du mois de janvier pour toutes les entrées – cf [Tableau 2](#) ~~Tableau-2~~). Le calcul est commencé 5 jours avant l'instant courant. Une période de « raccordement » aux débits observés est prévue dans le calcul, cette période est de 12 heures. Une interpolation linéaire est effectuée pour évaluer les débits entrants pendant la période de raccordement. Ensuite, le calcul est effectué jusqu'à l'instant courant en prenant en compte les débits observés aux entrées du modèle, de manière à reconstituer le plus fidèlement possible la situation en cours. Ce mode de calcul suppose que le niveau initial dans les BVA a peu d'incidence sur le niveau 5 jours plus tard, et correspond par conséquent à une situation de début de crue.

Tableau 2 Débits utilisés pour l'état initial standard

	Débit moyen pour l'état « standard » initial
Oudon	19 m3/s
Mayenne	80 m3/s
Sarthe	99 m3/s
Loir	62 m3/s

Loire	1170 m ³ /s
-------	------------------------

Les débits des affluents et des apports intermédiaires sont évalués sur la même base, à partir du débit moyen du Layon (11.2 m³/s) et de l'Aubance (1.6 m³/s).

▪ **EN COURS DE CRUE (DEUXIEME SIMULATION ET SUIVANTES)**

Le calcul est effectué à partir de l'état initial calculé au t0 de la simulation précédente (c'est l'état le plus récent calculé avec des débits amont observés et non prévus).

L'objectif est d'éviter de partir d'un état initial intégrant des erreurs de prévision amont.

Cet état initial est « corrigé » à partir des observations aux capteurs limnimétriques situés dans le modèle.

La procédure mise en œuvre est la suivante :

- Des zones de correction sont définies, délimitées soit par un capteur, soit par un nœud de calcul pour les confluences.
- Chaque casier est affecté à une zone de correction principale et éventuellement une zone de correction secondaire (utilisée en cas de manque, par exemple en cas de panne d'un capteur – cf 4.4).
- Pour chaque zone de correction, on calcule la correction amont et aval en fonction des écarts de prévision constatés aux capteurs. Pour les confluences, l'écart est calculé par interpolation entre les écarts aux capteurs amont et aval. L'écart est supposé nul aux extrémités amont du modèle.
- Pour chaque casier lit mineur, on évalue la correction à appliquer par interpolation entre la correction amont et aval de sa zone de correction. L'interpolation se fait linéairement en fonction du PK du centre du casier.
- Pour chaque casier lit majeur, on applique une correction identique à celle du casier lit mineur associé (PK identique) uniquement dans le cas où le lit majeur est déjà en eau. Si le lit majeur n'est pas en eau, aucune correction n'est appliquée.

Une vérification de cohérence des corrections est effectuée afin de s'assurer que les corrections ne conduisent pas à des inversions de lignes d'eau. Cela est possible en particulier sur la Maine lorsque la pente de ligne d'eau est très faible. Les corrections aval (écart à Montjean) peuvent ainsi être incohérentes avec les corrections amont (Basse Chaîne). Cela est possible également en cas de mesure erronée à un capteur.

Une procédure est appliquée de manière à réduire si nécessaire les corrections appliquées, en s'assurant que les cotes corrigées en amont et en aval de chaque zone de correction sont cohérentes. Cette procédure est appliquée en examinant successivement les zones de correction de l'aval vers l'amont.

La correction n'est mise en œuvre que lorsque l'on dépasse la hauteur 3m à Angers (pont de Basse Chaîne), c'est à dire lorsque l'on est proche de la plage de validité du modèle (au-dessus de 4m à Angers). De plus, la correction n'est pas effectuée si l'écart à Angers entre la cote observée et la cote calculée est supérieur à 40cm (en valeur absolue). En effet, on considère qu'au-delà de cette valeur, déjà importante, il est plus probable qu'il y ait une erreur de mesure au capteur plutôt qu'une erreur due au modèle.

Cette méthode a été testée pour 2 crues : la crue de janvier 1995 et la crue de janvier 2004.

Les graphes fournis en annexe F3 permettent de comparer les prévisions calculées avec et sans correction en cours de session de prévision, à Montjean-sur-Loire, Angers (Basse Chaîne) et Ponts de Cé (pour janvier 2004).

La correction améliore les prévisions à Angers, mais ne corrige qu'une partie de l'erreur (environ la moitié pour une erreur initiale de l'ordre de 10cm). Les écarts sont mieux corrigés au moment de la pointe que pendant la montée ou la décrue.

A Montjean-sur-Loire, l'amélioration est moins sensible, du fait de la prépondérance du débit par rapport au volume de stockage. Une correction plus efficace à Montjean devra prendre en compte les débits de la Loire (débits amont et/ou débits des apports intermédiaires).

