ISL Montpellier
Parc Scientifique Agropolis II
34397 Montpellier cedex 5

Tel : 04 67 54 51 88
Fax : 04 67 54 52 05

Votre contact :
A. Salmi
salmi@isl-ingenierie.fr

Etablissement Public LOIRE

Schéma de Ralentissement Dynamique des crues de la Loire dans le département de la Haute Loire

Etape A2 : Efficacité hydraulique des sites

Rapport de novembre 2006

Bureau d'Ingénieurs Conseils

SOMMAIRE

1 OBJECTIFS ET PHASAGE DE L'ETUDE 2

1.1 PREAMBULE 2
1.2 PHASAGE DE L'ETUDE 3

2 PRESENTATION DU MODELE MATHEMATIQUE 4

2.1 OBJECTIF ET PRESENTATION GENERALE DU MODELE 4
2.2 MODULES DE CALCUL DU MODELE 5
2.3 PRESENTATION DU MODELE HAUTE LOIRE 8
2.4 CALAGE DU MODELE 9
2.5 CONCLUSION SUR LE MODELE 16

3 CONSTRUCTION DES EVENEMENTS DE REFERENCE 17

3.1 CHOIX DES EVENEMENTS DE REFERENCE 17
3.2 DEFINITION DES HYETOGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE 17
3.3 EVENEMENT DECENNAL AMONT 20
3.4 EVENEMENT CENTENNAL AMONT 22
3.5 EVENEMENT CENTENNAL AVAL TYPE CEVENOL 23
3.6 EVENEMENT CENTENNAL AVAL GENERALISE 24
3.7 EVENEMENT DE PERIODE DE RETOUR 5000 ANS 24

4 PREDIMENSIONNEMENT DES RETENUES 28

4.1 PREDIMENSIONNEMENT DES PERTUIS 28
4.2 PREDIMENSIONNEMENT DES DEVERSOIRS DE SECURITE 32

5 EFFICACITE DES 60 RETENUES 33

5.1 PREAMBULE 33
5.2 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AMONT 33
5.3 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AVAL TYPE CEVENOL 38
5.4 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AVAL TYPE GENERALISE 41
5.5 EFFICACITE CRUE 1980 44
5.6 EFFICACITE CRUE 1996 45

6 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES 46

6.1 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AMONT 46
6.2 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES POUR LA CRUE HISTORIQUE DE 1980 48
6.3 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES POUR LA CRUE HISTORIQUE DE 1996 49

7 EFFET DE LA MODIFICATION DE LA TAILLE DES PERTUIS 50

7.1 MODIFICATION DE LA TAILLE DES PERTUIS 50
7.2 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AMONT AVEC DES PERTUIS OPTIMISES 51

8 SELECTION DES 40 SITES A ETUDIER DANS LE CADRE DE L'ETAPE B 56

8.1 DEFINITION DU GROUPE N°1 56
8.2 GROUPE N°2 : SELECTION CIBLEE SUR LES AFFLUENTS LES PLUS PRODUCTIFS 70

9 CONCLUSIONS GENERALES 80

1 OBJECTIFS ET PHASAGE DE L'ETUDE

1.1 PREAMBULE

L'Etablissement Public Loire a confié à ISL l'étude du schéma de ralentissement dynamique des crues de la Loire en amont de la retenue de Grangent. La surface du bassin versant considéré est de 4 110 km².

Pour la conduite de l'étude, le maître d'ouvrage s'est doté :

- d'un assistant au Maître d'ouvrage : Hydratec – Agence de Lyon.
- d'un comité de suivi chargé de valider les différents résultats d'étape de l'étude. Il est composé des membres ci-après :
  - L'EP Loire,
  - Le Conseil général de la Haute Loire,
  - La DDE 43,
  - La DDAF 43,
  - La Préfecture de la Haute Loire
  - L'Agence de l'eau Loire Bretagne,
  - La DIREN Auvergne,
  - Le SICALA Haute Loire,
  - L'association SOS Loire Vivante (depuis juin 2006).

Le ralentissement dynamique est à obtenir au moyen d'ouvrages de rétention répartis sur l'ensemble du bassin versant. Chacun de ces ouvrages a pour objectif le stockage des pointes des crues rares de son bassin versant propre. L'efficacité cumulée d'une multitude de sites dispersés sur les affluents de la Loire doit permettre de réduire le débit de pointe sur l'axe Loire.

Chacun de ces ouvrages comprend un endiguement qui barre la vallée et permet de restreindre la section d'écoulement en crue par un pertuis dont la capacité est limitée. Le principe de fonctionnement de ces ouvrages est le suivant :

- Pour les crues fréquentes, en première approximation de périodes de retour inférieures à 10 ans, les crues s'écoulent sans stockage en amont de l'ouvrage ;
- Pour les crues plus rares, la capacité du pertuis est limitante et le stockage s'initie dans la retenue. Le débit restitué par le pertuis est alors peu variable quel que soit le débit entrant dans la retenue tant que son volume n'est pas saturé ;
- Lorsque la retenue est saturée, la crue est évacuée par surverse au-dessus de l'ouvrage dans une section aménagée à cet effet (évacuateur de crue) ; le débit restitué est alors sensiblement égal au débit entrant dans la retenue.

Il est précisé qu'en dehors des périodes de crues importantes, les retenues sont sèches.

Ces ouvrages se distinguent des grands barrages écrêteurs déjà étudiés sur le bassin versant de la Loire par leur taille modeste qui est supposée réduire les impacts environnementaux et paysagers.

1.2 PHASAGE DE L'ETUDE

La mission confiée à ISL comprend les étapes suivantes :

– **Etape A1 :** Pré recensement des sites potentiels de rétention :

Une centaine de sites potentiels doit être recensée et une première hiérarchisation proposée sur la base de considérations :

. topographiques : volume des retenues,

. hydrologiques : volumes des crues,

. géographiques : implantation des retenues par rapport aux enjeux de l'axe Loire.

L'étape A1 a fait l'objet du rapport RM06-022_B émis en mai 2006. Les 60 sites identifiés dans le cadre de l'étape A1 font l'objet de la carte n°9.

– **Etape A2 :** Efficacité hydraulique des sites :

Une soixantaine de sites doit faire l'objet d'une modélisation hydraulique et hydrologique en vue d'apprécier l'efficacité individuelle et collective de chacun d'entre eux. Ces deux critères doivent permettre de dégager une quarantaine de sites qui feront l'objet de l'étape suivante.

L'étape A2 fait l'objet du présent rapport.

– **Etape B :** Caractérisation des sites :

Une quarantaine de sites est à caractériser vis-à-vis :

. de leurs efficacités hydrauliques individuelle et collective,

. des contraintes techniques et financières,

. des contraintes environnementales.

Lors de cette étape, tous les sites doivent faire l'objet d'une visite par deux spécialistes (le premier en matière de barrages et le second en matière d'environnement).

2 PRESENTATION DU MODELE MATHEMATIQUE

2.1 OBJECTIF ET PRESENTATION GENERALE DU MODELE

Le modèle a pour objectif d'apprécier l'efficacité hydraulique individuelle et collective des sites de rétention identifiés dans le cadre de l'étape A1.

Il est également employé pour dimensionner les ouvrages annexes de chaque retenue : pertuis et déversoir de sécurité.

Il a été développé à l'aide du logiciel ECRET ISL et a déjà été mis en œuvre dans le cadre d'études de ralentissement dynamique (Vidourle, Gardons, Oudon …).

Le modèle ECRET comprend :

- un module pluie-débit de type hydrogramme unitaire SCS (Soil Conservation Service) ; cette méthode permet dans un premier temps le calcul du volume d'eau ruisselée à partir du hyétogramme, via le coefficient CN (Curve Number), et dans un second temps la construction d'un hydrogramme unitaire ;
- un module de propagation de type Muskingum qui permet de simuler les transferts, l'atténuation et le cumul des hydrogrammes dans les biefs ;
- un module de laminage qui permet d'introduire les retenues (lois hauteur-surface) et les caractéristiques hydrauliques des ouvrages d'évacuation (déversoir, pertuis …).

Les données d'entrée sont des hyétogrammes qui peuvent être différents pour chacun des sous-bassins versants du modèle.

En sortie, le modèle calcule les hydrogrammes au droit de tous les nœuds du modèle (notamment en entrée et en sortie de retenue) ainsi que l'évolution des niveaux d'eau dans les retenues.

2.2 MODULES DE CALCUL DU MODELE

2.2.1 Module Pluie-debit type Hydrogramme Unitaire

L'infiltration potentielle maximale S_{max} est liée au paramètre de ruissellement CN par la relation empirique suivante :

$$S_{max} = 25.4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

Cette relation permet la détermination du ruissellement R en utilisant la méthode théorique SCS :

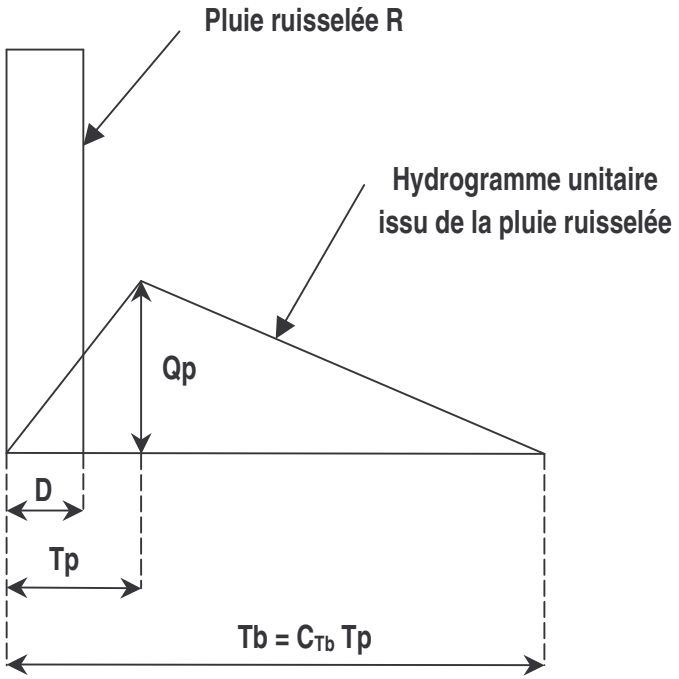
$$R = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S_{\max}}$$

Avec

R : ruissellement potentiel

Ia : stockage superficiel avant ruissellement estimé de façon empirique par : $Ia = 0{,}2S_{\max}$

La construction de l'hydrogramme unitaire est réalisée en répartissant le volume d'eau ruisselé selon un triangle unitaire pour chaque pas de temps D (cf. schéma ci-dessous) :



Le temps de base Tb, ou temps total sur lequel se répartit le volume d'eau ruisselé à un instant t, est estimé voisin de 2,7 à 3,2 Tp de façon empirique. En cherchant à répartir le volume d'eau ruisselé sous la forme d'un triangle, on aboutit à un débit de pointe Qp issu de la relation suivante :

$$R \times S = \frac{Tb \times Qp}{2}$$

Avec S = surface du bassin versant drainé

R = lame d'eau ruisselée

Temps de concentration Tc

Le temps de concentration a été calculé à partir de la formule de **Ventura-Passini** affecté d'un coefficient correcteur C_{Tc} (paramètre de calage du modèle compris entre 0,5 et 1,0).

