

Les enjeux de la mesure hydrométrique pour les aménagements à buts multiples du Rhône

Sébastien LEGRAND¹, Daniel JOUVE², Gilles PIERREFEU³

¹ Compagnie Nationale du Rhône, 2, rue André Bonin 69316 Lyon cedex 04 – s.legrand@cnr.tm.fr

² Compagnie Nationale du Rhône, 2, rue André Bonin 69316 Lyon cedex 04 – d.jouve@cnr.tm.fr

³ Compagnie Nationale du Rhône, Laboratoire de Gerland - 4, rue de Chalon sur Saône 69007 Lyon – g.pierrefeu@cnr.tm.fr

RÉSUMÉ. – La Compagnie Nationale du Rhône est concessionnaire et aménageur du fleuve Rhône et producteur indépendant d'hydroélectricité.

Ses missions historiques autour de la production hydroélectrique, de la navigation et de l'irrigation présentent les enjeux principaux suivants : sécurité des usagers et des riverains associée à celle des ouvrages ; non-aggravation des crues par le respect des consignes d'exploitation ; respect du débit réservé sur le Rhône court-circuité pour le maintien des écosystèmes ; navigabilité du chenal navigable du Rhône et déclenchement, le cas échéant, des Restrictions de Navigation en Période de Crue ; optimisation de la production hydroélectrique.

Répondre à ces enjeux passe par une bonne connaissance de l'état du bassin versant du fleuve Rhône à tout instant. Ainsi, la CNR a besoin de mesures hydrométriques de qualité, disponibles rapidement et fréquemment, et bien documentées. La CNR a ainsi installé quelque 250 stations hydrométriques télétransmises sur le bassin versant du Rhône.

Une équipe spécialisée en hydrométrie est dédiée à la gestion et à la supervision du réseau, à la réalisation de jaugeages, à la surveillance du zéro d'échelle, etc. Elle s'appuie dans sa tâche sur un système d'information complet centré autour du logiciel HYDROMET, développé pour stocker, gérer et diffuser les données hydrométriques.

Mots-clés : réseau de mesure, stations de mesure, aménagement hydraulique, exploitation

Issues of hydrometric measurements for the exploitation of the Rhone River in France

ABSTRACT. – Compagnie Nationale du Rhône was given the concession of the Rhone River to develop and operate facilities according to three main missions: irrigation, hydroelectric production and navigation.

These missions result in the following issues: safety of users and residents of the waterside closely linked to the safety of dams, plants, locks, etc.; non-aggravation of floods by strictly following operation instructions; respect of the minimal flow on the natural branch of the Rhone River to maintain ecosystems; navigability of the navigable channel of the Rhone River and announcement of the navigation restrictions during floods; optimization of hydroelectricity production. To respond to these issues, the state of the Rhone River catchment must be known very precisely at anytime. That means that CNR need hydrometric measures of quality, available frequently and in real-time, with some metadata. Therefore CNR installed about 250 hydrometric stations with automatic transmission, on the Rhone River catchment.

A team specialized in hydrometry is dedicated to this network's management and supervision, to gaugings, to surveys on benchmark levels, etc. Their tasks are based on a complete information system built around HYDROMET software, developed to store, manage and disseminate the hydrometric data.

Key-words: gauging stations, hydrometric network, hydraulic facilities, operation

I. INTRODUCTION

Le fleuve Rhône, s'écoulant sur 522 km entre la frontière suisse et la Mer Méditerranée, est le fleuve le plus puissant de France. La Compagnie Nationale du Rhône (CNR) a reçu de l'Etat en 1933 la concession du fleuve Rhône pour l'aménager et l'exploiter selon 3 missions historiques : la production hydroélectrique, la navigation et l'irrigation. 18 aménagements à buts multiples ont ainsi été construits le long du Rhône.

La CNR gère quotidiennement l'ensemble de ces aménagements pour remplir ces différentes missions. Les enjeux sont importants : il s'agit d'être performant industriellement tout en assurant la sécurité des usagers et des riverains du fleuve et en respectant le cahier des charges de l'Etat.

