

ingérop

ETUDES HYDRAULIQUES

**2, Place Planchat
18000 BOURGES**

Tél. : 02.48.70.03.56

Fax. : 02.48.65.56.11

E-mail : ingérop.bourges @ wanadoo.fr

CONSEIL GÉNÉRAL DU JURA

**RD 3 liaison Saint-Amour -
A.39**
Pont de Mailly sur le Besançon

**ETUDE HYDRAULIQUE DU
REPLACEMENT DU PONT EXISTANT**

FÉVRIER 1999

S o m m a i r e

	<u>PAGES</u>
<u>1 - PRESENTATION DE L'ETUDE ET DES RESULTATS</u>	1
<u>2 - ANALYSE HYDROLOGIQUE</u>	3
2.1 Présentation du réseau hydrographique	3
2.2 Estimation des débits de crue au droit du site d'étude	3
<u>3 - ETUDE HYDRAULIQUE</u>	6
3.1 Présentation du site et enquête de terrain	6
3.2 Construction et calage du modèle	12
3.3 Exploitation du modèle dans l'état actuel	14
3.4 Exploitation du modèle dans l'état projet	15

**PRESENTATION
DE L'ETUDE
ET DES RESULTATS**

1 - PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE ET DES RÉSULTATS

L'aménagement de la RD 3 entre l'A.39 et SAINT-AMOUR suppose également le remplacement du pont voûte sur le lit vif existant du Besançon pour des raisons de génie civil. Réalisé il y a longtemps en maçonnerie, sa structure s'est fragilisée et menace de s'effondrer à court terme sous le poids du trafic qui augmente.

L'objet de cette étude est de dimensionner un nouvel ouvrage n'induisant aucune incidence hydraulique notable au droit du moulin qui jouxte l'ouvrage existant.

Le Besançon est un cours d'eau jurassien dont la superficie du bassin versant superficiel atteint 20,5 km² au droit du projet et dont l'analyse hydrologique fournit les débits caractéristiques de crue suivants :

$$Q_{10} = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 12,9 \text{ m}^3/\text{s (crue de projet)}$$

Un modèle numérique d'écoulement a été réalisé sur la base de 6 profils en travers du cours d'eau. Après calage et exploitation de celui-ci pour obtenir les caractéristiques d'écoulement de la crue de projet dans l'état actuel, il a été mis en oeuvre pour tester les conditions d'écoulement futures en phase travaux et en phase d'exploitation en relation avec l'implantation d'un nouvel ouvrage de type pont-cadre de 7,50 m d'ouverture dont les caractéristiques principales figurent ci-après :

Ouvrage projeté	pont-cadre
Ouverture (m)	7,50
Longueur (m)	10
Cote N100 aval (NGF)	207,61
Cote N100 amont (NGF)	207,74
Perte de charge induite (cm)	13
Vitesse maxi (m/s)	1,5
Cote minimale de sous-poutre (NGF)	208,40
Appui en lit mineur	NON
Observations	Radier naturel et section du lit mineur conservés

Les écoulements en crue au droit du moulin se trouvent ainsi nettement améliorés car n'étant presque plus débordants entre vannes amont et ouvrages actuels détruits : on constate ainsi une baisse de la ligne d'eau centennale de 10 cm sans modification notable des vitesses d'écoulement.

Tout au plus, on notera que durant la phase travaux, l'incidence hydraulique due à la présence concomitante des ouvrages actuels et futurs se traduit par une élévation de la ligne d'eau décennale de 5 cm au droit du moulin, ce qui reste tout à fait acceptable surtout si l'on effectue les travaux comme il se doit en période d'étiage où le risque est le plus faible de voir survenir une telle crue.

ANALYSE HYDROLOGIQUE

2 - ANALYSE HYDROLOGIQUE

Elle a pour but l'estimation des débits de crue exceptionnels sur le secteur d'étude.

2-1 PRÉSENTATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

(Cf. localisation page suivante)

Le Besançon prend sa source au droit de la commune de MONTAGNA-LE-RECONDUIT dans une vallée jurassienne orientée Est-Ouest.