Cette formule a notamment été retenue dans le cadre des PPRI de 101 communes dans le département de l'Aude pour la détermination des débits de crue de période de retour 100 ans, après avoir testé les formulations les plus utilisées : Bressand-Golossof, Dujardin-Sogreah, Turraza, Durée rapide de Socose, Kirpich…

La formule de Ventura-Passini est définie de la manière suivante :

$$t_c(h) = \beta \times (S.L)^{\frac{1}{3}} \times I^{-0.50}$$

avec tc : temps de concentration en heures
I : pente moyenne le long du thalweg (m/m)
S : surface (km²)
L : chemin hydraulique (km)

β est généralement compris entre 0,05 et 0,15.

Temps de montée (Tp) et temps de base (Tb) de l'hydrogramme unitaire

Les formulations retenues pour les temps de montée (Tp) et de base (Tb) de l'hydrogramme unitaire sont :

$Tp = C_{Tp} \times \left(\frac{D}{2} + 0{,}6Tc \right)$ où D est le pas de temps de la simulation et C_{TP} un paramètre de calage du modèle,

$Tb = C_{Tb} \times Tp$ avec C_{Tb}, paramètre de calage généralement compris entre 2,7 et 3,2.

Les coefficients retenus pour ces formulations correspondent à des valeurs classiques de la littérature.

2.2.2 Module de propagation

Pour les calculs de propagation de l'hydrogramme le long des biefs, ECRET[ISL] utilise la méthode de Muskingum, développée par Mc Carty en 1938 lors de l'étude de la rivière de Muskingum. Cette méthode est basée sur un concept simple qui consiste à écrire que le volume d'eau stocké dans un bief est proportionnel à une moyenne pondérée des débits observés au même instant aux deux extrémités du bief :

$$V = K(\alpha \cdot Qe + (1-\alpha) \cdot Qs)$$

En tenant compte également de l'équation de continuité :

$$dV = (Qe - Qs)dt$$

Mc Carty aboutit à la relation suivante :

$$Qs(t+\Delta t) = a_0 \cdot Qe(t+\Delta t) + a_1 \cdot Qe(t) + a_2 \cdot Qs(t)$$

Avec

$$a_0 = \frac{\frac{\Delta t}{2} - \alpha \cdot K}{\frac{\Delta t}{2} + (1-\alpha) \cdot K} \qquad a_1 = \frac{\frac{\Delta t}{2} + \alpha \cdot K}{\frac{\Delta t}{2} + (1-\alpha) \cdot K} \qquad a_2 = \frac{(1-\alpha) \cdot K - \frac{\Delta t}{2}}{(1-\alpha) \cdot K + \frac{\Delta t}{2}}$$

K est homogène à un temps et peut-être assimilé au temps de transfert de la crue au sein d'un bief.

α est un coefficient d'atténuation compris entre 0 et 0,5. La valeur 0 correspond à une atténuation maximale de la crue, la valeur 0,5 à une atténuation nulle.

1.1.1 Module de laminage

Pour le calcul de laminage des débits dans les retenues existantes et projetées, ECRET[ISL] utilise les lois classiques des orifices et déversoirs qui, en introduisant la loi hauteur/surface de la retenue, permettent de repartir les débits entrant en volume stocké dans la retenue et débit sortant.

2.3 PRESENTATION DU MODELE HAUTE LOIRE

La modélisation est étendue à l'ensemble du bassin de la Loire et de ses affluents en amont d'Aurec (soit un bassin versant de 3420 km²). La topologie du modèle est illustrée par la carte n°10.

Le bassin versant a été découpé en :

- 95 sous bassins versants,
- 95 biefs,
- 95 nœuds de calculs dont 60 au droit des retenues identifiées dans le cadre de l'étape A1.

L'élaboration du modèle nécessite en préalable le zonage des paramètres d'occupation du sol et de la géologie en vue du zonage du paramètre CN du modèle de l'hydrogramme unitaire.

La carte n°11 présente le zonage de l'occupation des sols du bassin réalisé à partir de la base de données BD carto de l'IGN mise à disposition par le Conseil Général de la Haute Loire dans le cadre de l'étude.

La carte n°12 présente le zonage simplifié de la géologie réalisée par regroupement des classes des cartes géologiques du BRGM au 1/80 000.

Ces éléments sont croisés à l'aide du SIG Mapinfo afin d'approcher le zonage du paramètre CN au moyen de la grille suivante :

	Eau Libre / carrière / décharge	Bâti	Zone d'activités	Prairie	Broussailles	Forêt
socle basaltique ou granitique	100	80	75	65	65	60
formations volcaniques	100	75	70	60	60	55
Alluvions	100	70	70	55	55	50

Le zonage est présenté sur la carte n°13. Il permet d'affecter un coefficient CN à chacun des 95 sous-bassin versants du modèle.

2.4 CALAGE DU MODELE

Le calage du modèle a été réalisé à partir des données recueillies lors des crues de septembre 1980 (estimée de période de retour proche de 100 ans à Brives-Charensac) et de novembre 1996 (estimée de période de retour de l'ordre de 20 ans à Brives-Charensac). Il est réalisé en comparant les hydrogrammes calculés par le modèle aux hydrogrammes observés après avoir introduit les hyétogrammes relevés en différents points du bassin versant. Ces éléments ont été fournis par l'Etablissement Public Loire.

Plus précisément, notons que le calage du modèle a été réalisé sur la crue de septembre 1980 tandis que la crue de novembre 1996 a servi de validation du modèle.

Les paramètres de calage du modèle sont les suivants :

- Coefficient correcteur C_{CN} du CN du module Pluie-Débit (afin de reproduire des variations saisonnières de CN liées aux antécédents pluvieux) : ce coefficient est calé de manière à reproduire les volumes des crues observées ; ce coefficient est calé en fonction des données disponibles sur la propagation des crues (temps de transfert, heures des pics de crue) ;
- Coefficients K et alpha du module de propagation définis en première approche par une formulation les liants aux pentes, longueurs des biefs et vitesses moyennes d'écoulement dans les biefs (si l'information est disponible).
- Choix de Tp et Tb = f(Tc) si nécessaire.

2.4.1 Calage sur la crue de 1980

2.4.1.1 Données de calage pour la crue de 1980

Les éléments de calage de la crue de septembre1980 sont les suivants :

1) les hyétogrammes observés au pas de temps 2 h au droit des postes suivants :
   - Lanarce (346 mm)
   - Fay sur Lignon (330 mm)
   - Monastier (145 mm)
   - Bas en Basset (47 mm)
   - Le Puy (78 mm)
   - Viverols (62 mm)
   - Fix (28 mm)

Le zonage des pluies retenues pour cet événement fait l'objet de la carte n° 14. Pour établir ce zonage, les cumuls journaliers enregistrés à Issarles (434 mm) et Machabert (entre 300 et 400 mm) ont également été utilisés.

2) Les hydrogrammes de crues observées au droit des stations suivantes :

- Goudet (nœud N010)
- Brives Charensac (nœud N013)
- Bas en Basset (nœud N032)
- Entrée du barrage de Lavallette (nœud n°L98)

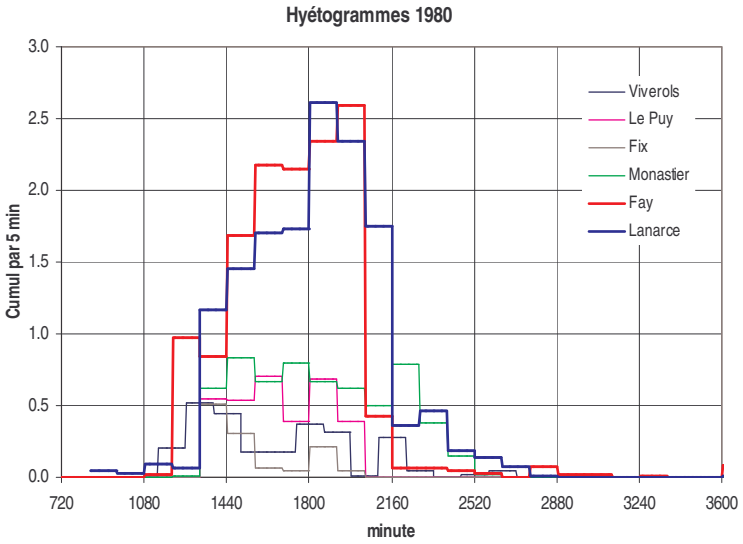
3) Les débits estimés en différents points du bassins (issus de la bibliographie).

Il doit être signalé que des incohérences notables ont été relevées parmi les données fournies avec des contradictions entre les différentes sources (thèse LM, données BCEOM, LHM, SAC43 ...).

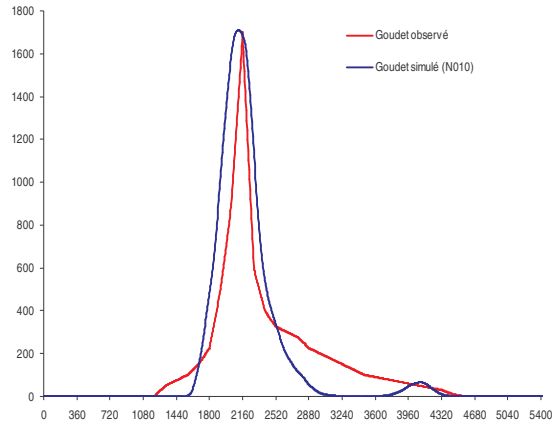
L'incohérence la plus notable est celle liée au décalage temporaire fictif de la pluie au droit du poste de Lanarce. Ce décalage artificiel est lié à une défaillance de l'enregistreur signalé dans le cadre du rapport du « Répertoire de données pluie et débit sur le bassin de la Haute Loire » rédigé par le LHM en 1988.

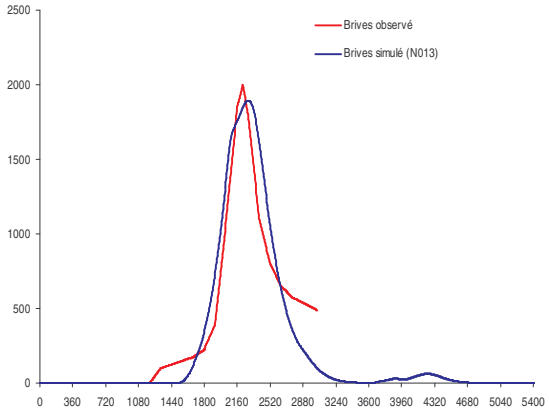
2.4.1.2 Résultats du calage pour la crue de 1980

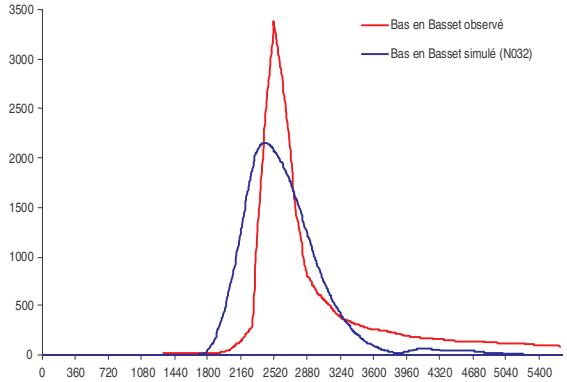
Le graphique suivant présente les hyétogrammes introduits dans le modèle.