La gestion des ouvrages passe par une bonne connaissance à tout instant de l'état du fleuve (cotes, débits, etc.) et des aménagements (indisponibilités des passes ou des groupes, ouverture des barrages, nombre de groupes en fonctionnement, etc.). Parmi tout le panel de données nécessaires à la gestion des ouvrages, la donnée hydrométrique est fondamentale, comme le montrent les exemples suivants.

II. ENJEUX DE LA MESURE POUR LE RÔLE DE CONCESSIONNAIRE

De la concession du Rhône découlent des règles très précises quant à la gestion des aménagements sur le fleuve, quelles que soient les conditions hydrologiques (étiage

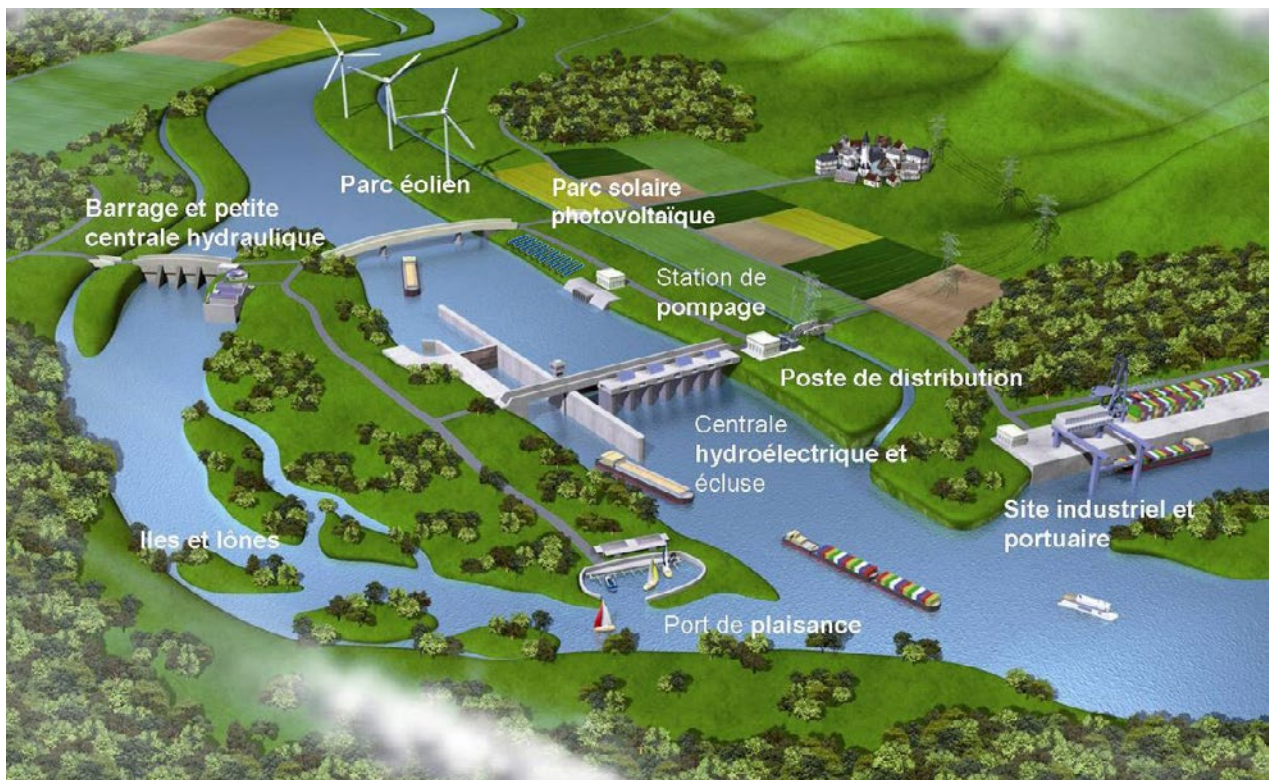


Figure 1 : Aménagement type sur le Rhône.

ou crue). Les services de contrôle au sein des DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) sont chargés de vérifier le respect de ce cahier des charges.