Une étude réalisée par la DIREN en décembre 1989 rend compte de l'alimentation karstique de la tête du bassin versant à hauteur d'un bassin hydrogéologique d'une superficie voisine de 7 km² avant résurgence en versant Ouest de l'arc jurassien calcaire doté d'une perméabilité en grand.

Le cours d'eau draine ensuite majoritairement les ruissellements de surface dont ceux des agglomérations de BALANOD et SAINT-AMOUR.

Au droit de la RD 3, soit 1 km en aval de la confluence en rive gauche avec son affluent principal, le bief de Ruilla, la superficie du bassin versant superficiel est de 20,5 km².

2-2 ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE AU DROIT DU SITE D'ÉTUDE

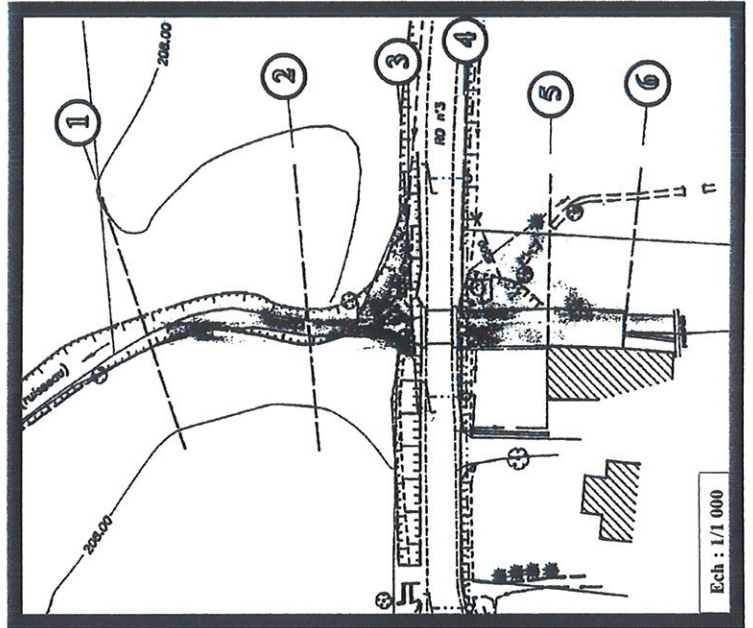
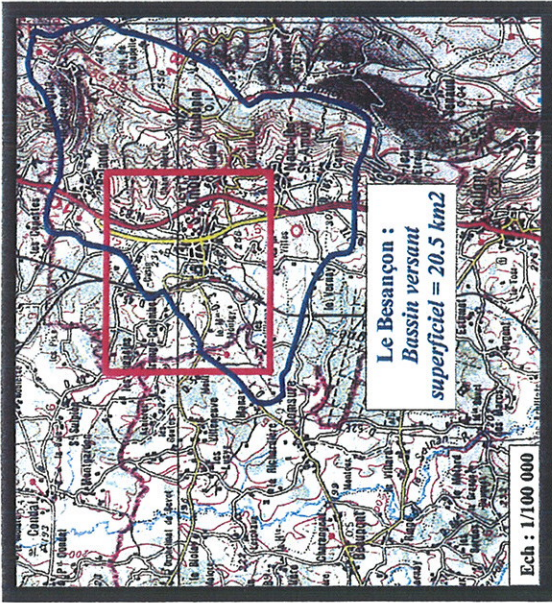
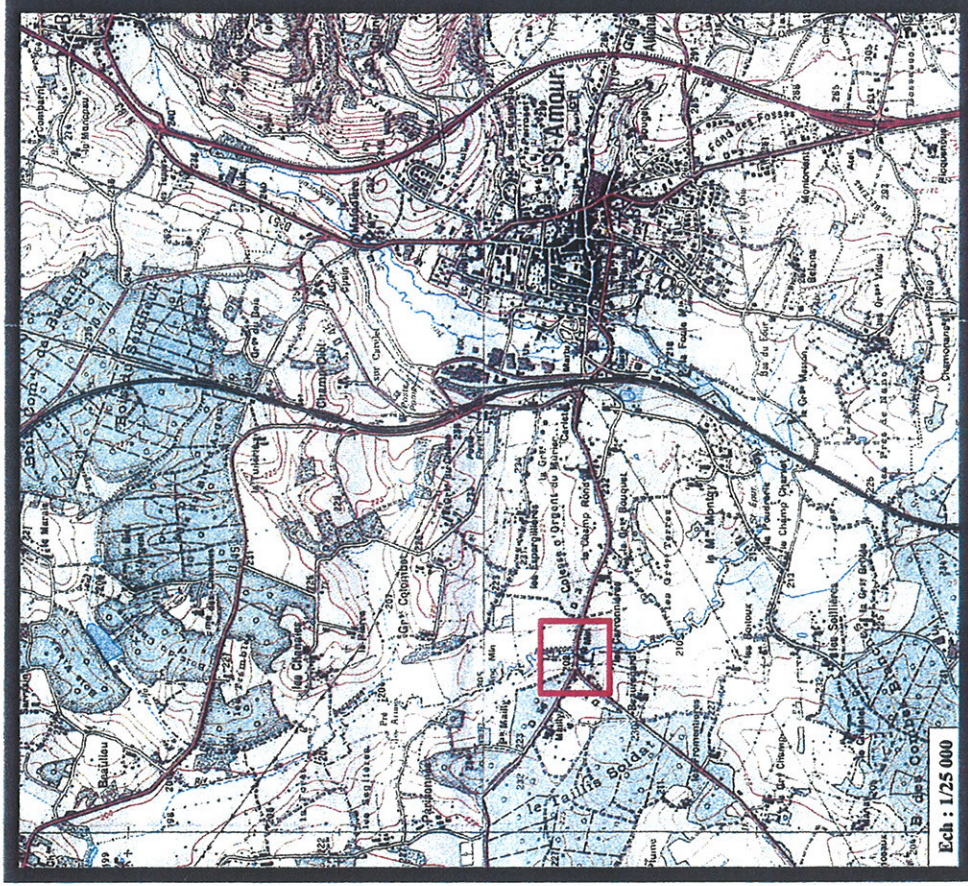
Le Besançon est un cours d'eau qui ne fait pas l'objet de jaugeage régulier. En conséquence, nous ne disposons que de méthodes empiriques pour estimer ses débits de crue.