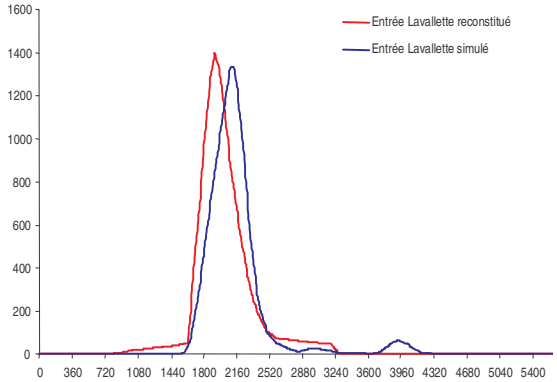


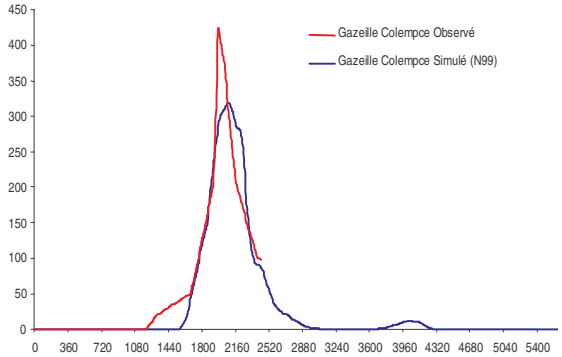
Les graphiques suivants comparent les débits calculés aux hydrogrammes observés. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.











Le tableau suivant compare les débits de pointe calculés aux valeurs de la littérature[1].

Cours d'eau	Station	BV (km²)	Qp (m3/s) Bibliographie	V (hm3) Bibliographie	fiabilité	Noeud ECRET	Qp (m3/s) ECRET	V (hm3) ECRET
Loire	Bge de la Palisse	130	580/880		moyenne	N003	630	
Loire	Pt de la Borie	229	1500/1600		moyenne	N6000	1100	
Loire	Goudet	420	1700	50	moyenne	N010	1700	54
Loire	Brives Charensac	870	1800/2000	72	bonne	N013	1900	76
Loire	Chadrac		1900		bonne	N190	1900	
Loire	Bas en Basset	3300	3400/3500	114	bonne	N032	2100	116
Loire	Aurec		3500/3700		bonne	N033	2000	
Lignon	Chambon/Lignon		750		mauvaise	~N260	960	
Lignon	Lavallette		1400/1800	40	bonne	L98	1340	38
Gazeille	Colempce	100	460	10	moyenne	N99	320	10
Gagne RD	Pandreaux	99	370		moyenne	R36	450	
Gage	Min de Peyron	43	230		mauvaise	N004	220	

Le calage est jugé satisfaisant en volume, en temps de transfert et en débit en tout point du bassin à l'exception de la Loire en aval de la confluence avec le Lignon.

Le modèle n'inclut pas le barrage de Lavallette dont il eut été difficile de reproduire le fonctionnement en 1980 en l'absence des données observées pendant la crue (manœuvre des évacuateurs de l'ouvrage pendant la crue, limnigramme de la retenue).

Pourtant, selon la bibliographie, avec un plan d'eau de 350 ha, le barrage a notablement écrêté la crue avec le stockage puis la restitution d'environ 10 millions de m3 soit le 1/3 du volume de la crue. Nous citerons l'étude 3P Loire amont :

« Le barrage de Lavallette présentait un creux de 3 m (environ 10 millions de m3) ce qui a permis d'écrêter la pointe de crue faisant passer le débit de pointe de 1600 m3/s à 1100 m3/s à l'aval du barrage. De plus, cela a eu pour effet de retarder le Lignon par rapport à la Loire. »

Dans le cadre de la simulation de la crue de 1980, pour être concomitantes, les pointes du Lignon et de la Loire amont doivent arriver aux alentours de 20h TU au droit du point de confluence. La pointe de la Loire amont arrive effectivement à 20h TU. En revanche, dans la simulation, celle du Lignon arrive avec 3 et 4 heures d'avance.

Le retard induit par le barrage de Lavallette peut avoir contribué à la concomitance de la Loire amont et du Lignon en introduisant ce retard.

[1] Un indice de fiabilité a été associé aux débits de pointe issus de la littérature.

2.4.2 Validation du calage sur la crue de 1996

Rappelons que le calage du modèle a été réalisé sur la crue de septembre 1980 tandis que la crue de novembre 1996 a servi de validation du modèle.

2.4.2.1 Données de validation du calage pour la crue de 1996

Les éléments de calage de la crue de novembre1996 sont les suivants :

1) les hyétogrammes observés au pas de temps **1 h**[2] au droit des postes suivants :
   - Lanarce (610 mm)
   - Eulalie (534 mm)
   - Fay sur Lignon (388 mm)
   - Goudet (131 mm)
   - Monastier (103 mm)
   - Bas en Basset (117 mm)
   - Le Puy Chadrac (88 mm)
   - Viverols (87 mm)
   - Fix (65 mm)

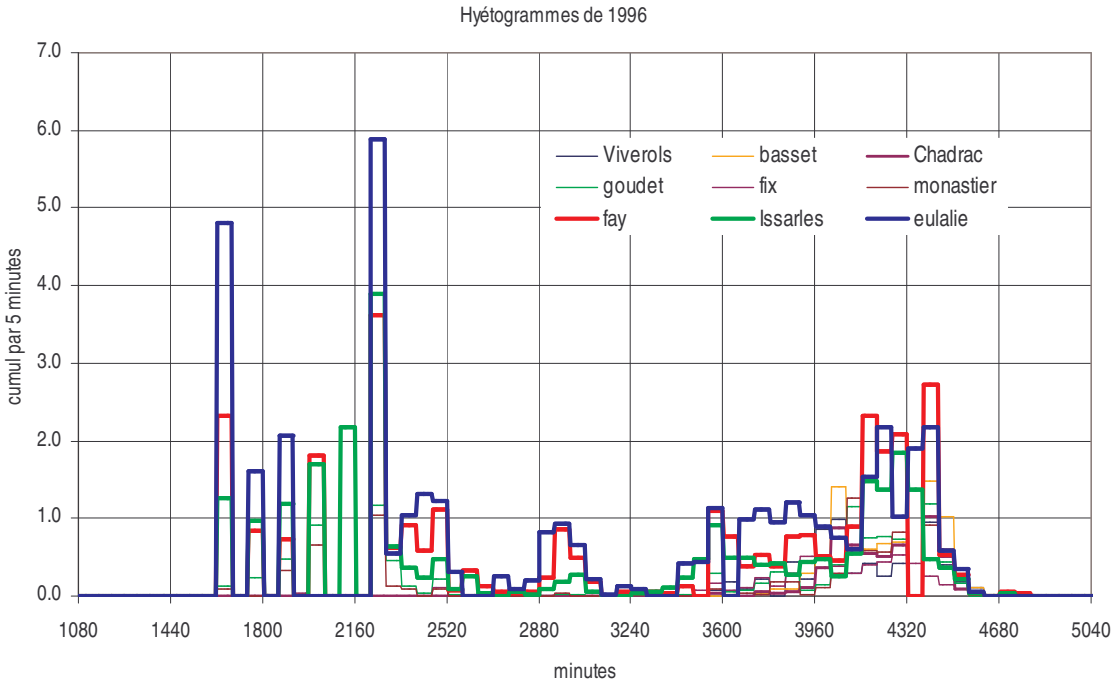
Le zonage des pluies retenues pour cet événement fait l'objet de la carte n° 15.

2) Les hydrogrammes de crues observées au droit des stations suivantes :
   - Goudet (nœud N010)
   - Le Puy Chadrac (nœud N190)
   - Bas en Basset (nœud N032)
3) Les débits estimés en différents points du bassins (issus de la bibliographie).

[2] Les données au pas de temps 1h sont disponibles auprès du SAC 43.

2.4.2.2 Résultats du calage pour la crue de 1996

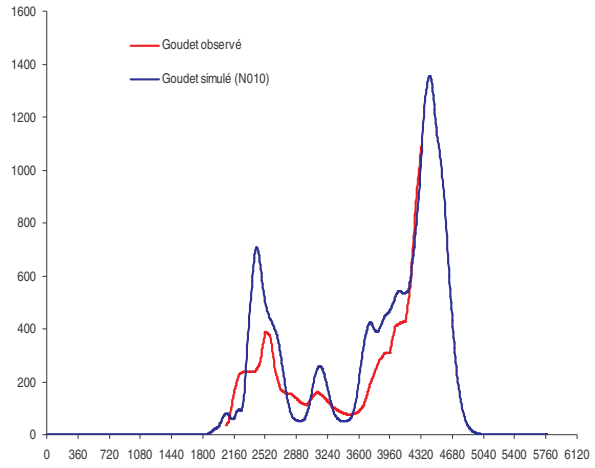
Le graphique suivant présente les hyétogrammes introduits dans le modèle.

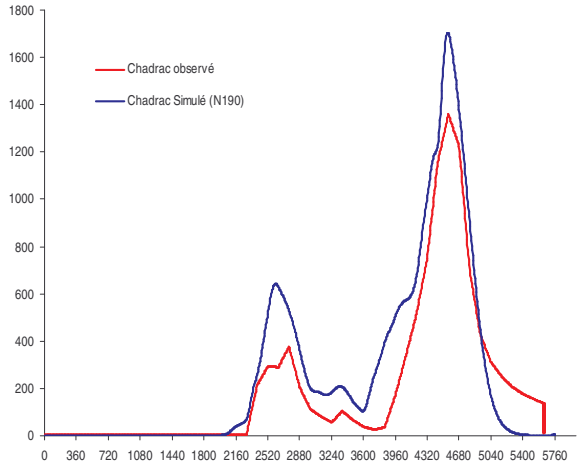


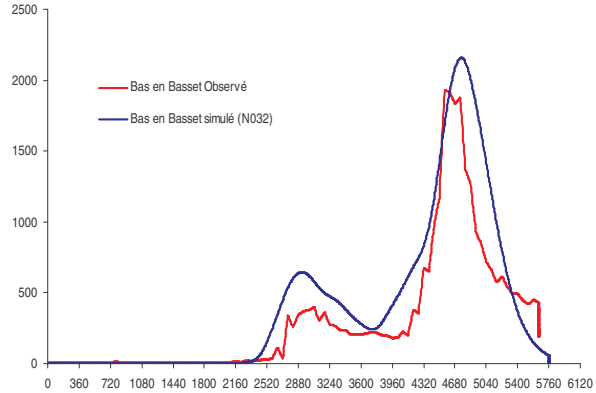
On ne constate pas de décalage notable dans le temps entre les pluies observées en différents points du bassin versant.

