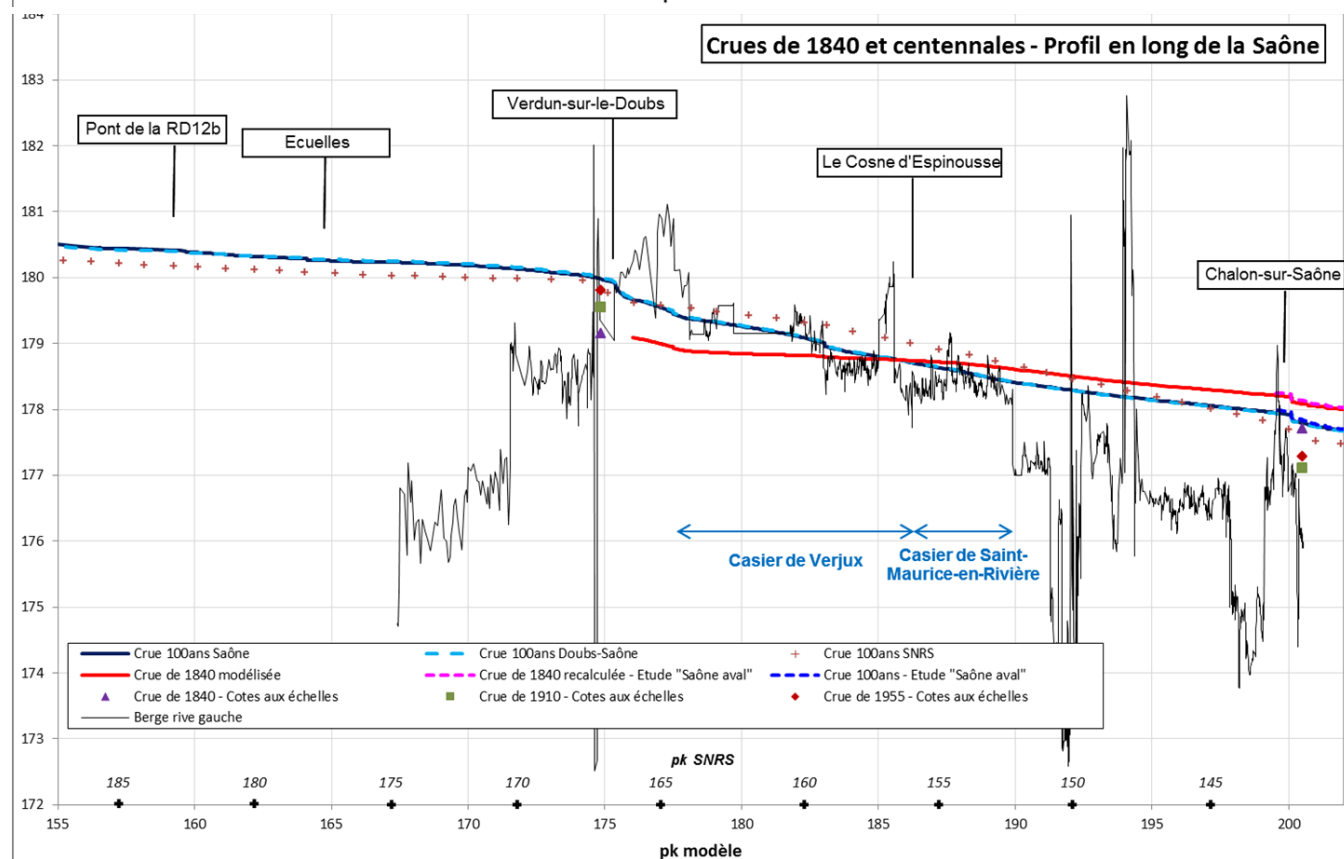