Compte tenu de la superficie nous proposons d'adopter la méthode Crupédix dont la forme est :

$$Q_{10} = (P_{10}/80)^2 \cdot R \cdot S^{0.8}$$

- où :
- Q_{10} est le débit décennal en m³/s
 - P_{10} est la pluie journalière décennale non centrée en mm
 - R est le coefficient régional traduisant la part d'infiltration des terrains rencontrés
 - S est la superficie du bassin versant en km²

Localisation du site d'étude



A la lecture des différents documents dont nous disposons en hydrologie sur cette région (étude hydrologique d'A.39, études d'aménagements hydrauliques divers), les paramètres hydrologiques sont estimés comme suit :

- $P_{10} = 70 \text{ mm}$
- $R = 1$
- $b = 1,5$ (b étant le rapport Q_{100}/Q_{10})

Les débits caractéristiques de crue du Besançon au droit de la RD 3 sont donc les suivants :

$Q_{10} = 8,6 \text{ m}^3/\text{s}$
$Q_{100} = 12,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Remarque : l'apport propre au bassin versant souterrain de 7 km^2 a été volontairement négligé. Le modèle hydraulique mis en oeuvre travaille en régime permanent et ne s'intéresse donc qu'aux valeurs de pointe. En l'occurrence, les événements superficiels et souterrains de pointe ne peuvent être qu'exceptionnellement concomitants. Un tel événement ne peut être qualifié en terme de période de retour ($T \gg 100$ ans). La démarche aurait été bien évidemment inverse si le modèle mis en oeuvre était du type transitoire, la fin de l'hydrogramme superficiel se combinant éventuellement alors avec celui issu de l'écoulement souterrain.