Les cumuls sont supérieurs à ceux de 1980 mais une accalmie de 12 h sépare les deux pointes de pluies qui ont généré deux pointes de crues, la seconde étant nettement plus intense que la première.

Les graphiques suivants comparent les débits calculés aux hydrogrammes observés. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.







Le tableau suivant compare les débits de pointe calculés aux valeurs de la littérature[3].

Cours d'eau	Station	BV (km²)	Qp (m3/s) Bibliographie	V (hm3) Bibliographie	fiabilité	Noeud ECRET	Qp (m3/s) ECRET	V (hm3) ECRET
Loire	Bge de la Palisse	130	350		moyenne	N003		
Loire	Pt de la Borie	229	620		moyenne	N6000		
Loire	Goudet	420	1200	Panne	bonne	N010	1300	66
Loire	Chadrac		1300	80	bonne	N190	1600	90
Loire	Bas en Basset	3300	2000	130	bonne	N032	2100	140

La validation du calage est jugée satisfaisante en volume et en débit.

Il est à noter que le volume de la crue de 1996 est supérieur à celui de la crue de 1980.

[3] Un indice de fiabilité a été associé aux débits de pointe issus de la littérature.

2.5 CONCLUSION SUR LE MODELE

Le modèle a permis d'approcher de manière satisfaisante les hydrogrammes des crues de septembre 1980 et novembre 1996 sur l'axe Loire. La crue de septembre 1980 aura servi de crue de calage et la crue de novembre 1996 de crue de validation du modèle.

Une incertitude demeure sur l'influence du barrage de Lavallette sur les fortes crues du Lignon. Le barrage peut retarder la pointe de crue du Lignon normalement en avance par rapport à la pointe de crue de la Loire amont. Ce retard peut favoriser la concomitance des pointes de crues de la Loire amont et du Lignon.

3 CONSTRUCTION DES EVENEMENTS DE REFERENCE

3.1 CHOIX DES EVENEMENTS DE REFERENCE

Les événements de référence sont ceux pour lesquels est étudiée l'efficacité des retenues. Le choix des événements de référence a été arrêté par le Comité de suivi lors de la réunion du 14 juin 2006.

Ces événements sont les suivants :

1) événement décennal à Aurec : cette crue a pour objectif le prédimensionnement de pertuis ; elle est également employée pour apprécier l'effet des retenues sur la crue décennale ;
2) événement centennal amont : la période de retour de cet événement est centennale entre Coubon et Retournac ;
3) événement centennal aval type cévenole : la période de retour de cet événement est centennale à Aurec avec une contribution forte de la tête de bassin versant ; cet événement est construit à partir de l'événement centennal amont en augmentant la pluviométrie du bassin amont ;
4) événement centennal aval généralisé : la période de retour de cet événement est centennale à Aurec ; cet événement est construit à partir de l'événement centennal amont en augmentant la pluviométrie sur l'ensemble du bassin versant ;
5) événement exceptionnel (type 5000 ans) pour apprécier les crues de projet au droit des retenues ; les cumuls de période de retour 5000 ans sont estimés en appliquant l'hypothèse du gradex estimé sur les pluies P10 et P100.

3.2 DEFINITION DES HYETOGRAMMES INTRODUITS DANS LE MODELE

Le zonage des pluies centennales de 24 h a été présenté dans le cadre du rapport de l'étape A1.

Pour construire les hyétogrammes, il est également nécessaire de disposer des pluies de courtes durées. Les éléments suivants ont été utilisés :

– l'ajustement des pluies de 1 h au droit du poste de Puy Chadrac sur une loi type GEV acquise dans le cadre de l'étude auprès de Météo France
– l'ajustement des pluies de 1 h au droit du poste de Clermond Ferrand[4] sur une loi type GEV acquise dans le cadre de l'étude auprès de Météo France
– l'atlas Cévennes Vivarais dressé par le Pole Grenoblois d'Etudes et de Recherche pour la prévision des risques naturels pour des pas de temps de 1h à 24h ;

[4] Ce poste peut sembler éloigné du Puy mais il est en fait le plus proche dans la direction nord-ouest parmi les postes français disposant de statistiques au pas de temps horaire.

Ces éléments conduisent aux valeurs de référence suivantes :

	Zone sud est Tête de bassin versant	Zone centre et nord ouest Chadrac / Clermond Ferrand
T = 10 ans	P1h = 50 mm (Atlas CV) P24h = 225 mm (MF)	P1h = 33 mm (MF) P24h = 75 mm (MF)
T = 100 ans	P1h = 75 mm (MF) P24h = 325 mm (MF)	P1h = 55 mm (MF) P24h = 110 mm (MF)

MF : Météo France / CV : Cévennes Vivarais

Il est utile de préciser que les variations spatiales des pluies horaires décennales et centennales sont faibles (du même ordre de grandeur depuis le pied des Cévennes jusqu'à Clermond Ferrand) à l'exception de la tête de bassin.

A partir de ces informations et des zonages disponibles pour P24h, des hyétogrammes ont été définies par zones homogènes.

La carte n°16 présente la répartition des pluies des 4 zones homogènes pour les valeurs de P_{24h}^{10ans}.

La carte n°17 présente la répartition des pluies des 4 zones homogènes pour les valeurs de P_{24h}^{100ans} et $P_{24h}^{5000ans}$

Le tableau suivant détaille les cumuls utilisés pour construire les hyétogrammes (mm par pas de temps considéré).

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
P10 ans 1h	33	40	40	50
P10 ans 3h	44	64	79	90
P10 ans 6h	53	86	106	132
P10 ans 12h	64	115	149	191
P10 ans 24h	75	135	175	225

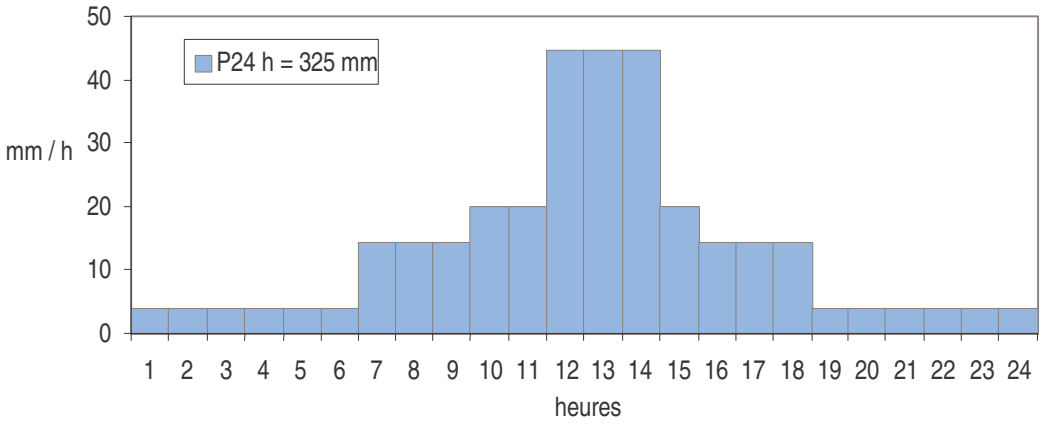
	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
P100 ans 3h	70	107	120	134
P100 ans 6h	81	143	168	194
P100 ans 12h	94	191	234	280
P100 ans 24h	110	225	275	325

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4
P5000 ans 1h	91	109	116	117
P5000 ans 3h	114	175	195	198
P5000 ans 6h	131	236	270	275
P5000 ans 12h	190	319	375	383
P5000 ans 24h	177	375	441	450

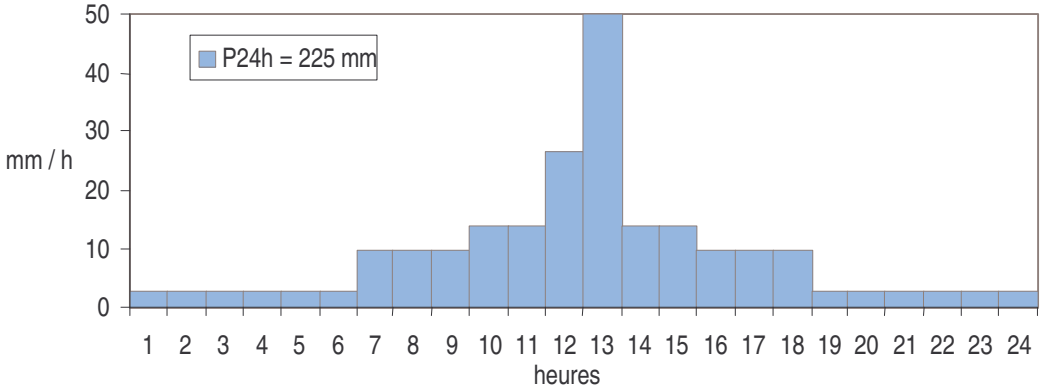
Les hyétogrammes décennaux de chaque zone sont décennaux sur 1h, 3h, 12h et 24 h.

Les hyétogrammes centennaux de chaque zone sont centennaux sur 3h, 12h et 24 h.

Un exemple de hyétogramme centennal est présenté ci-dessous (zone P_{24h}^{100ans} = 325 mm).



Un exemple de hyétogramme décennal est présenté ci-dessous (zone P_{24h}^{10ans} = 225 mm).



3.3 EVENEMENT DECENNAL AMONT

Cet évènement est décennal sur l'axe Loire à Aurec.