II.1. Conduite des aménagements et non-aggravation des crues

La conduite d'un aménagement est complexe. Il faut s'adapter aux variations des conditions hydrologiques sur le Rhône, ce qui signifie ouvrir ou fermer un volet ou une vanne de barrage, manœuvrer des ouvrages annexes, démarquer ou arrêter un groupe de production, etc., tout en respectant les consignes d'exploitation.

Les consignes d'exploitation, approuvées par la DREAL, sont des courbes niveau-débit en un point de la retenue nommé point de réglage. Pour respecter ces courbes, il est nécessaire de connaître les niveaux et les débits avec une bonne précision.

La CNR a donc installé une série de capteurs transmettant des données sur le Rhône en temps réel aux opérateurs de la téléconduite du Rhône, avec une grande fréquence d'acquisition :

- des stations de mesure de niveau d'eau sur le Rhône et les affluents pour lesquelles des courbes de tarage ont été établies, afin de disposer en temps réel d'une information de débit entrant dans le bief ; ces stations sont régulièrement jaugées afin que la mesure soit la plus correcte possible ;
- des points de mesure de cotes aux points de réglage du Rhône.

Le cahier des charges spécial du concessionnaire impose également le respect de contraintes en termes de non-aggravation des crues par rapport à l'état naturel immédiatement avant aménagement. Les aménagements CNR sont conçus

et exploités de manière à être neutres vis-à-vis du passage des crues. Pour garantir cela au fil des années, la CNR a recours à la modélisation hydraulique des différents biefs du Rhône.

En entrée de ses modèles, la CNR utilise des données topographiques du lit majeur du Rhône ainsi que les données bathymétriques les plus récentes à disposition. En effet, d'une campagne bathymétrique à l'autre, les fonds peuvent avoir évolué suite à l'engravement naturel, au passage des crues, etc.

Le modèle hydraulique est ensuite calé en comparant, pour des événements passés, la ligne d'eau obtenue sur le bief par le modèle avec la ligne d'eau observée réellement. Observer une ligne d'eau consiste à relever l'altitude du plan d'eau aux échelles limnimétriques situées le long du Rhône. La figure 2 est un exemple de lignes d'eau observées sur le bief de Bourg-lès-Valence à différentes dates et qui vont servir à caler le modèle hydraulique pour différents débits.

La disponibilité et la qualité des données sur les événements passés sont donc primordiales :

- Les conditions hydrologiques qui ont prévalu le jour de la mesure doivent être connues et suffisamment précises pour garantir que le modèle sera bien calé. Car une mesure erronée de cote ou de débit lors du calage du modèle peut avoir un impact sur le processus préventif d'évaluation des contraintes du cahier des charges spécial.
- De plus, ces lectures aux échelles présentent des incertitudes de l'ordre de 10 à 20 cm suivant le débit. Ces incertitudes proviennent à la fois de l'incertitude sur l'altitude du zéro d'échelle et de l'incertitude sur la lecture elle-même, liée à l'éloignement de l'observateur (la lecture se fait depuis un bateau), la précision des graduations sur l'élément d'échelle ainsi qu'aux vagues causées par le vent et au battillage.

Une fois calé, le modèle hydraulique est utilisé pour évaluer les éventuels besoins d'entretien :

- réalisation de dragages,

— traitement préventif de la végétation dans le but de favoriser la remobilisation des matériaux par le fleuve lui-même.

Ces travaux s'élevant à plusieurs millions d'euros chaque année, la fiabilité de ces conclusions, et donc entre autres des données d'entrée, est primordiale.

II.2. Débits réservés

Les aménagements hydroélectriques du Rhône captent une partie de la ressource en eau par l'intermédiaire des canaux d'amenée. Le débit maintenu dans le Vieux-Rhône est appelé débit réservé ; il est fixé par l'Etat pour tous les cours d'eau en France dans le cadre de la loi sur l'eau (article L214-18 du Code de l'environnement).