ETUDE HYDRAULIQUE

3 - ÉTUDE HYDRAULIQUE

3-1 PRÉSENTATION DU SITE ET ENQUETE DE TERRAIN

(Cf. localisation page 3 et catalogue photographique en fin de chapitre)

La zone d'étude s'étend sur un linéaire de cours d'eau de 90 m environ, entre les vannages du moulin de MAILLY en amont et une section d'écoulement libre située 50 m en aval du pont actuel.

- **En amont de la RD 3 :**

Rives gauche et droite ne sont pas semblables : la rive droite se trouve entre 75 cm et 1 m en dessous du niveau moyen de la rive gauche ce qui explique que le moulin n'a jamais été inondé directement par le ruisseau. Chaque lit majeur est drainé par un fossé qui permet l'entonnement des écoulements débordants vers les ouvrages de traversée de la RD 3.

Cependant, le fossé de rive gauche ne se matérialise plus vraiment sur le terrain, bien qu'il ait été une fois au moins à l'origine d'un débordement léger constaté dans la cour du moulin. Ainsi, malgré la présence d'un cadre maçonné 1 x 0,9 m qui rétablissait les écoulements de ce fossé en aval de la RD 3, l'écoulement admissible de ce dernier n'est assurément plus que de quelques dizaines de l/s dorénavant pour une crue exceptionnelle.

En conséquence, pour la future modélisation, cet axe d'écoulement sera purement et simplement occulté.

- **Au droit de la RD 3 :**

Les écoulement en crue du Besançon sont rétablis sous la RD 3 à l'aide de deux ouvrages :

- Une voûte maçonnée sur le lit vif de 4,70 x 2,50 avec radier naturel ;
- Une buse arche métallique 2,20 x 1,90 m avec radier béton en décharge berge droite. Le fil d'eau de celle-ci est calé 55 cm au dessus de celui de l'ouvrage principal. Cet ouvrage est dépourvu d'ouvrage de tête spécifique (terminaison en sifflet).

- **En aval de la RD 3 :**

Le Besançon offre un cours naturel rectiligne dont la berge droite apparaît plus haute d'1 m environ que celle de gauche, favorisant ainsi les écoulements débordants en lit majeur rive gauche. Morphologiquement, cela se traduit par un lit mineur légèrement perché par rapport au lit majeur rive droite.

Enfin la ripisylve du cours d'eau est peu dense mais les souches sont en surplomb ce qui favorise la formation d'embâcles localisées. Lors de la visite du site nous avons pu également remarquer la présence d'un tronc d'arbre en travers des berges du cours d'eau.

La pente hydraulique moyenne du cours d'eau est de 0,38 %. Elle augmente nettement à l'aval de la RD 3 pour atteindre 1,29 % en limite de zone modélisée.

Après enquête auprès des riverains, il s'avère que nous n'avons pas pu retrouver de repère de crue ce qui témoigne de la faible ampleur des débordements en crue. Seul le témoignage transmis d'une riveraine âgée du cours d'eau nous indique que la RD 3 n'a jamais été submergée et qu'au maximum, la cote atteinte par l'eau en amont des ouvrages existants ménage une revanche de 15 à 20 cm avant mise en charge de l'ouvrage sur lit vif.



Photo 1 : Le Besançon en amont de la RD 3.



Photo 2 : Le Besançon au droit du moulin.



Photo 3 : Entonnement du Besançon sous la RD 3.



Photo 4 : le pont voûte de la RD 3 sur le Besançon.



Photo 5 : Vue amont de la buse arche métallique de décharge.



Photo 6 : Vue aval du pont voûte sur le Besançon.



Photo 7 : Vue aval de la buse arche métallique de décharge.



Photo 8 : Le Besançon en aval de la RD 3.

3-2 CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODÈLE

Le modèle mathématique utilisé, de type **unidimensionnel**, fonctionne en **régime permanent**. Il est basé sur la résolution des équations complètes de Barré de St-Venant*.

Le fonctionnement hydraulique des écoulements dans la vallée du Besançon a été simulé à l'aide d'un modèle numérique constitué de 6 profils en travers de la vallée. La position de ces derniers figure sur le document de la page suivante.