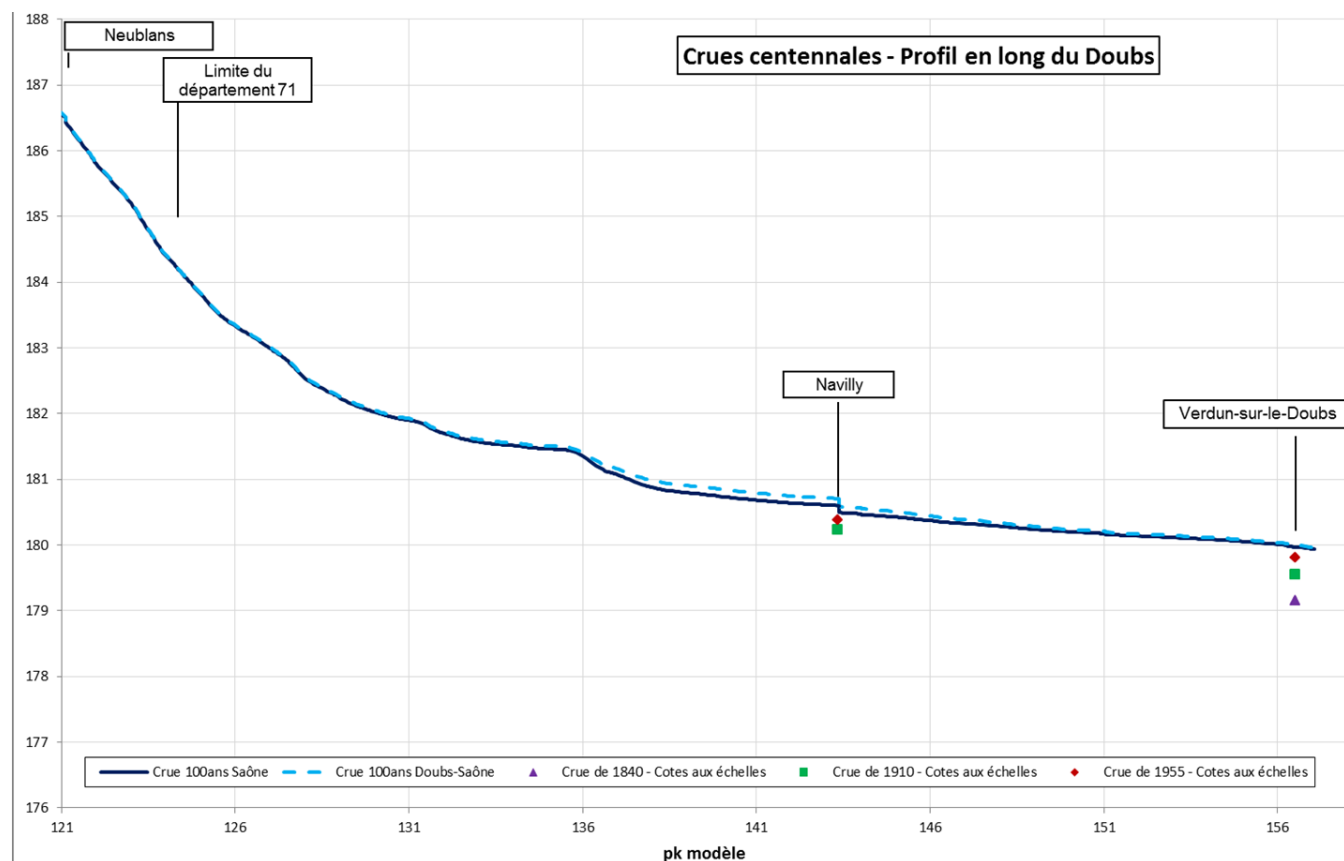