4.4. MODE DE PRISE EN COMPTE DES MANQUES DE DONNEES

Les manques de données sont traités différemment selon qu'il s'agit de données aux entrées amont ou de données aux capteurs limnimétriques situés à l'intérieur du modèle.

Les données aux capteurs amont sont obligatoires, en cas de panne, ces données doivent être fournies par l'utilisateur. Des prévisions amont doivent également être saisies jusqu'à l'échéance de prévision du calcul

Les données aux capteurs limnimétriques à l'intérieur du modèle ne sont pas obligatoires. En cas de manque, deux modes de prise en compte sont possibles :

- Soit l'erreur considérée est nulle au capteur (observé=prévu),
- Soit l'erreur au capteur est interpolée à l'aide des erreurs aval et/ou amont à d'autres capteurs. Cette procédure est appliquée pour les capteurs suivants : Haute Chaîne et Ponts de Cé. Si le capteur Haute Chaîne est en panne, la correction de prévision prise en compte sera interpolée entre la correction au capteur de Basse Chaîne et la correction au capteur de Cheffes. Si le capteur de Ponts de Cé est en panne, la correction de prévision prise en compte sera interpolée entre la correction au capteur de Montjean et la correction au capteur de Saumur (toujours nulle).

Certains capteurs sont prépondérants pour que la méthode de correction soit la plus efficace possible :

- Montjean
- Angers (Basse Chaîne)
- Ponts de Cé
- Cheffes, Seiches
- Chateaufort

D'autre part, un capteur sur la Mayenne dans les BVA permettrait une correction des niveaux plus pertinente sur la Mayenne. Dans la situation actuelle, la correction des niveaux sur la Mayenne est calculée en interpolant entre l'écart aval (amont de la Maine) et l'écart à Chambellay.

5. CONCLUSION

La mise en œuvre d'un modèle hydraulique détaillé, le modèle à casiers STREAM, pour la prévision en temps réel dans les BVA permet de reproduire fidèlement les phénomènes de crue. En effet, le modèle hydraulique prend en compte les phénomènes de stockage dans les BVA et d'incidence aval, en particulier celle de la Loire. La structure d'accueil temps réel MOISE effectue les calculs de prévision à l'aide du logiciel STREAM en rendant sa mise en œuvre transparente pour l'utilisateur.

Le modèle hydraulique est calé avec une bonne précision dans les BVA (précision inférieure à 10cm dans la plage de validité du modèle, soit pour les hauteurs supérieures à 4m au Pont de Verdun). La précision du modèle est également du même ordre pour les hauteurs comprises entre 3 et 4m. Cependant, les calculs de prévisions comportent des incertitudes supplémentaires par rapport aux conditions de calage du modèle :

- Les entrées aux extrémités amont du modèle sont constituées d'observations et de prévisions. Ces prévisions comportant des incertitudes, ces incertitudes entraînent par conséquent des écarts de prévision en aval. Selon le temps de propagation des débits dans les différentes rivières à partir des points d'entrées amont, l'incidence d'écarts de prévision sur les prévisions en aval sera plus ou moins sensible. Ainsi par exemple, la qualité des prévisions du débit de la Loire à Saumur aura un impact très significatif sur la qualité des prévisions à Angers et dans les BVA, au-delà d'un délai de prévision de 12h environ à Angers.
- Les apports intermédiaires : le Thouet, l'Authion et les apports intermédiaires dans les BVA, sont estimés à partir du débit du Layon et de l'Aubance. De plus, aucun modèle de prévision n'existe actuellement pour ces deux rivières, les prévisions sont par conséquent estimées par le prévisionniste, d'où une source d'incertitude supplémentaire. Le Thouet est un affluent important, et la prise en compte des débits réels et de prévisions réduirait les écarts potentiels dus à l'estimation à partir du débit du Layon.

Pour réduire les écarts de prévision, une procédure de recalage en temps réel est mise en œuvre, cette procédure s'appuie sur les écarts entre valeurs observées et valeurs calculées aux capteurs de niveau du réseau CRISTAL. La validité des mesures aux capteurs est par conséquent essentielle pour que les corrections effectuées soient pertinentes. Les corrections en niveau effectuées dans les BVA permettent d'améliorer la qualité des prévisions, Un capteur supplémentaire sur la Mayenne permettrait de faire des corrections plus précises sur cette rivière entre la confluence Maine/Mayenne et Chambellay. Sur la Loire, la correction en niveau est moins efficace que dans les BVA, du fait de la prépondérance du débit par rapport au volume de stockage. La correction pourrait ultérieurement être complétée par une correction des débits.

La qualité des observations et des prévisions amont est par conséquent primordiale pour obtenir des prévisions de bonne qualité, d'où le rôle essentiel du prévisionniste dans le contrôle et la vérification des données d'entrée, l'analyse critique des prévisions calculées et leur interprétation.