Chaque profil en travers est divisé en sous-sections de géométrie quelconque mais de coefficient de rugosité K homogène. En conséquence, les limites entre sous-sections correspondent à la distinction lit mineur / lit majeur et aux variations de couvert végétal.

Le calage, qui consiste à ajuster les paramètres du modèle (rugosités, singularités, ...) jusqu'à la meilleure adéquation possible entre la ligne d'eau calculée et les observations des riverains, est relatif à la crue théorique décennale. En l'absence de laisses de crue se rapportant à une crue précise, cette opération est d'une fiabilité forcément toute relative.

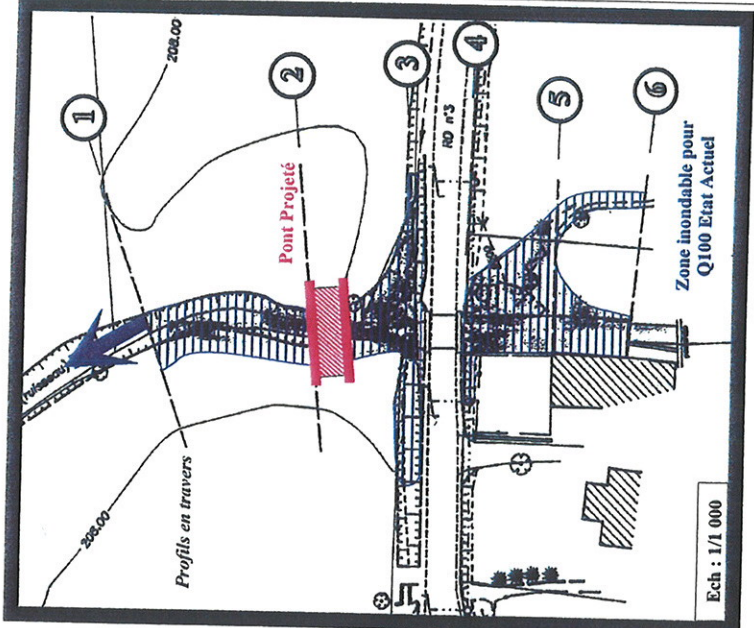
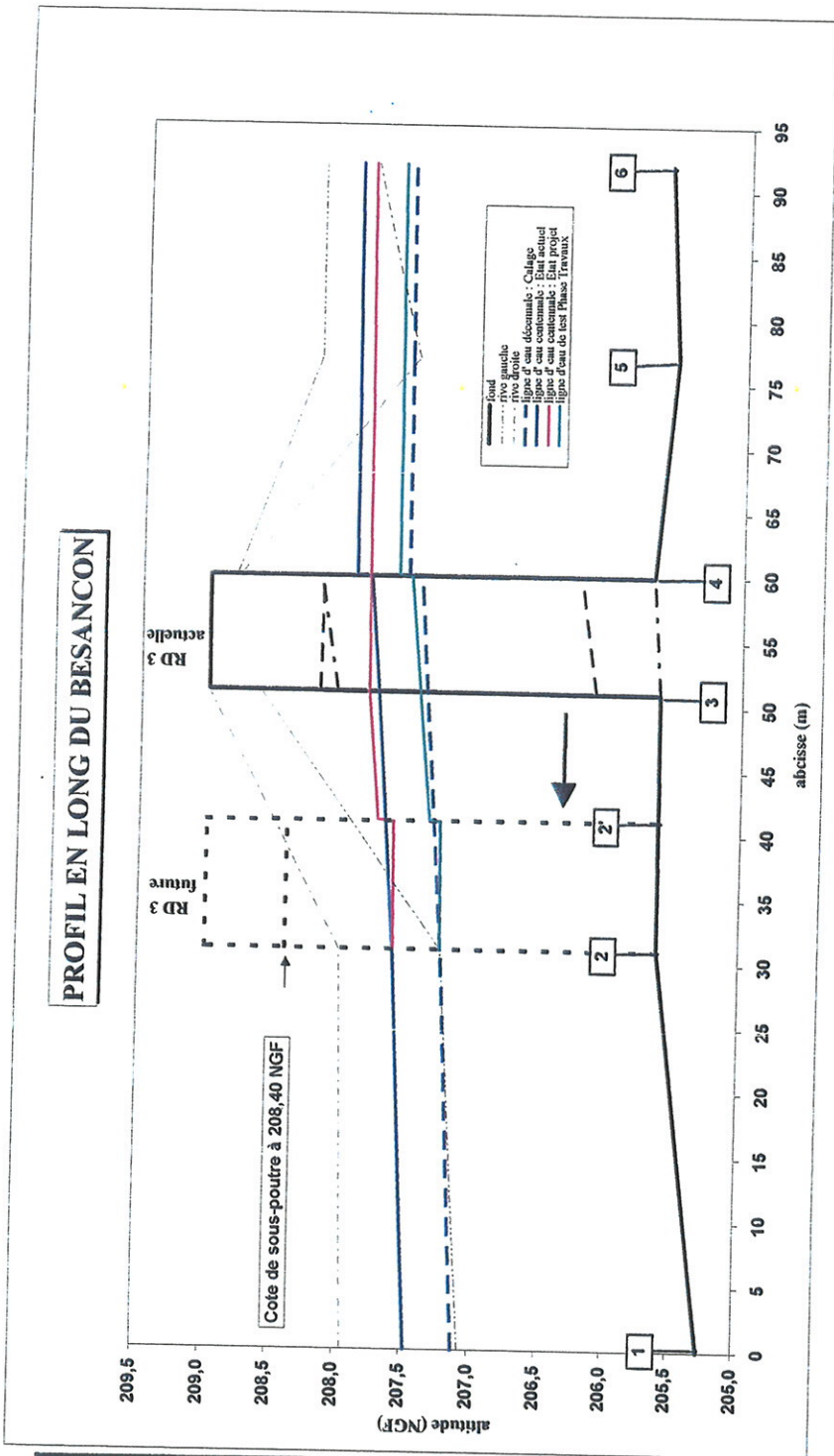
Nous avons ainsi pu caler les rugosités du lit mineur et du lit majeur :