Le tableau suivant présente les débits de pointe obtenus en différents points du bassin versant :

Retenue n°	Affluents	Cours d'eau concernés	BV (Km²)	$Q10^{ECRET}$ (m3/s)	$Q10^{ECRET}/S^{0,8}$
3008	La Borne	R. de la Roche	14,7	31	3,6
140	La Borne	R. Bourbouilloux	18,6	15	1,4
217	La Borne	R. la Gazelle	19,5	27	2,5
76	La Borne	La Borne	24,5	17	1,3
134	La Borne	La Borne	30,6	14	0,93
131	La Borne	La Borne ; R. de Cheneville	36,0	22	1,2
128	La Borne	R. le Bourbouilloux	41,1	27	1,4
144	La Borne	R.x la Musette, le Say et la Combe	70,5	91	3
145	La Borne	La Borne ; R. la Freycenette	280,0	153	1,7
4000	La Gagne	L'Aubépin	9,0	57	9,8
34	La Gagne	R. de l'Aubépin	25,9	99	7,3
201	La Gagne	La Gagne	74,9	189	6
36	La Gagne	La Gagne	107,0	153	3,7
41	La Gazeille	R. de Collance	16,5	81	8,6
42	La Gazeille	La Gazeille	56,5	246	9,8
45	La Gazeille	La Gazeille	80,0	234	7
46	La Gazeille	La Gazeille	84,7	227	6,5
28	La Loire	La Loire ; Le Merdanson	236,0	723	9,1
3012	La Loire	La Loire	345,0	816	7,6
3003	La Loire	La Loire	509,0	761	5,2
16	La Méjeanne	La Méjeanne ; R. de Montviaux	34,5	157	9,2
64	La Padelle	La Padelle	11,9	100	14
2	La Padelle	La padelle	16,6	124	13
63	La Padelle	La Loire ; La Padelle	49,8	290	13
203	La Sumène	La Sumène	42,0	36	1,8
206	La Sumène	La Sumène	46,5	28	1,3

Retenue n°	Affluents	Cours d'eau concernés	BV (Km²)	$Q10^{ECRET}$ (m3/s)	$Q10^{ECRET}/S^{0,8}$
234	L'Ance	R. de Chandieu	19,8	14	1,3
233	L'Ance	L'Andrable	83,0	32	0,92
150	L'Ance	L'Ance	134,0	34	0,67
151	L'Ance	L'Ance	251,0	55	0,66
102	L'Arzon	L'Arzon	52,3	16	0,66
104	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Gouise	82,2	23	0,66
105	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Sugère	158,0	43	0,75
108	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Sugère ; R. Cronaille	160,0	43	0,73
21	Le Gage	Le Gage	6,9	37	7,9
19	Le Gage	le Tauron	12,3	80	11
23	Le Gage	Le Gage	15,5	79	8,8
24	Le Gage	Le Gage	43,2	186	9,1
530	Le Lignon	R. de la Ligne	10,9	55	8,1
209	Le Lignon	R. de l'Ourbe	21,0	54	4,8
238	Le Lignon	R. de la Siaulme	21,6	30	2,6
157	Le Lignon	La Dunière	23,0	18	1,5
156	Le Lignon	La Dunière	45,9	33	1,6
207	Le Lignon	Le Lignon ; R. des Merles	75,8	233	7,3
450	Le Lignon	Le Lignon	81,0	222	6,6
2150	Le Lignon	Le Lignon	190,0	331	5
158	Le Lignon	Le Lignon ; R. de Basset	276,0	401	4,5
29	Le Nadalès	Le Nadalès	8,7	37	6,6
25	Le Veyradeyre	Le Veyradeyre	10,2	47	7,3
26	Le Veyradeyre	Le Veyradeyre	21,8	90	7,7
97	R. de Chalon	R. de Chalon ; R. de Communac	42,7	56	2,8
52	R. de la Laussonne	R. de la Laussonne	33,6	67	4
12	R. de langougnole	R. de langougnole	10,3	47	7,3
119	R. de Langougnole	R. de Langougnole	28,3	99	6,8
200	R. de l'Orcival	R. de l'Orcival	6,6	34	7,5
215	R. de Suissesses	R. de Planhol	31,1	20	1,3
5	R. du Prat sauvage	R. du Prat sauvage	3,3	26	10
6	R. le Vernazon	R. de Melechamp et du Rance	8,9	74	13
700	R. le Vernazon	R. de Mazan	9,8	68	11
11	R. le Vernazon	R. le Vernazon	50,5	278	12

Les débits pseudo-spécifiques ($Q/S^{0,8}$) estimés au droit des retenues sont du même ordre que ceux évalués dans le cadre de l'étude Loire 3P pour les événements décennaux avec des valeurs comprises entre deux extrêmes :

- de l'ordre de 0,7 à 1,3 sur le nord-Ouestt du bassin versant (bassin versant de l'Arzon et de l'Ance),
- de l'ordre de 11 à 14 sur la partie cévenole du bassin (Padelle, Vernazon, Loire amont).

A titre de comparaison, on rappelle les données relatives aux stations hydrométriques :

Station	Données	BV (Km²)	Qp10 (m3/s)	Qp10 / S0,8
L'Ance du nord a St-Julien-d'Ance	55 ans	354	64	0,6
Le Lignon au Chambon-sur-Lignon	44 ans	139	190	3,7
La Gazeillle a la Besseyre-Saint-mary	69 ans	51	57	2,5
La Loire a Goudet	58 ans	432	400	3,1
La Loire a Chadrac	86 ans	1310	650	2,1
La Borne occidentale a Espaly-St-Marcel	86 ans	375	110	1,0

Les débits calculés lors de cette simulation au droit des points d'implantation des retenues sont utilisés pour dimensionner les débits des pertuis.

3.4 EVENEMENT CENTENNAL AMONT

Cet événement est de type centennal sur l'axe Loire en amont de Brives Charensac. Il est obtenu en injectant directement les hyétogrammes définis précédemment.

Le tableau suivant présente le débit de pointe obtenu sur l'axe Loire et pour les principaux affluents :

Cours d'eau	nœud de calcul	Localisation	BV (km²)	Q100 bibliographie (m3/s)	Type 100 amont (m3/s)
Loire	N010	Goudet	420	1600 (S)	1723
Loire	N013	Brives Charensac	870	1800 (H) / 2000 (S)	1730
Loire	N032	Bas en Basset	3300	3700 (H)	2330
Lignon	L98	Lavallette	350	930 (H)	1070
Gazeille	N99	Colempce	100	360 (H/EDF) / 450 (S)	360
Gagne RD	R36	Pandreaux	99	350 (S)	289
Gage	N004	Bge du Min de Peyron	43	200 (H)	270
le Gage	R24	Exutoire	44	197	270
la Laussonne	R52	Exutoire	49	204	100
la Gagne (RD)	R36	Exutoire	109	379	290

H : hydratec / S : Sogreah

Sur l'axe Loire, entre Goudet et Brives Charensac, les débits obtenus par le modèle sont proches des valeurs centennales de la bibliographie

Sur les affluents, les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur.

3.5 EVENEMENT CENTENNAL AVAL TYPE CEVENOL

Cet événement est d'ordre centennal sur l'axe Loire à Aurec et a une origine essentiellement cévenole. Il est obtenu en augmentant de 30 % les cumuls des hyétogrammes définis précédemment dans la partie amont du bassin versant (zones n° 2, 3 et 4 sur la carte n°17). Le hyétogramme de la zone n°1 n'est pas modifié.

Le tableau suivant présente les débits de pointe obtenus sur l'axe Loire et pour les principaux affluents :

Cours d'eau	nœud de calcul	Localisation	BV (km²)	Q100 bibliographie (m3/s)	Type 100 aval cévenol (m3/s)
Loire	N010	Goudet	420	1600 (S)	3100
Loire	N013	Brives Charensac	870	1800 (H) / 2000 (S)	3100
Loire	N032	Bas en Basset	3300	3700 (H)	3670
Lignon	L98	Lavallette	350	930 (H)	1680
Gazeille	N99	Colempce	100	360 (H/EDF) / 450 (S)	640
Gagne RD	R36	Pandreaux	99	350 (S)	495
Gage	N004	Bge du Min de Peyron	43	200 (H)	445
le Gage	R24	Exutoire	44	197	450
la Laussonne	R52	Exutoire	49	204	175
la Gagne (RD)	R36	Exutoire	109	379	495

H : hydratec / S : Sogreah

Sur l'axe Loire, entre Chadrac et Bas en Basset, les débits obtenus par le modèle sont proches des valeurs centennales de la bibliographie.

L'événement est plus que centennal sur les affluents amont, en particulier sur l'axe Loire en amont de Brives Charensac.

3.6 EVENEMENT CENTENNAL AVAL GENERALISE

Cet événement est centennal sur l'axe Loire à Aurec et a pour origine une pluie généralisée. Il est obtenu en augmentant de 17 % les cumuls de tous les hyétogrammes de l'événement centennal amont.

Le tableau suivant présente les débits de pointe obtenus sur l'axe Loire et pour les principaux affluents :

Cours d'eau	nœud de calcul	Localisation	BV (km²)	Q100 bibliographie (m3/s)	Type 100 aval général (m3/s)
Loire	N010	Goudet	420	1600 (S)	2680
Loire	N190	Chadrac	1310	2800/4500(H)	2975
Loire	N032	Bas en Basset	3300	3700 (H)	3850
Lignon	L98	Lavallette	350	930 (H)	1743
Gazeille	N99	Colempce	100	360 (H/EDF) / 450 (S)	585
Gagne RD	R36	Pandreaux	99	350 (S)	495
Gage	N004	Bge du Min de Peyron	43	200 (H)	385
le Gage	R24	Exutoire	44	197	390
la Laussonne	R52	Exutoire	49	204	175
la Gagne (RD)	R36	Exutoire	109	379	495

Sur l'axe Loire, entre Chadrac et Bas en Basset, les débits obtenus par le modèle sont proches des valeurs centennales de la bibliographie.

L'événement est plus que centennal sur les affluents amont, en particulier sur l'axe Loire en amont de Brives Charensac.

3.7 EVENEMENT DE PERIODE DE RETOUR 5000 ANS

Cet événement est exceptionnel sur l'ensemble du bassin versant avec une période de retour de l'ordre de 5000 ans. L'objectif est d'approcher les crues de projet des ouvrages pour prédimensionner les évacuateurs de crue. Il est précisé que des études hydrologiques plus détaillées seront nécessaires aux stades ultérieurs des études.

Retenue n°	nœud	Affluents	Cours d'eau concernés	BV (Km²)	Q5000ecret (m3/s)	Q5000 ecret / S
2	R2	La Padelle	La padelle	16,6	371	22,4
5	R5	R. du Prat sauvage	R. du Prat sauvage	3,3	79	23,9
6	R6	R. le Vernazon	R. de Melechamp et du Rance	8,9	219	24,7
11	R11	R. le Vernazon	R. le Vernazon	50,5	1056	20,9
12	R12	R. de langougnole	R. de langougnole	10,3	223	21,6
16	R16	La Méjeanne	La Méjeanne ; R. de Montviaux	34,5	743	21,5
19	R19	Le Gage	le Tauron	12,3	307	24,9
21	R21	Le Gage	Le Gage	6,9	155	22,5
23	R23	Le Gage	Le Gage	15,5	346	22,4
24	R24	Le Gage	Le Gage	43,2	810	18,8
25	R25	Le Veyradeyre	Le Veyradeyre	10,2	221	21,6
26	R26	Le Veyradeyre	Le Veyradeyre	21,8	438	20,1
28	R28	La Loire	La Loire ; Le Merdanson	236	2959	12,5
29	R29	Le Nadalès	Le Nadalès	8,7	184	21,1
34	R34	La Gagne	R. de l'Aubépin	25,9	467	18,0
36	R36	La Gagne	La Gagne	107	989	9,3
41	R41	La Gazeille	R. de Collance	16,5	366	22,2
42	R42	La Gazeille	La Gazeille	56,5	1146	20,3
45	R45	La Gazeille	La Gazeille	80	1211	15,1
46	R46	La Gazeille	La Gazeille	84,7	1169	13,8
52	R52	R. de la Laussonne	R. de la Laussonne	33,6	437	13,0
63	R63	La Padelle	La Loire ; La Padelle	49,8	1010	20,3
64	R64	La Padelle	La Padelle	11,9	298	25,0
76	R76	La Borne	La Borne	24,5	169	6,9
97	R97	R. de Chalon	R. de Chalon ; R. de Communac	42,7	372	8,7
102	R102	L'Arzon	L'Arzon	52,3	161	3,1
104	R104	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Gouise	82,2	230	2,8
105	R105	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Sugère	158	488	3,1
108	R108	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Sugère ; R. Cronaille	160	479	3,0
119	R119	R. de Langougnole	R. de Langougnole	28,3	518	18,3
128	R128	La Borne	R. le Bourbouilloux	41,1	237	5,8