Les enjeux sont très importants pour la CNR :

— D'un côté, la CNR se doit de respecter les débits réservés pour des raisons environnementales de maintien des écosystèmes et pour les raisons légales qui en découlent.
— De l'autre côté, garder une marge importante sur le débit déversé au barrage vient en opposition de l'objectif de production d'électricité.

Pour optimiser la gestion de ses aménagements, la CNR doit donc respecter les débits réservés, tout en étant le plus proche possible. Cela passe par une connaissance très fine de la hauteur d'eau sur les Vieux-Rhône ou sur le Rhône, ainsi que des relations hauteur-débit. Des jaugeages sont régulièrement effectués pour vérifier la qualité des courbes de tarages et, *in fine*, vérifier que les débits réservés sont respectés sur la concession du Rhône.

II.3. Navigabilité du fleuve

La navigation sur le fleuve est un des objectifs des aménagements à buts multiples construits sur le Rhône. 14 écluses

à grand gabarit ont ainsi été construites sur le Bas-Rhône (i.e. en aval de Lyon).

Pour renforcer ce service, la CNR a mis à disposition des navigants, via le site www.inforhone.fr, différentes informations issues de ses propres capteurs : le mouillage dans les écluses, la hauteur libre sous les ponts, les conditions hydrologiques (débits aux stations principales). Même si l'utilisation des données est soumise à la responsabilité de l'utilisateur, la fiabilité et la disponibilité des données constituent une problématique importante pour la CNR.

De plus, afin d'améliorer sur le Rhône les procédures de restriction de la navigation des bateaux à passagers (BAP) et des bateaux de plaisance en temps de crue, le système des RNPC (Restriction de Navigation en Période de Crue) a été mis en place sur décision du Service Navigation Rhône-Saône, la CNR ayant la charge de sa mise en œuvre opérationnelle. Lorsque les conditions de navigation ne sont plus réunies, les RNPC sont déclenchés sur dépassement de seuil de débit, la navigation devenant interdite pour les BAP et bateaux de plaisance. Les RNPC sont également consultables dans InfoRhône (cf. figure 3). Le déclenchement ou le non-déclenchement des RNPC ayant un impact important sur les utilisateurs du fleuve, il est nécessaire que la valeur de débit faisant référence soit précise.

II.4. Production d'électricité

La production d'électricité est une des missions liée à la concession du Rhône. Elle dépend de l'hydrologie du Rhône, les retenues n'ayant pas la capacité de stocker les apports entrants sur de longues périodes (aménagements au fil de l'eau). Or, en tant que responsable de périmètre d'équilibre pour le réseau électrique, la CNR est tenue d'informer tous les jours à heure fixe le réseau de transport d'électricité (RTE) de la quantité précise d'électricité qu'elle produira le lendemain, heure par heure.