→ **Lit mineur** : $K = 16$

→ **Lit majeur** : $K = 10$

Valeurs qui rendent parfaitement compte de l'analyse de terrain pratiquée.

* Il s'agit du modèle CARIMA/SOGREAH distribué par le LHF dont ingérop a acquis la licence.



N° de profil	Ouvrage sur lit mineur + ouvrage de décharge existants			Pont cadre de 7,80 m d'ouverture droite			Pont cadre de 6,00 m d'ouverture droite			Existant + projet		
	Niveau d'eau (NGF)	Vitesse moyenne (m/s)	Etat actuel (cm)	Niveau d'eau (NGF)	Vitesse moyenne (m/s)	Etat actuel / Etat projet (cm)	Niveau d'eau (NGF)	Vitesse moyenne (m/s)	Etat actuel / Etat projet (cm)	Niveau d'eau (NGF)	Vitesse moyenne (m/s)	Etat actuel / Etat projet (cm)
1	207,120	1,32	0	207,470	1,40	0	207,470	1,40	0	207,120	1,32	0
2	207,254	1,36	0	207,607	1,41	0	207,607	1,41	0	207,254	1,36	0
3	207,371	0,50	6	207,740	1,51	6	207,740	1,51	6	207,371	1,32	0
4	207,388	0,48	7	207,745	0,56	7	207,834	0,53	8	207,350	1,25	3
5	207,530	0,60	-10	207,920	0,68	-10	207,839	0,58	8	207,437	0,50	3
6	207,536	0,75	-9	207,927	0,68	-9	207,846	0,73	8	207,600	0,45	7
	207,544	0,75	-9	207,933	0,68	-9	207,854	0,93	8	207,605	0,57	7
										207,611	0,72	7

3-3 EXPLOITATION DU MODÈLE DANS L'ÉTAT ACTUEL

(Cf profil en long et tableau de calcul page 13)

On constate que les ouvrages actuels de la RD 3 induisent une perte de charge de 17 cm pour la répartition de débit suivante :