LES PREMIERS RÉSULTATS

Les profils en long ci-dessous présentent les résultats du calcul de la ligne d'eau centennale (dominante Saône ou Doubs-Saône) sur les deux rivières (Doubs et Saône). Sur la Saône sont également représentés les niveaux de la crue de référence actuelle (« crue 100 ans SNRS » utilisée pour les PPR ou Plans de Surfaces Submersibles) ainsi que la crue de 1840 recalculée aux conditions actuelles d'écoulement (débit centennal à Chalon, mais avec niveau d'eau élevé en aval).



Les points kilométriques (PK Modèle) en abscisse sont ceux du modèle et ne correspondent pas aux PK de la Navigation.

MODELISATION HYDRAULIQUE DE LA SAÔNE ET DU DOUBS EN AMONT DE CHALON-S-SAONE JUSQU'AUX LIMITES DU DÉPARTEMENT DE SAÔNE-ET-LOIRE

E.P.T.B. Saône et Doubs 220 rue du KM 400 - 71000 MACON — Tél. 03 85 21 98 12 Fax 03 85 22 73 45 - info@eptb-saone-doubs.fr

CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'État et l'Établissement Public Territorial du Bassin Saône et Doubs ont commandé la mise en œuvre d'un outil permettant de modéliser le comportement hydraulique de la Saône et du Doubs à l'amont de Chalon-sur-Saône jusqu'aux limites du département de Saône et Loire (vers le Jura et la Cote d'Or). Après réalisation des levés topographiques, la seconde phase de cette étude concerne l'élaboration de l'outil de calcul (modèle hydraulique).

Les conclusions de l'étude de la Saône à l'aval de Chalon

Une étude hydraulique de la même ampleur a été conduite par l'Etat et l'EPTB entre 2006 et 2008 sur la Saône entre Chalon et Lyon. Parmi ses objectifs principaux figurait le re-calcul d'une crue du type de celle de novembre 1840. En effet, cette crue historique, issue du concours de pluies océaniques et d'événements orageux sur l'aval, constitue les Plus Hautes Eaux Connues sur le secteur de Chalon à Lyon, et sa période de retour (*) est par endroits supérieure à 100 ans. De ce fait, elle devait réglementairement être prise comme référence dans les Plans de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI).

Cependant, compte tenu des fortes évolutions de la vallée (dragages, remblais etc.), il a été convenu de recalculer cette crue aux conditions actuelles d'écoulement grâce à un modèle s'appuyant sur une topographie récente.

Il s'avère qu'une telle crue, si elle se reproduisait aujourd'hui, atteindrait dans la partie amont de la vallée, des niveaux d'eau plus importants qu'à l'époque (voir le document « étude hydraulique de la Saône aval »). Cela provient notamment de l'extrême faiblesse de la pente de la Saône sur ce secteur (de l'ordre de 1cm par km en période de crue) et des nombreux ouvrages en remblai construits dans son lit majeur depuis l'époque (routes d'accès aux ponts...).

Ainsi, les niveaux recalculés d'une crue de ce type sont supérieurs de l'ordre de 35 cm aux niveaux historiques à Chalon.

Un même outil pour plusieurs objectifs

Dans le cadre de l'élaboration des PPRI ou de leur révision, l'Etat avait donc besoin de connaître avec précision les impacts d'une telle crue à l'amont de Chalon.

(*) période de retour : voir encadré page 3)

Par ailleurs, dans le cadre du Programme d'Actions de Prévention des Inondations de la Saône signé avec l'Etat, l'Établissement Public Territorial du Bassin Saône et Doubs pilote plusieurs actions qui nécessitent la mise en place d'un modèle :

- Mise en œuvre des Plans Communaux de Sauvegarde pour les crues plus fréquentes (calcul des zones submergées sur chaque commune pour différentes cotes aux échelles d'annonce),
- Connaissance des impacts des divers obstacles naturels ou artificiels sur l'écoulement des crues, et définition d'un programme d'améliorations
- Validation des hypothèses de calcul pour la modification de la gestion du casier agricole de Saint-Maurice-en-Rivière à Allériot.
- Appui aux structures gestionnaires de digues pour les dossiers réglementaires

Des besoins communs

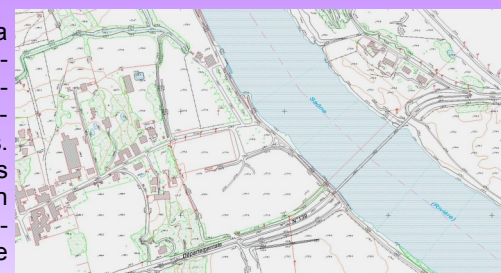
Cette étude nécessitait donc une approche scientifique précise, s'appuyant sur une réalité de terrain (recensement des ouvrages et aménagements existants...) et actualisée (levés topographiques récents). Il fallait ensuite construire un outil capable de calculer les hauteurs, vitesses et durées de submersion, avec une grande précision, en chaque point de la vallée.