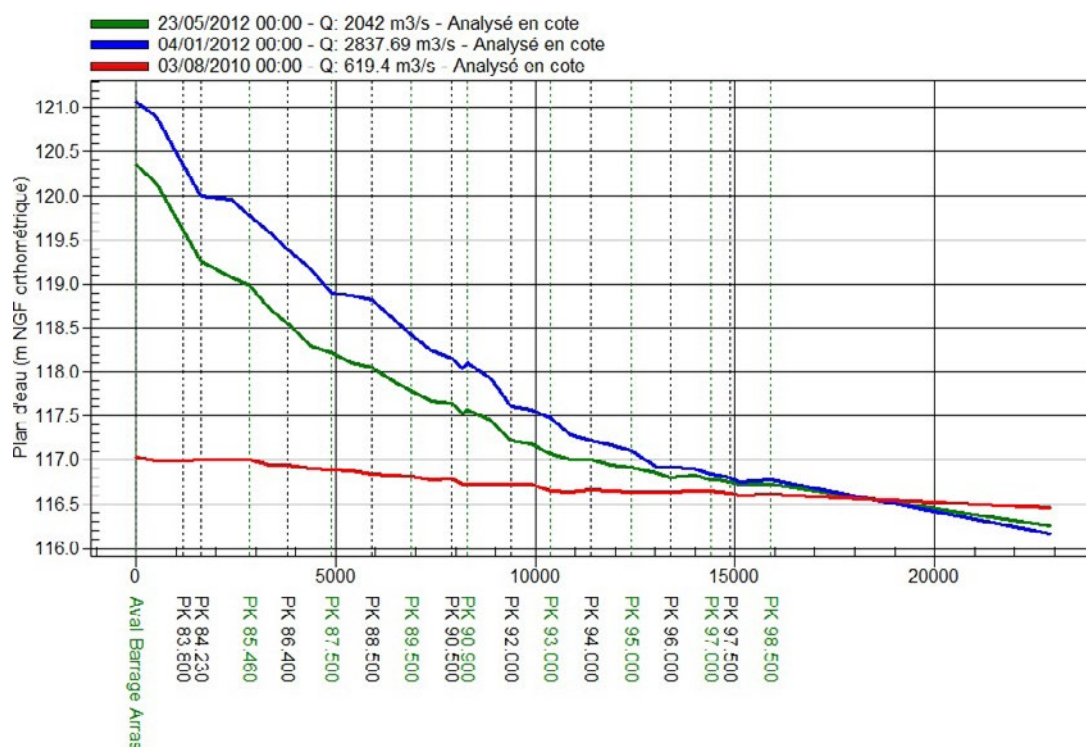


Figure 2 : Lignes d'eau sur le bief de Bourg-lès-Valence pour différents débits (interface HYDROMET).

Secteurs	Date heures	SC (m³/s)	Débits (m³/s)	État RNPC	Ouvertures	Ecluses	Sens A I M
1 - TERNAY Aval Saône Amont Isère (Pk0.300-101.500)	12/07/2013 13:10	2550	2350	680	RAS	Pierre-Bénite Vaugris Gablons Gervans	00 00 00 00
2 - VALENCE Amont Isère Amont Eyrieux (Pk101.500-126.200)	12/07/2013 13:10	3260	3650	1308	RAS	Bourg-lès-Valence Deauchastel	00 00
3 - VIVIERS Amont Eyrieux Restitution Donzère (Pk126.200-200.500)	12/07/2013 13:10	3350	3700	1635	RAS	Logis-Neuf Châteauneuf Bollène	00 00 00
4 - CHUSCLAN Restitution Donzère Restitution Caderousse (Pk200.500-218.200)	12/07/2013 13:10	3400	3800	1597	RAS	Caderousse	00
5 - ROQUEMAURE Restitution Caderousse Amont Durancie (pont TGV) (Pk218.200-246.000)	12/07/2013 13:10	3500	3900	1502	RAS	Avignon	00
6 - BEAUCAIRE - TARASCON Amont Durancie (pont TGV) Mer (Pk246.000-323.500)	12/07/2013 13:10	3900	4300	1634	RAS	Beaucaire Barcarin Pont St Louis	00 00 00

RAS Navigation : situation normale
RNPC Navigation des plaisanciers et des BAP interdite
Défaut Station en défaut, aucune information disponible (déclaration manuelle des états)
E Ecluse ouverte ou fermée dans le sens Avalant ou Montant

Figure 3 : Informations de débit et état des RNPC diffusées en temps réel sur le site InfoRhône.

Pour ce faire, la CNR utilise des modèles hydrologiques développés en interne qui permettent de prévoir les débits des principaux affluents et les débits du Rhône à la sortie du territoire suisse. Ces modèles utilisent en entrée l'information hydrométéorologique (cotes, débits, pluies) des points de mesure situés sur le bassin versant du Rhône. Les apports résultant de ces modèles sont ensuite intégrés au niveau de chacun des aménagements et convertis en production.