Ouvrage sur lit vif :

```

*****
*      !                               ! * N* H E* V * DEBIT = 8.40M3/S *
*      !                               ! * P* A N* I M*****
*      ! N                               ! * T* U * T /*      FOSSE      *
*      !                               ! * * T M* E S*LARG.AU PLAF.:4.50M*
*      ! 1  DALOT P= 4.70F=2.50M K=35 * ! * * . * . *COEF.DE RUGOSITE:16*
*      !                               ! *****HAUTEUR CRIT.: .67*
*      !-----! * 1*2.07* .62*****
*      !                               ! * 2*2.07* .86*      BUSE      *
*-----* * 3*2.07* .86*LONGUEUR: 7.00M *
*      !                               ! * 4*2.08* .86*RADIER AVAL: 205.68*
*      !                               ! * 5*2.09* .85*CHUTE AVAL : 205.68*
*      !                               ! * 6*2.10* .85*RADIER AMO.: 205.69*
*      !                               ! * 7*2.11* .85* PENTE      :.00143*
*      !                               ! * 8*2.12* .84* HAUT. CRIT.: .68M *
*      !                               ! * 9*2.13* .84* HAUT. NORM.:1.45M *
*      !                               ! *10*2.14* .83*COTE EAU AV.:207.75*
*-----!-----! *11*2.15* .83*COTE EAU AM.:207.92*
*      ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! *12*2.16* .83*CO.A:** K:.5 O: .00*
*      ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! *13*2.17* .82* PAS DE RESSAUT *
* 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15*14*2.18* .82*NB.DE FROUDE : .19*
*      !                               ! *15*2.23* .56*HA.CO. .00-LON: .00*
*****

```

Ouvrage de décharge :

```

*****
*      !                               ! * N* H E* V * DEBIT = 4.50M3/S *
*      !                               ! * P* A N* I M*****
*      ! N                               ! * T* U * T /*      FOSSE      *
*      !                               ! * * T M* E S*LARG.AU PLAF.:2.50M*
*      ! 1 BUSE ARCHE P= .00 F=1.94M K=25 ! * * . * . *COEF.DE RUGOSITE:16*
*      !                               ! *****HAUTEUR CRIT.: .63*
*      !-----! * 1*1.63* .67*****
*      !                               ! * 2*1.63*1.18*      BUSE      *
*-----* * 3*1.63*1.18*LONGUEUR: 16.00M *
*      !                               ! * 4*1.62*1.18*RADIER AVAL: 206.12*
*      !                               ! * 5*1.62*1.19*      206.12*
*      !                               ! * 6*1.61*1.19*RADIER AMO.: 206.24*
*      !                               ! * 7*1.61*1.19* PENTE: .007501 *
*      !                               ! * 8*1.60*1.20* HAUT. CRIT.: .76M *
*      !                               ! * 9*1.60*1.20* HAUT. NORM.:1.17M *
*      !                               ! *10*1.59*1.20*COTE EAU AV.:207.75*
*-----!-----! *11*1.59*1.20*COTE EAU AM.:207.92*
*      ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! *12*1.58*1.21*CO.A:** K:.7 O: .00*
*      ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! *13*1.58*1.21*NI RES. NI REG.INS.*
* 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15*14*1.57*1.21*NB.DE FROUDE : .29*
*      !                               ! *15*1.68* .64*HA.CO. .00-LON: .00*
*****

```

* Le pont voûte est rentré en dalot équivalent.

Somme toute, les écoulements de la crue centennale restent peu débordants dans l'état actuel, excepté en amont immédiat de la RD 3 par effet de blocage. Cependant les hauteurs d'eau atteintes en rive droite rendent compte d'un écoulement en lame très faible (quelques cm), 90 % du débit étant globalement transité par le lit mineur. Dues au blocage exercé par la route, les vitesses restent faibles en amont alors qu'elles atteignent rapidement 1,5 m/s en aval en raison de la pente plus importante également.