Retenue n°	nœud	Affluents	Cours d'eau concernés	BV (Km²)	Q5000ecret (m3/s)	Q5000 ecret / S
131	R131	La Borne	La Borne ; R. de Cheneville	36	237	6,6
134	R134	La Borne	La Borne	30,6	158	5,2
140	R140	La Borne	R. Bourbouilloux	18,6	147	7,9
144	R144	La Borne	R.x la Musette, le Say et la Combe	70,5	567	8,0
145	R145	La Borne	La Borne ; R. la Freycenette	280	1093	3,9
150	R150	L'Ance	L'Ance	134	357	2,7
151	R151	L'Ance	L'Ance	251	528	2,1
156	R156	Le Lignon	La Dunière	45,9	339	7,4
157	R157	Le Lignon	La Dunière	23	187	8,1
158	R158	Le Lignon	Le Lignon ; R. de Basset	276	2231	8,1
200	R200	R. de l'Orcival	R. de l'Orcival	6,6	148	22,5
201	R201	La Gagne	La Gagne	74,9	1059	14,1
203	R203	La Sumène	La Sumène	42	342	8,1
206	R206	La Sumène	La Sumène	46,5	287	6,2
207	R207	Le Lignon	Le Lignon ; R. des Merles	75,8	1134	15,0
209	R209	Le Lignon	R. de l'Ourbe	21	280	13,3
215	R215	R. de Suissesses	R. de Planhol	31,1	218	7,0
217	R217	La Borne	R. la Gazelle	19,5	169	8,7
233	R233	L'Ance	L'Andrable	83	357	4,3
234	R234	L'Ance	R. de Chandieu	19,8	134	6,7
238	R238	Le Lignon	R. de la Siaulme	21,6	228	10,6
450	R450	Le Lignon	Le Lignon	81	1084	13,4
530	R530	Le Lignon	R. de la Ligne	10,9	244	22,4
700	R700	R. le Vernazon	R. de Mazan	9,8	227	23,2
2150	R2150	Le Lignon	Le Lignon	190	1757	9,2
3003	R3003	La Loire	La Loire	509	3466	6,8
3008	R3008	La Borne	R. de la Roche	14,7	177	12,0
3012	R3012	La Loire	La Loire	345	3578	10,4
4000	R4000	La Gagne	L'Aubépin	9	238	26,4

Les débits spécifiques (Q/S) estimés au droit des retenues sont :

– de l'ordre de 2,1 à 4,3 $m^3/s/km^2$ sur le nord-Ouest du bassin versant (Arzon, Ance) ;

– de l'ordre de 22,4 à 26,4 $m^3/s/km^2$ sur la partie cévenole du bassin (Padelle, Vernazon, Loire amont).

Les débits calculés lors de cette simulation au droit des points d'implantation des retenues sont utilisés pour dimensionner les déversoirs de crue.

4 PREDIMENSIONNEMENT DES RETENUES

4.1 PREDIMENSIONNEMENT DES PERTUIS

Dans un premier temps, les pertuis des ouvrages sont dimensionnés à partir de la simulation de l'événement décennal sans les retenues. Les sections des pertuis sont choisies de manière à écouler le débit de l'événement décennal sous une charge correspondant au tiers de la charge sous le déversoir (soit 5 m pour une retenue dont le déversoir est situé 15 m au-dessus du terrain naturel).

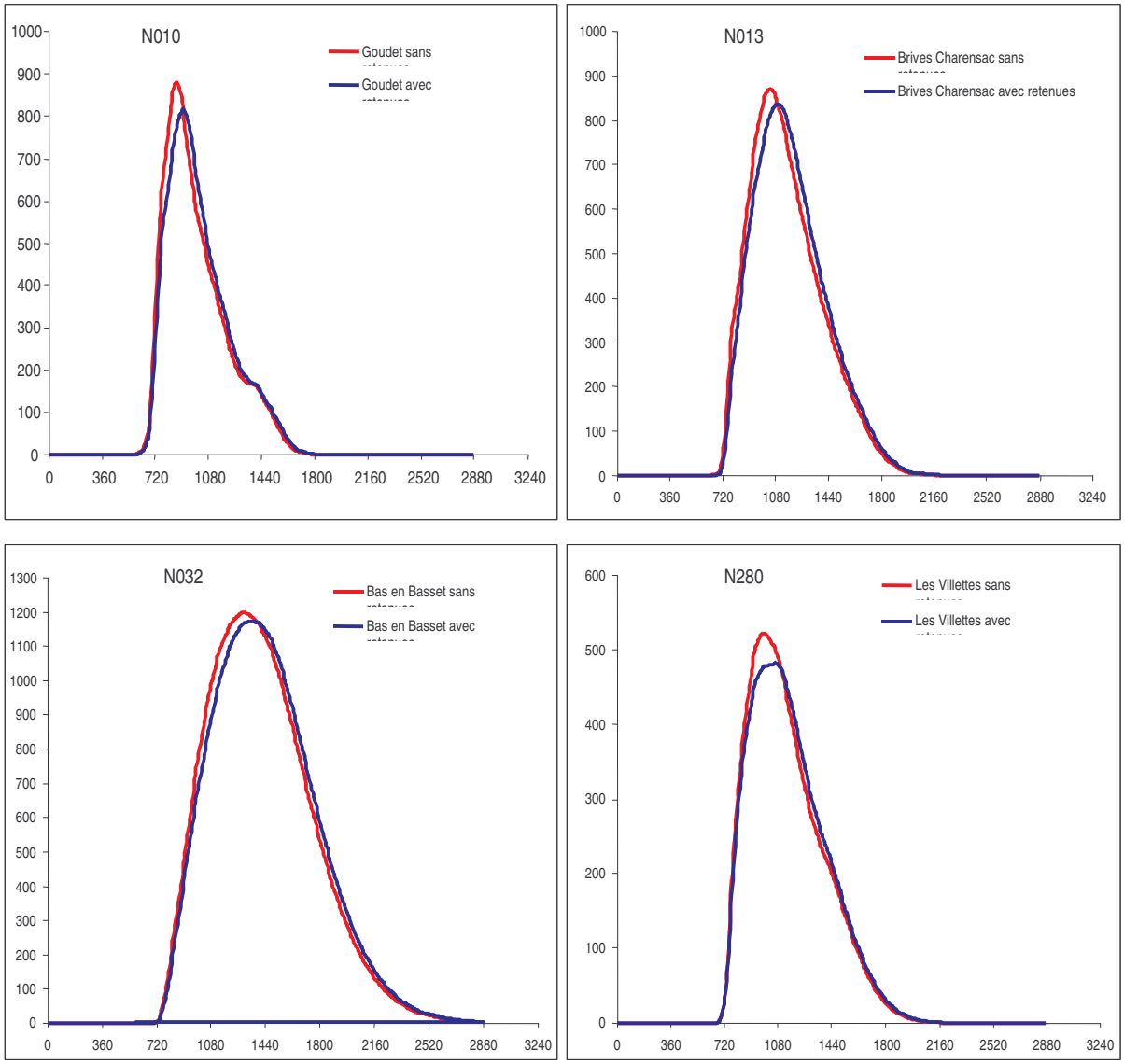
Dans un second temps, les dimensions des pertuis seront modifiées afin de juger de l'incidence de cette modification sur leurs efficacités.

Le tableau suivant présente les sections des pertuis estimées pour les différents ouvrages. Les sections sont rectangulaires ou circulaires (pour les plus petites dimensions).Les formes des sections ne sont données qu'à titre indicatifs car à ce stade de l'étude la forme du pertuis n'a que peu d'importance sur l'effet hydraulique et que seule la section est fondamentale.

Retenue n°	nœud	Affluents	Cours d'eau concernés	BV (Km²)	Section pertuis (m²)	Radier du pertuis (NGF)	Diamètre équivalent (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)
2	R2	La Padelle	La padelle	16,6	22,7	1150		7,6	3,0
5	R5	R. du Prat sauvage	R. du Prat sauvage	3,3	4,6	1195		2,3	2,0
6	R6	R. le Vernazon	R. de Melechamp et du Rance	8,9	10,9	1080		5,5	2,0
11	R11	R. le Vernazon	R. le Vernazon	50,5	43,8	1020		14,6	3,0
12	R12	R. de langougnole	R. de langougnole	10,3	7,0	1175		3,5	2,0
16	R16	La Méjeanne	La Méjeanne ; R. de Montviaux	34,5	24,4	970		8,1	3,0
19	R19	Le Gage	le Tauron	12,3	12,0	1155		4,8	2,5
21	R21	Le Gage	Le Gage	6,9	5,5	1180		2,8	2,0
23	R23	Le Gage	Le Gage	15,5	11,9	1135		5,9	2,0
24	R24	Le Gage	Le Gage	43,2	29,0	940		9,7	3,0
25	R25	Le Veyradeyre	Le Veyradeyre	10,2	7,0	1180		3,5	2,0
26	R26	Le Veyradeyre	Le Veyradeyre	21,8	13,8	1080		5,5	2,5
28	R28	La Loire	La Loire ; Le Merdanson	236	124,3	865		41,4	3,0
29	R29	Le Nadalès	Le Nadalès	8,7	5,6	1040		2,8	2,0
34	R34	La Gagne	R. de l'Aubépin	25,9	15,2	800		6,1	2,5
36	R36	La Gagne	La Gagne	107	23,8	660		7,9	3,0
41	R41	La Gazeille	R. de Collance	16,5	12,3	950		4,9	2,5
42	R42	La Gazeille	La Gazeille	56,5	39,1	905		13,0	3,0
45	R45	La Gazeille	La Gazeille	80	36,0	820		12,0	3,0
46	R46	La Gazeille	La Gazeille	84,7	36,1	790		12,0	3,0
52	R52	R. de la Laussonne	R. de la Laussonne	33,6	10,1	750		5,1	2,0
63	R63	La Padelle	La Loire ; La Padelle	49,8	54,0	1130		18,0	3,0
64	R64	La Padelle	La Padelle	11,9	15,2	1185		6,1	2,5
76	R76	La Borne	La Borne	24,5	3,0	900	1,9		
97	R97	R. de Chalon	R. de Chalon ; R. de Communac	42,7	8,5	640		4,3	2,0
102	R102	L'Arzon	L'Arzon	52,3	2,3	900	1,7		
104	R104	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Gouise	82,2	3,9	875	2,2		
105	R105	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Sugère	158	6,5	560		3,3	2,0
108	R108	L'Arzon	L'Arzon ; R. la Sugère ; R. Cronaille	160	6,4	550		3,2	2,0
119	R119	R. de Langougnole	R. de Langougnole	28,3	15,2	1020		6,1	2,5
128	R128	La Borne	R. le Bourbouilloux	41,1	6,3	785		3,2	2,0