L'absence de données, ou des données manquant de fiabilité en entrée de ces modèles sont préjudiciables, car elles impactent directement la qualité de la prévision de production d'électricité. Or si la production réelle tend à déséquilibrer le réseau électrique par rapport à la production prévue, la CNR sera pénalisée financièrement : tout mégawatt supplémentaire qui nuit à l'équilibre du réseau est vendu à un prix bas, engendrant un manque à gagner important, tandis que la CNR devra racheter un mégawatt qui lui manque à RTE ou à un autre producteur, à un prix qui peut être très élevé.

III. GESTION DU RÉSEAU ET DÉVELOPPEMENT D'UN SYSTÈME D'INFORMATIONS

La CNR a installé près de 250 points de mesures le long du Rhône pour répondre à l'ensemble de ses besoins, dont la plupart ont été évoqués dans les paragraphes précédents.

Ces points de mesures sont télétransmis, avec une fréquence d'acquisition importante. Les moyens de transmissions sont variés : fibre optique, GSM, etc. et assurent une réception rapide des données. Par ailleurs, ces points de mesures sont généralement doublés : autrement dit, un capteur est constitué de deux voies indépendantes d'acquisition qui limitent *de facto* les risques d'absence de données.

III.1. Développement d'un système d'information

Afin de mettre à profit le plus efficacement possible l'ensemble des données disponibles, la CNR a développé en interne un système d'information complet.

Un SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) a été mis en place pour acquérir et superviser l'ensemble des données des ouvrages et des capteurs (cotes, débits Rhône, débits usine et barrage, etc.), dans le but de conduire en temps réel les aménagements du Rhône.

En termes de mesures hydrométriques, le logiciel HYDROMET a été développé en partenariat avec l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) afin :

- de collecter l'ensemble des données hydrométéorologiques réparties sur le bassin versant du Rhône : cotes, débits, jaugeages, courbes hauteur-débit, paramètres de qualité d'eau, pluies, températures, vitesse du vent, etc., ainsi que les lignes d'eau ;
- de stocker les informations dans une base de données ORACLE assurant leur intégrité ;
- de traiter automatiquement en temps réel ou différé des données de la base : critique des valeurs, calcul de moyennes (horaires, journalières, etc.) sur une période quelconque, transformation par courbe hauteur-débit (courbe simple ou double), cumul pluviométrique, recherche et tracé de minima et de maxima, tracé des mesures classées, calcul de volumes de crue, ajustements statistiques, etc. ;
- de mettre à disposition des informations stockées dans la base par différents moyens de diffusion.

La CNR a développé une fonctionnalité (nommée Best Of) dans HYDROMET réalisant, pour les principaux points de mesure du bassin versant du Rhône, l'analyse en temps réel de différentes sources disponibles (débit calculé via une courbe de tarage, mais aussi débit barrage + débit usine, débit amont avec déphasage, etc. – cf. exemple de la station de Ternay à la figure 4). Les différentes sources de données sont hiérarchisées selon leur fiabilité théorique (déterminée par l'expertise de l'équipe de supervision du réseau), leur disponibilité (fréquence d'acquisition des mesures) et la gamme de débits. Si la source de données principale présente un défaut, elle est remplacée par une des autres mesures paramétrées. Il s'agit d'un mode dégradé sophistiqué car il est variable selon la gamme de débits, il évite les oscillations autour du seuil de changement de gamme et il intègre un test de cohérence inter-solutions. Cette sélection des mesures en temps réel garantit ainsi la disponibilité des données et la meilleure fiabilité possible de l'information à ces points de mesure.

HYDROMET a également été développé dans un objectif de disposer d'un maximum d'informations sur les données elles-mêmes (les métadonnées), afin d'en faciliter l'analyse et l'utilisation au regard des enjeux : qualité des données, fiabilité des courbes de jaugeage, commentaires sur les conditions de réalisation des jaugeages, commentaires sur la réalisation des lignes d'eau, etc.

Afin de faciliter l'utilisation en temps réel des données hydrométriques contenues dans HYDROMET, des outils ont également été développés autour d'HYDROMET.