3-4 EXPLOITATION DU MODÈLE DANS L'ÉTAT PROJET

(Cf. profil en long et tableau de calcul page 13)

L'état projet se distingue par la construction d'un nouveau pont, **unique**, 10 à 15 m en aval de la RD 3 actuelle de manière à maintenir permanente la circulation pendant les travaux. Afin de satisfaire optimalement aux conditions de loi sur l'eau celui-ci sera dépourvu d'appuis en lit mineur et conservera la section d'origine du lit mineur.

Ainsi, son ouverture minimale sera de 6 m auxquels nous préconisons de rajouter 1,5 m de banquette en rive gauche pour entretien et passage (à cet effet, la hauteur de sous-poutre préconisée plus loin pourra être augmentée).

Le test d'un tel ouvrage a été pratiqué pour la phase travaux et la phase terminale d'exploitation de la future voirie.

- **Phase d'exploitation terminale :**

L'ouvrage ainsi traité provoque une perte de charge de 13 cm soit un remous positif de 7 cm au profil 3 immédiatement compensé par la destruction des anciens ouvrages puisque le remous est alors négatif de 10 cm entre les profils 4 et 5.

En conclusion, l'aménagement projeté améliore nettement les processus de débordement en amont de l'actuelle RD 3, qui restent alors globalement cantonnés au lit mineur et au fossé de rive droite.

A la lecture de la ligne d'eau ci-dessous, on constate que les vitesses dans l'ouvrage et en amont et en aval immédiat sont peu élevées : elles n'induisent aucune protection spéciale des culées. Tout au plus, on pourra envisager de planter le remblai contigu de l'ouvrage à l'aide d'espèces fortement enracinantes tels que des genets à balai par exemple.

```
*****
* !                                     ! * N* H E* V * DEBIT = 12.90M3/S *
* !                                     ! * P* A N* I M*****
* ! N                                     ! * T* U * T /*           FOSSE      *
* !                                     ! * * T M* E S*LARG.AU PLAF.:4.50M*
* ! 1   DALOT P=4.50   F=3.00M K=20 ! * * . * . *COEF.DE RUGOSITE:16*
* !                                     ! *****HAUTEUR CRIT.: .89*
* !-----!                                     ! * 1*1.99*1.00*****
* !                                     ! * 2*1.99*1.44*           BUSE      *
* !                                     ! * 3*1.99*1.44*LONGUEUR: 10.00M *
* !                                     ! * 4*1.99*1.44*RADIER AVAL: 205.62*
* !                                     ! * 5*1.99*1.44*           205.62*
* !                                     ! * 6*1.99*1.44*RADIER AMO.: 205.63*
* !                                     ! * 7*1.99*1.44*   PENTE: .001001 *
* !                                     ! * 8*1.99*1.44*   HAUT. CRIT.: .94M *
* !                                     ! * 9*1.99*1.44*   HAUT. NORM.: - *
* !                                     ! *10*1.99*1.44*COTE EAU AV.:207.61*
* !-----!-----! *11*1.99*1.44*COTE EAU AM.:207.74*
* ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! *12*1.99*1.44*CO.A:** K:.5 O: .00*
* ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! *13*1.99*1.44*NI RES. NI REG.INS.*
* 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15*14*1.99*1.44*NB.DE FROUDE : .33*
* *15*2.11* .93*HA.CO. .00-LON: .00*
*****
```

* Dalot équivalent pour tenir compte de la section naturelle du lit mineur conservée.

• Phase travaux :

Elle suppose que survienne une crue type décennale lorsque les ouvrages existants et projetés sont présents. L'impact maximal d'une telle situation se traduit par un remous positif maximal de 5 cm au droit du moulin, condition qui reste tout à fait raisonnable car inférieure de 23 cm en niveau par rapport à la crue centennal état actuel.

On veillera tout particulièrement à ce qu'aucun engin ne pénètre dans le lit mineur. A cet effet lors de la destruction des ouvrages existants, le tablier sera extrait par le dessus et la géométrie de la base de la section actuelle restera inchangée. On devra se limiter à enlever les remblais contigus et uniquement ces derniers (ainsi bien sûr que le radier béton de la buse arche).