Cette approche a donc été conduite en partenariat étroit entre l'EPTB et l'État, dans un souci de transparence compte tenu des enjeux existants notamment en matière d'aménagement du territoire, d'urbanisme et de développement local. Il a été retenu pour cela de mener cette étude sous l'autorité d'un comité de pilotage co-présidé par l'État et l'Établissement Public, associant les différents niveaux de Collectivités concernées selon des modalités précisées dans le cadre d'une convention.

Les données du terrain

La photogrammétrie

En première phase de l'étude, l'Etat a fait réaliser une campagne de levés topographiques à grande échelle par photogrammétrie, procédé basé sur l'exploitation de photos aériennes verticales. Sur environ 143 km² du lit majeur des deux rivières, cela a permis d'obtenir un semis d'une dizaine de points par hectare, avec une précision altimétrique de 16 cm.

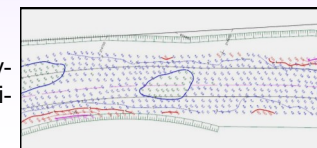


Ouvrages

Environ 240 ouvrages (buses, vannages de digues ou ponts) ont été répertoriés, visités, mesurés et pris en compte dans le modèle.

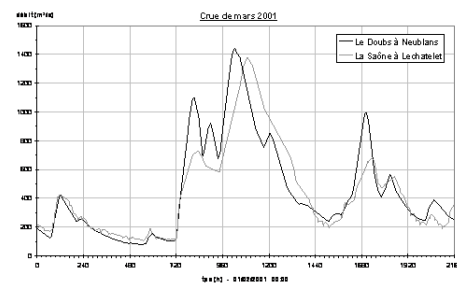
Bathymétrie

Le Service de la Navigation a mis à disposition la bathymétrie récente du chenal navigable ainsi que ses archives pour les zones hors du chenal.

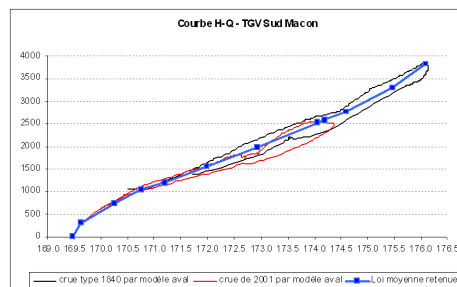


LA CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

Le modèle hydraulique développé (voir encadré ci-contre) permet de calculer rapidement, en chaque point de la vallée, les hauteurs, durées de submersion et vitesses d'écoulement, à partir de plusieurs données d'entrée : le débit injecté en amont et à chaque confluence, ainsi que le niveau ou la courbe niveau / débit en aval.