L'interface web SIH (Système d'Information Hydrométéorologique), entièrement paramétrée dans HYDROMET et accessible sur l'Intranet pour tout utilisateur CNR, permet :

- de diffuser les données d'HYDROMET sur une carte du bassin, et ainsi de superviser l'état hydrométéorologique en temps réel du bassin versant du Rhône (y compris les stations présentant un défaut de transmission) ;
- de superviser la cohérence des données utilisées dans le module Best Of ;
- d'accéder aux bulletins météorologiques effectués en interne ;

— de visualiser les prévisions de débits aux stations principales du Rhône jusqu'à J+2 inclus.

En outre, les données de débits, de mouillages, de hauteurs libres mises à disposition en temps réel sur le serveur InfoRhône sur Internet, sont également issues d'HYDROMET et de son module Best Of.

De plus, PHARE, outil de prévision des débits sur les affluents du Rhône en temps réel, fait automatiquement appel aux données de débits et de hauteurs d'eau contenues dans le module Best Of d'HYDROMET : le prévisionniste est certain de disposer en temps réel des données les plus récentes en un point de mesure.

Solution	Mesure	Q(h) D CTR	Groupe	Station	Mesure	Calcul auto d'erreur (%)
Solution 1 2692	Mesure	Q(h) D CTR	DRVI_VS	Ternay (PK 15.200)	Débit Instantané Brut ... 1160	15
Solution 2 2693	Mesure	Q(h) D RTC	DRVI_VS	Ternay (PK 15.200)	Débit Instantané Seci ... 53349	15
Solution 3 4269	Mesure	Q(h) D CTR'	DRVI_VS	Ternay (PK 15.200)	Débit Instantané Seci ... 80509	15
Solution 4 4629	Mesure	Usine(+0.5h) + Aval Br	DRVI_VS	Ternay (PK 15.200)	Débit Instantané Seci ... 81989	15
Solution 5 5489	Mesure	Q(h) D CTR/PK 28.6\	DRVI_VS	Ternay (PK 15.200)	Débit Instantané Seci ... 80509	15

Figure 4 : Paramétrage de la mesure Best Of de Ternay pour les débits supérieurs à 450 m³/s.