Retenue n°	nœud	Affluents	Cours d'eau concernés	BV (Km²)	Section pertuis (m²)	Radier du pertuis (NGF)	Diamètre équivalent (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)
131	R131	La Borne	La Borne ; R. de Cheneville	36	3,2	890	2,0		
134	R134	La Borne	La Borne	30,6	2,5	925	1, 7		
140	R140	La Borne	R. Bourbouilloux	18,6	2,2	890	1,7		
144	R144	La Borne	R.x la Musette, le Say et la Combe	70,5	16,8	755		6,7	2,5
145	R145	La Borne	La Borne ; R. la Freycenette	280	23,5	710		7,8	3,0
150	R150	L'Ance	L'Ance	134	5,9	825		3,0	2,0
151	R151	L'Ance	L'Ance	251	8,3	735		4,1	2,0
156	R156	Le Lignon	La Dunière	45,9	5,1	810		2,5	2,0
157	R157	Le Lignon	La Dunière	23	2,7	860	1,9		
158	R158	Le Lignon	Le Lignon ; R. de Basset	276	66,3	800		22,1	3,0
200	R200	R. de l'Orcival	R. de l'Orcival	6,6	5,1	1120		2,5	2,0
201	R201	La Gagne	La Gagne	74,9	29,1	750		9,7	3,0
203	R203	La Sumène	La Sumène	42	5,4	765		2,7	2,0
206	R206	La Sumène	La Sumène	46,5	4,3	705		2,1	2,0
207	R207	Le Lignon	Le Lignon ; R. des Merles	75,8	42,7	1025		14,2	3,0
209	R209	Le Lignon	R. de l'Ourbe	21	8,1	1095		4,0	2,0
215	R215	R. de Suissesses	R. de Planhol	31,1	3,5	625	2,1		
217	R217	La Borne	R. la Gazelle	19,5	4,8	785		2,4	2,0
233	R233	L'Ance	L'Andrable	83	4,9	500		2,4	2,0
234	R234	L'Ance	R. de Chandieu	19,8	2,4	840	1,7		
238	R238	Le Lignon	R. de la Siaulme	21,6	4,5	740		2,3	2,0
450	R450	Le Lignon	Le Lignon	81	34,4	1000		11,5	3,0
530	R530	Le Lignon	R. de la Ligne	10,9	9,6	1025		4,8	2,0
700	R700	R. le Vernazon	R. de Mazan	9,8	12,1	1095		4,9	2,5
2150	R2150	Le Lignon	Le Lignon	190	67,3	835		22,4	3,0
3003	R3003	La Loire	La Loire	509	132,7	690		44,2	3,0
3008	R3008	La Borne	R. de la Roche	14,7	6,8	875		3,4	2,0
3012	R3012	La Loire	La Loire	345	148,9	810		49,6	3,0
4000	R4000	La Gagne	L'Aubépin	9	8,6	1070		4,3	2,0

Une simulation avec l'ensemble des retenues est réalisée pour l'événement décennal afin de vérifier que les ouvrages n'induisent pas de modification sensible des débits des crues de faible importance. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m^3/s.



L'événement décennal est peu modifié par les retenues sur l'axe Loire.

4.2 PREDIMENSIONNEMENT DES DEVERSOIRS DE SECURITE

Dans un premier temps, les déversoirs de sécurité sont prédimensionnés de manière à écouler le débit estimé pour l'événement de période de retour 5000 ans avec des lames d'eau comprise entre 1,0 et 2,0 m. Le choix de la lame d'eau sur le déversoir est fixé en fonction de la largeur de la vallée (variable en fonction de la cote choisie pour le déversoir). Dans la mesure du possible, on privilégie le recours à des lames d'eau les plus réduites possibles afin de pouvoir employer des matériaux rustiques pour la construction du déversoir (enrochements bétonnés).

Dans un second temps, le prédimensionnement des déversoirs doit être révisé afin de tenir compte du résultat des simulations ECRET : pour les ouvrages non déversants, les cotes des déversoirs sont abaissées jusqu'aux niveaux maximaux atteints dans les retenues pour la crue centennale amont et en considérant que chaque ouvrage est réalisé isolément.

La modification des cotes des déversoirs peut avoir comme conséquence la modification des lames d'eau de projet (T=5000 ans) et des largeurs déversantes. Cette modification sera réalisée dans le cadre de l'étape B après validation de la dimension des pertuis des ouvrages.

La cote du déversoir est égale à la cote des PHEE (identifiée dans le cadre de l'étape A1) à laquelle est soustraite la lame d'eau sur le déversoir.

Il est précisé que certaines retenues sont déversantes sur toute la largeur de la vallée du fait de l'importance de la crue de projet par rapport à la largeur disponible. Dans ces conditions, c'est la largeur qui conditionne la lame d'eau qui peut atteindre jusqu'à 6,5 m pour la retenue 3012 située sur la Loire.

5 EFFICACITE DES 60 RETENUES

5.1 PREAMBULE

Avant de présenter le résultat des simulations des événements de référence, il est nécessaire de préciser la définition des notions suivantes propres au ralentissement dynamique :

- efficacité « individuelle » : efficacité liée à la réalisation d'une retenue isolée ;
- efficacité « collective » : efficacité liée à la réalisation de toutes les retenues ;
- efficacité « locale » : efficacité au droit de l'ouvrage ;
- efficacité « globale » : efficacité au droit du nœud de référence de l'ouvrage (Coubon, Retournac, Aurec).

A titre d'exemple :

- l'efficacité individuelle locale d'une retenue est la réduction de débit d'une retenue, simulée seule, au droit de son implantation.
- l'efficacité collective globale à Aurec correspond à la réduction de débit au droit d'Aurec liée à la réalisation de toutes les retenues.

On entend par efficacité le rapport suivant exprimé en % : $(Q_{initial} - Q_{aménagé}) / Q_{initial}$.

5.2 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AMONT

5.2.1 Efficacité individuelle

Le tableau suivant présente, pour l'événement centennal amont :

- les réductions de débit au droit des 3 nœuds de référence (les débits initiaux, sans retenue, étant rappelés),
- l'efficacité individuelle globale de chaque retenue au droit du nœud de référence associé (% croissant),
- le débit entrant, le débit sortant et la cote maximale atteinte dans la retenue,
- le remplissage de la retenue défini comme la part de la lame d'eau sous le déversoir mobilisée pendant la crue (< 100 % si la cote du déversoir n'est pas atteinte et > 100 % s'il y a déversement).

Retenues	noeud de référence	Coubon N1200 (Q=1663 m³/s)	Retournac N250 (Q=1856 m³/s)	Aurec N033 (Q=2239 m³/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m³/s	Q sortant m³/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
158	Aurec	0	0	-51	-2,3%	915	783	814,6	non	91%
45	Coubon	-23	-7	3	-1,4%	388	348	830,3	non	56%
145	Retournac	0	-25	2	-1,3%	275	209	718,9	non	49%
46	Coubon	-16	-6	2	-1,0%	385	357	800,7	non	62%
108	Retournac	0	-18	-1	-1,0%	99	59	558,7	non	48%
36	Retournac	0	-16	-3	-0,9%	289	235	670,6	non	59%
105	Retournac	0	-13	-1	-0,7%	100	61	569,3	non	50%
2150	Aurec	0	0	-14	-0,6%	709	652	845,3	non	93%
104	Retournac	0	-11	-1	-0,6%	53	34	882,9	non	57%
42	Coubon	-7	-2	1	-0,4%	334	325	913,0	non	46%
201	Retournac	0	-38,9	-2,6	-2,1%	290	177	765,4	non	84%
144	Retournac	0	-6	-1	-0,3%	130	103	759,9	non	38%
203	Retournac	0	-5	0	-0,3%	60	30	768,8	non	21%
16	Coubon	-4	0	2	-0,2%	206	192	977,3	non	41%
102	Retournac	0	-4	-1	-0,2%	37	18	906,8	non	36%
128	Retournac	0	-3	0	-0,2%	50	36	789,0	non	48%
34	Retournac	0	-3	-1	-0,2%	134	120	807,2	non	40%
52	Retournac	-1	-3	0	-0,2%	104	89	758,3	non	45%
207	Aurec	0	0	-3	-0,1%	389	341	1032,5	non	57%
206	Retournac	0	-2	-4	-0,1%	56	35	712,4	non	40%
217	Retournac	0	-2	0	-0,1%	37	27	789,0	non	30%
41	Coubon	-2	-1	0	-0,1%	100	99	957,3	non	40%
450	Aurec	0	0	-2	-0,1%	391	347	1011,1	non	62%
530	Aurec	0	0	-1	0,0%	67	61	1029,9	non	35%
140	Retournac	0	-1	-1	0,0%	26	12	893,5	non	19%
4000	Retournac	0	-1	0	0,0%	66	64	1076,3	non	34%
97	Retournac	0	-1	-1	0,0%	78	60	645,7	non	31%
29	Coubon	0	1	1	0,0%	49	41	1046,2	non	33%
234	Aurec	0	0	-1	0,0%	26	13	843,7	non	27%
215	Retournac	0	0	1	0,0%	39	24	630,2	non	37%
3008	Retournac	0	0	0	0,0%	32	29	877,7	non	31%
157	Aurec	0	0	0	0,0%	31	18	864,7	non	25%
209	Aurec	0	0	0	0,0%	67	60	1101,2	non	33%
156	Aurec	0	0	0	0,0%	64	34	815,3	non	30%
131	Retournac	0	0	1	0,0%	45	24	896,1	non	32%
200	Coubon	0	1	1	0,0%	40	36	1125,7	non	30%
151	Aurec	0	0	1	0,0%	125	87	746,4	non	62%
150	Aurec	0	0	1	0,0%	82	53	833,4	non	60%
119	Coubon	1	2	1	0,0%	152	139	1029,1	non	51%