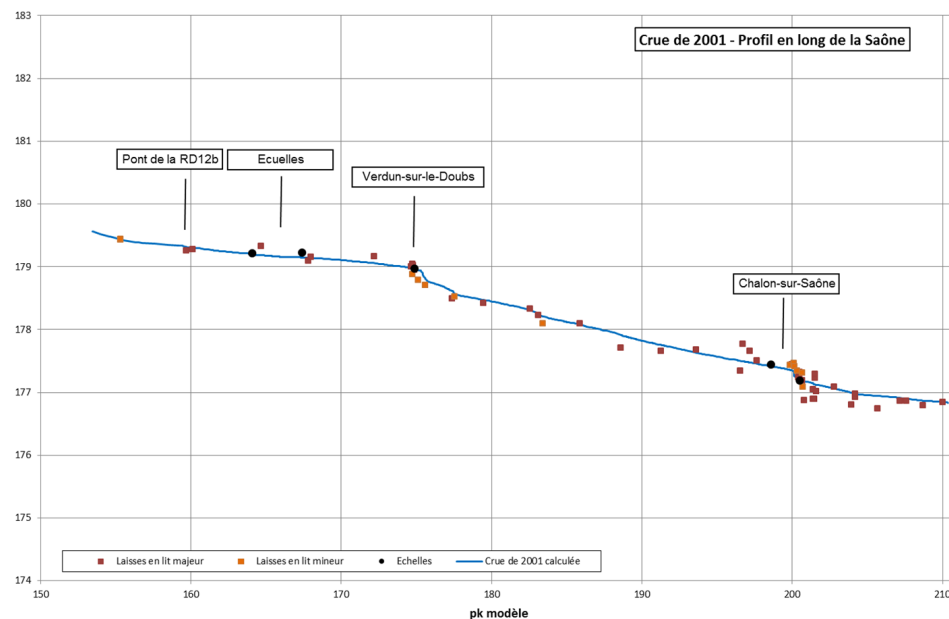
Hydrogrammes en amont (exemple : mars 2001)



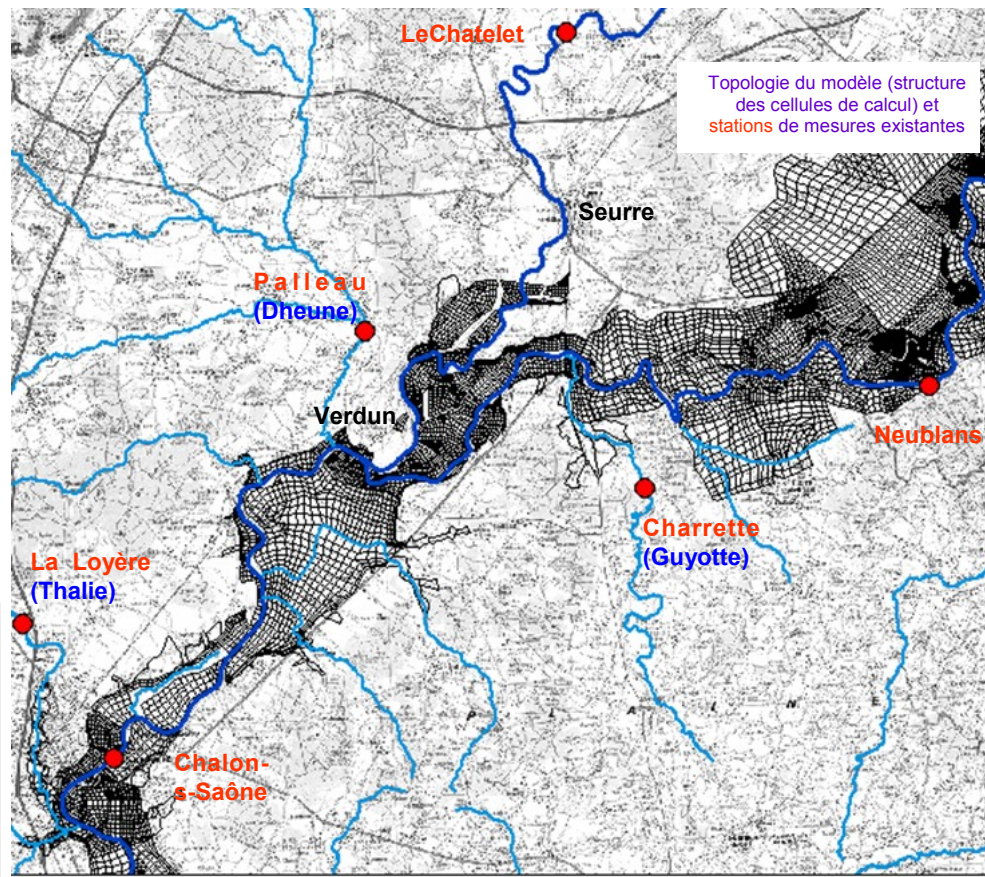
Loi de tarage (courbe niveau/débit) en aval (Mâcon)

Ce modèle est ensuite « calé » en se basant sur des crues récentes pour lesquelles on dispose de données suffisantes (débits, laisses de crues...). Lors de cette opération, il s'agit d'ajuster les lois qui régissent l'écoulement dans le modèle (rugosité, coefficients de déversement par-dessus les digues etc.) afin que celui-ci reproduise fidèlement la réalité.