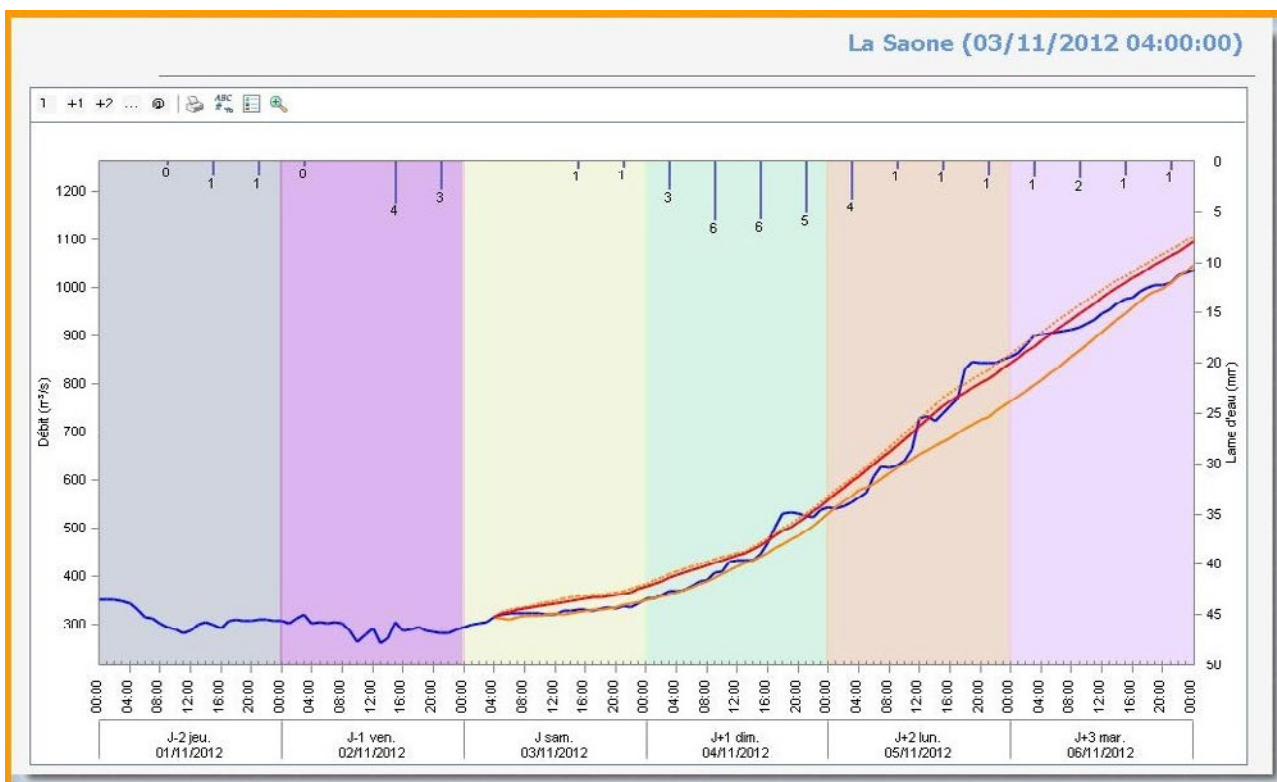


Figure 5 : Visualisation dans PHARE des prévisions de l'algorithme multi-modèles de la Saône en temps différé.

La CNR a développé dans PHARE des algorithmes de prévision de différents types (modèles pluie-débit, modèles de propagation, etc.) :

- sur une vingtaine d'affluents du Rhône (cf. exemple de la Saône sur la figure 5) ;
- sur le Rhône à la sortie du territoire suisse ;
- sur les bassins versants non jaugés.

PHARE a également été développé de façon à pouvoir rejouer des événements passés en conditions opérationnelles.

Enfin, la CNR a développé des outils permettant de générer automatiquement des messages d'alerte (sous forme de fax, de mails ou de SMS) à l'attention des personnels concernés, lors de dépassements, observés ou même prévus, de seuils (haut ou bas), de gradients, etc. Pour le bon fonctionnement de ces outils, il est nécessaire de disposer en temps réel des valeurs de niveau et de débit les plus fiables possibles.

III.2. Supervision du réseau

Au regard de ces enjeux, la CNR a également mis en place des équipes dédiées à la supervision et à la gestion du réseau hydrométéorologique de la CNR ainsi qu'à l'analyse de la qualité de la mesure hydrométrique en temps réel et en temps différé.

Ces deux missions consistent à étudier la cohérence entre différentes sources de données, notamment via l'interface du SIH : cohérence amont /aval, comparaison des données hydrométriques et des données barrage et usine, analyse des extrema,

etc. La détection d'une anomalie va entraîner des actions de correction : recalage du zéro de la station, modifications de valeurs en base (la valeur initiale étant conservée), réalisation de jaugeages et modification de la courbe de tarage, etc.

IV. CONCLUSION

La concession du Rhône présente de nombreux enjeux liés à la sécurité des personnes, au maintien des écosystèmes, aux conditions de navigation et à la production d'électricité.

Le système d'information hydrométéorologique développé et mis en place à la CNR permet de répondre de façon optimale à l'ensemble de ces enjeux, grâce à une bonne connaissance de l'état de la concession à chaque instant. Ce système d'information s'appuie sur des mesures hydrométriques fiables, disponibles en temps réel et, si nécessaire, sur un mode dégradé performant.

Des indicateurs permettent de vérifier la pertinence de l'ensemble du processus. A titre d'exemple, l'écart de production entre le programme de prévision établi la veille et la production réalisée était inférieur à 3% en 2012.

Depuis le 1^{er} juillet 2009, la CNR a également en charge l'optimisation de la production et de la gestion des centrales hydroélectriques de la SHEM (Société Hydro-Electrique du Midi). Ainsi, la CNR, en partenariat avec la SHEM, valorise son savoir-faire sur des bassins versants et des aménagements présentant des modes d'exploitation et des enjeux différents.