Le modèle développé a été calé sur les crues présentant une topographie récente et des données hydrologiques suffisantes (2001 et 1983) avec une précision (moyenne des écarts en enlevant les points aberrants) inférieure à **15 cm** sur l'ensemble du modèle. La respect des formes des hydrogrammes et des surfaces inondées a également été contrôlé.



Calage du modèle en altimétrie sur la crue de 2001 (profil en long de la Saône)



Modèle hydraulique bidimensionnel et à casiers

Les modèles hydrauliques effectuent la résolution de plusieurs milliers d'équations en chaque point de calcul et à chaque temps. Ils calculent ainsi le débit, le niveau d'eau, mais également les vitesses d'écoulement. Ces équations peuvent être résolues, moyennant certaines simplifications :

- soit en considérant que l'écoulement présente une direction privilégiée le long d'un axe (modèle monodimensionnel ou 1D)
- soit en considérant un réseau de « casiers » communicant entre eux (1D à casiers, ou « pseudo 2D »)
- soit en considérant que l'écoulement ne présente pas de direction privilégiée (bidimensionnel ou 2D)

Les modèles bidimensionnels sont plus lourds à mettre en œuvre et onéreux, mais présentent l'avantage de pouvoir simuler plus facilement des phénomènes hydrauliques complexes. Pour l'étude hydraulique Saône Doubs, le modèle retenu est mixte (1D / casier / 2D), selon les caractéristiques hydrauliques et les enjeux de chaque tronçon.

L'ANALYSE HYDROLOGIQUE : CALCUL DES DÉBITS CENTENNAUX

Périodes de retour

La période de retour d'une crue représente la probabilité qu'à cette crue de se produire, chaque année (en un point donné de la rivière). Ainsi, chaque année, une crue de période de retour 100 ans présente une chance sur 100 de se produire. Estimer que cette crue se produirait tous les cent ans est inexact. Ainsi, sur la Saône en 1981, 82 et 83 se sont succédé 3 crues de période de retour supérieure à 20 ans. La période de retour d'une crue peut également varier sur un tronçon de rivière (vingtennale en amont, puis décennale vers l'aval par exemple)

Cette période de retour peut être calculée en analysant une série de mesures de débits, classés par saison et par importance, puis affectés d'une fréquence de dépassement observée. Cette série est en suite « calée » sur une Loi de répartition des événements rares (Loi de Gumbel) grâce à différentes techniques d'ajustement. Ceci permet de déduire les probabilités de dépassement de chaque débit, mais aussi les débits associés à des probabilités de dépassement données (débits liés à une période de retour 2, 5, 10, 20, 50, ou 100 ans par exemple).

Confluence

La probabilité de deux événements indépendants est théoriquement le produit des probabilités de chacun de ces événements. Ainsi, la probabilité d'observer deux crues décennales simultanées sur deux rivières devrait être de 1 / 100.

A la confluence de deux rivières, il n'est cependant pas rare que les crues soient simultanées (concomitantes) du fait du passage d'un même épisode pluvieux sur les deux bassins versants voisins. Les deux pics de crue peuvent alors s'additionner, selon leur décalage temporel. Le décalage moyen entre les pics du Doubs à Neublans et de la Saône à LeChâtelet est par exemple de 66 heures.

Le débit issu de la concomitance de deux crues centennales de la Saône et du Doubs dépasserait une période retour de 100 ans à l'aval de la confluence. Ainsi, si l'on souhaite calculer une crue centennale unique d'amont en aval de la confluence, il faut imaginer une centennale à « dominante » Doubs ou Saône et de période de retour entre 65 et 80 ans sur l'autre axe (cf. tableau ci-contre).

Analyse des crues historiques

Les 15 principales crues historiques ont été analysées afin de déterminer les grandes tendances (saison, décalages temporels, temps de montée, propagation...) et de déterminer sur chaque secteur les plus hautes eaux connues. Les plus grandes d'entre elles sont :

- Janvier 1955 sur la Saône entre LeChâtelet et Chalon et sur le Doubs en aval de Navilly
- Novembre 1840 sur la Saône à partir de Chalon et vers l'aval,
- janvier 1910 sur le Doubs en amont de Navilly

Le temps moyen de montée des crues est de 6 jours pour le Doubs à Neublans et de 9 jours pour la Saône à LeChâtelet. Le décalage moyen des pics (retard de la Saône sur le Doubs) est de 66 heures, soit presque 3 jours. Les temps de propagation sur ce secteur sont très variables, puisque le pic du Doubs peut par exemple faire monter la Saône à Verdun avant que le pic « Saône » n'arrive à LeChâtelet.

Apport des affluents

L'apport des affluents de la Saône et du Doubs a également été pris en compte : la Guyotte, la Dheune, la Thalie / Corne / Orbise, équipées de stations de mesures. Cependant celles-ci sont souvent situées à proximité des confluences et donc fortement impactées par la Saône ou le Doubs. Comme sur les bassins non équipés (Sablonne, Cosnes d'Epinois), l'apport a donc été calculé par propagation d'une crue sans affluents, puis répartition du volume manquant à l'aval sur les affluents au prorata de la superficie de leurs bassins versants. L'expansion des crues dans les zones de confluence et la possibilité

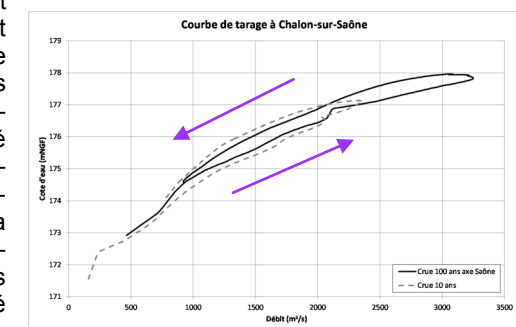
pour la Saône et le Doubs de remonter dans les lits de leurs affluents a bien été observée et prise en compte.

Rôle des casiers de stockage (dignes agricoles)

Les volumes importants des casiers de Verjux (19 millions de m³) et St-Maurice-en-Rivière (14 millions) offrent une capacité potentielle d'écêtement très significative et les digues des casiers sont globalement calées au niveau de la crue centennale. Cependant, la doctrine de l'Etat pour la modélisation des événements de référence suppose la transparence de tout aménagement de protection. Le débit d'une crue du type de 1840 est alors écrêté de 400 m³/s.

Le phénomène d'Hystérésis

Un phénomène complique particulièrement le calcul des hauteurs et des débits sur la Saône : compte tenu des très faibles pentes et des casiers (dignes agricoles), pour un même débit les hauteurs ne sont pas identiques à la crue et à la décrue. Ainsi, pour une même cote lue à l'échelle de crue (7m06 à Chalon), le débit peut être de 3 000 m³/s (phase de crue) ou de 2 300 m³/s (phase de décrue). Autre conséquence : lorsque la cote atteint son maximum à l'échelle, le débit est déjà en train de diminuer depuis plusieurs heures...



Les débits calculés

L'analyse hydrologique conduit aux résultats suivants pour les débits de pointe (en m³/s) :

Période de retour	20 ans	50 ans	65 ans	100 ans	80 ans
Saône à LeChâtelet	1 480	1 770	1 854	1 990	
Doubs à Neublans	1 740	2 020		2 240	2170
Saône à Chalon	2 630	2 990		3240	

Débits en m³/s

100 ans « Doubs- Saône »

100 ans « Saône »