Retenues	noeud de référence	Coubon N1200 (Q=1663 m3/s)	Retournac N250 (Q=1856 m3/s)	Aurec N033 (Q=2239 m3/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m3/s	Q sortant m3/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
76	Retournac	0	1	-1	0,1%	32	16	903,6	non	26%
25	Coubon	1	1	0	0,1%	59	56	1187,1	non	38%
700	Coubon	1	1	0	0,1%	75	74	1099,8	non	35%
233	Aurec	0	0	2	0,1%	75	46	509,4	non	53%
19	Coubon	1	1	1	0,1%	91	89	1161,3	non	34%
21	Coubon	1	1	1	0,1%	43	39	1185,8	non	31%
26	Coubon	2	2	1	0,1%	124	117	1088,0	non	44%
238	Aurec	0	0	3	0,1%	45	30	745,3	non	28%
6	Coubon	2	2	1	0,1%	77	73	1085,2	non	28%
24	Coubon	4	3	2	0,2%	269	263	949,2	non	52%
64	Coubon	4	3	1	0,2%	105	100	1190,3	non	29%
5	Coubon	4	3	2	0,2%	27	21	1197,9	non	21%
134	Retournac	0	5	1	0,3%	32	13	928,3	non	24%
23	Coubon	6	4	2	0,3%	98	85	1140,8	non	31%
11	Coubon	6	5	3	0,4%	352	348	1027,4	non	42%
63	Coubon	7	5	3	0,4%	370	369	1135,9	non	45%
12	Coubon	7	6	3	0,4%	62	43	1179,5	non	24%
2	Coubon	10	7	4	0,6%	140	127	1154,5	non	34%
28	Coubon	24	22	12	1,5%	1276	1249	875,9	non	73%
3012	Coubon	28	37	25	1,7%	1569	1532	821,4	non	85%
3003	Coubon	62	72	48	3,7%	1512	1462	702,9	non	88%

Avec des pertuis dimensionnés à partir de l'événement décennal, les gains induits par les ouvrages sont faibles avec une efficacité individuelle au droit du nœud de référence :

– négative ou négligeable pour 39 retenues (en grisées dans le tableau),

– < 1 % pour 18 retenues,

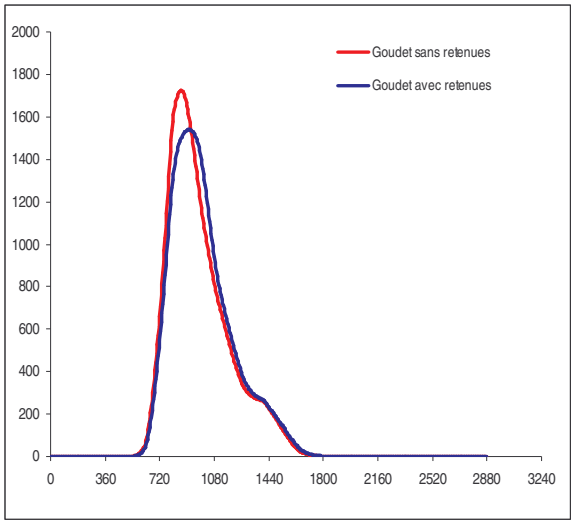
– comprises entre 1,5 et 3,7 % pour 3 retenues situées sur la Loire amont.

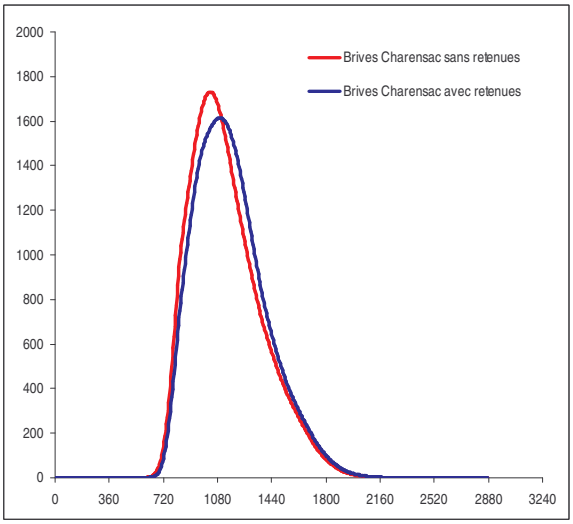
Les retenues sont faiblement mobilisées avec un remplissage moyen de l'ordre de 41 % qui représente 15 à 20 % des volumes disponibles pour le laminage sous les déversoirs.

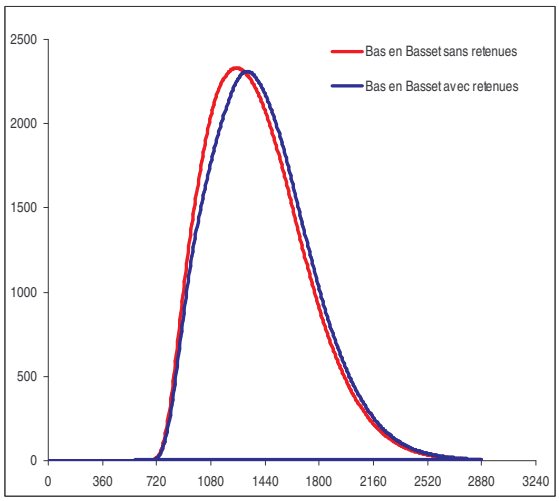
Les efficacités négatives sont le fait d'une remise en concomitance défavorable du fait du ralentissement dynamique.

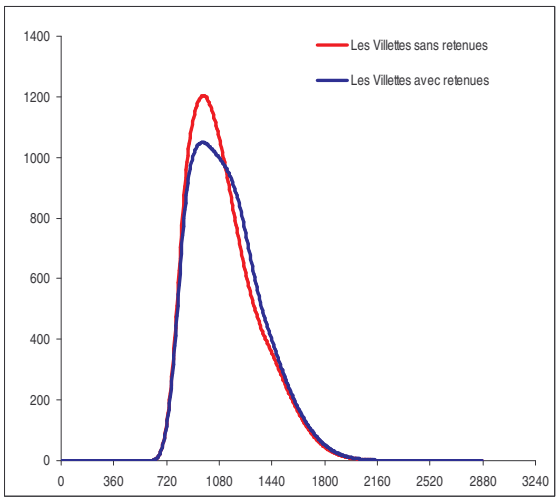
5.2.2 Efficacité collective

Les graphiques suivants présentent les évolutions des hydrogrammes sur l'axe Loire et en aval du Lignon (les Villettes) pour l'événement centennal amont. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.









Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 11% à Coubon et 4% à Retournac. L'effet des retenues est négligeable en aval de la confluence Loire amont / Lignon.

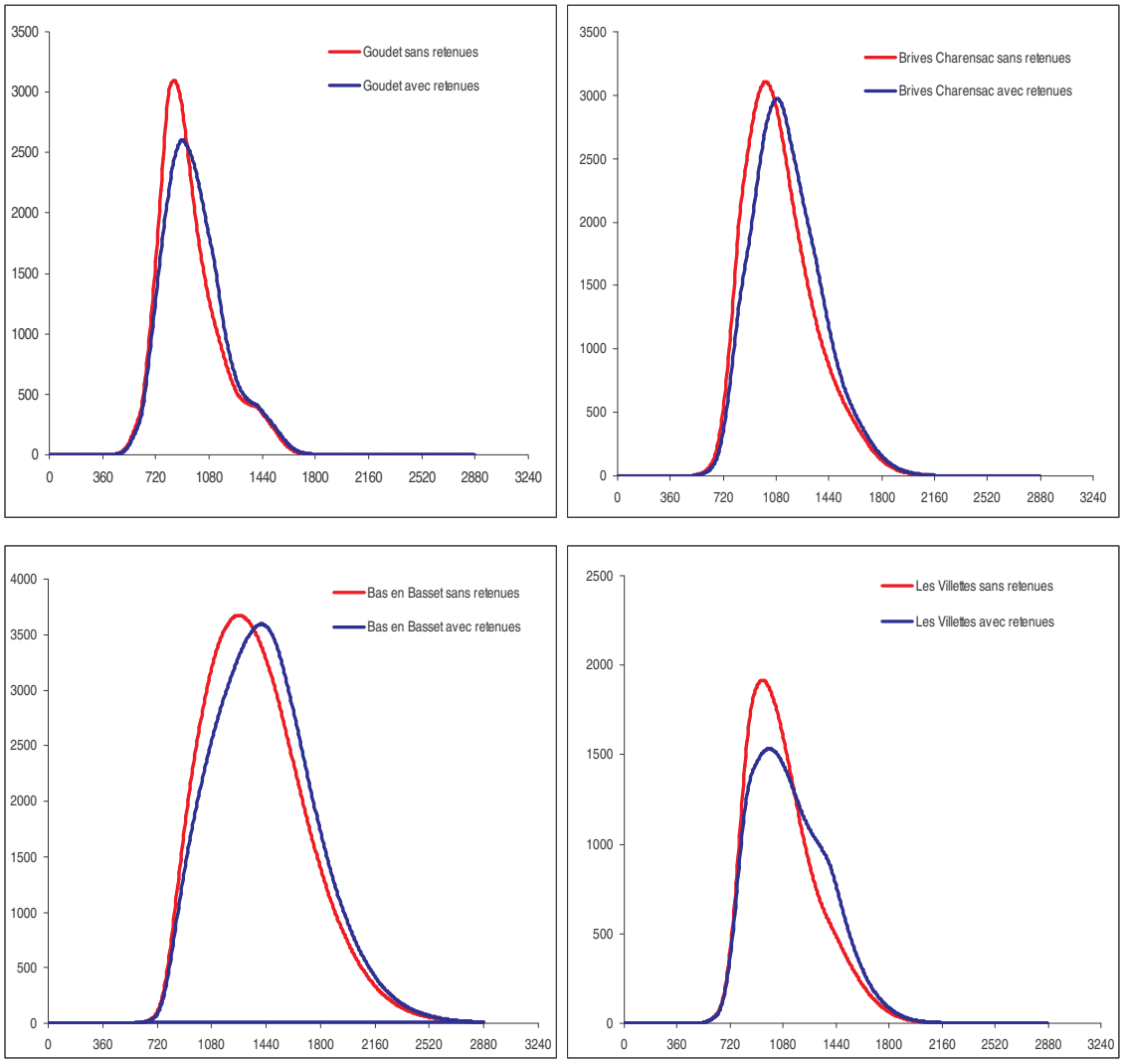
		1	2	2-1
		Evénement centennal amont	Evénement centennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial (m3/s)	60 retenues avec pertuis dimensionnés pour l'événement décennal (m3/s)	
N010	Goudet	1723	1539	11%
N1200	Coubon	1663	1548	7%
N013	Brives	1730	1615	7%
N240	Beaulieu	1864	1769	5%
N250	Retournac	1856	1783	4%
N033	Aurec	2239	2214	1%

L'efficacité collective des retenues sur l'axe Loire est faible du fait d'un remplissage insuffisant des retenues. Ces résultats montrent qu'il ne suffit pas d'écrêter les pointes de crues des affluents pour réduire de manière significative les débits de pointe sur l'axe Loire : **la pointe de crue de la Loire amont n'est pas la simple sommation des pointes de crue des affluents mais une convolution complexe des hydrogrammes des affluents**.

5.3 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AVAL TYPE CEVENOL

5.3.1 Efficacité collective

Les graphiques suivants présentent les évolutions des hydrogrammes sur l'axe Loire et en aval du Lignon pour l'événement centennal aval de type cévenol. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



L'efficacité des retenues sur l'axe Loire demeure faible.

5.3.2 Efficacité individuelle

Le graphique suivant présente l'efficacité individuelle des retenues.

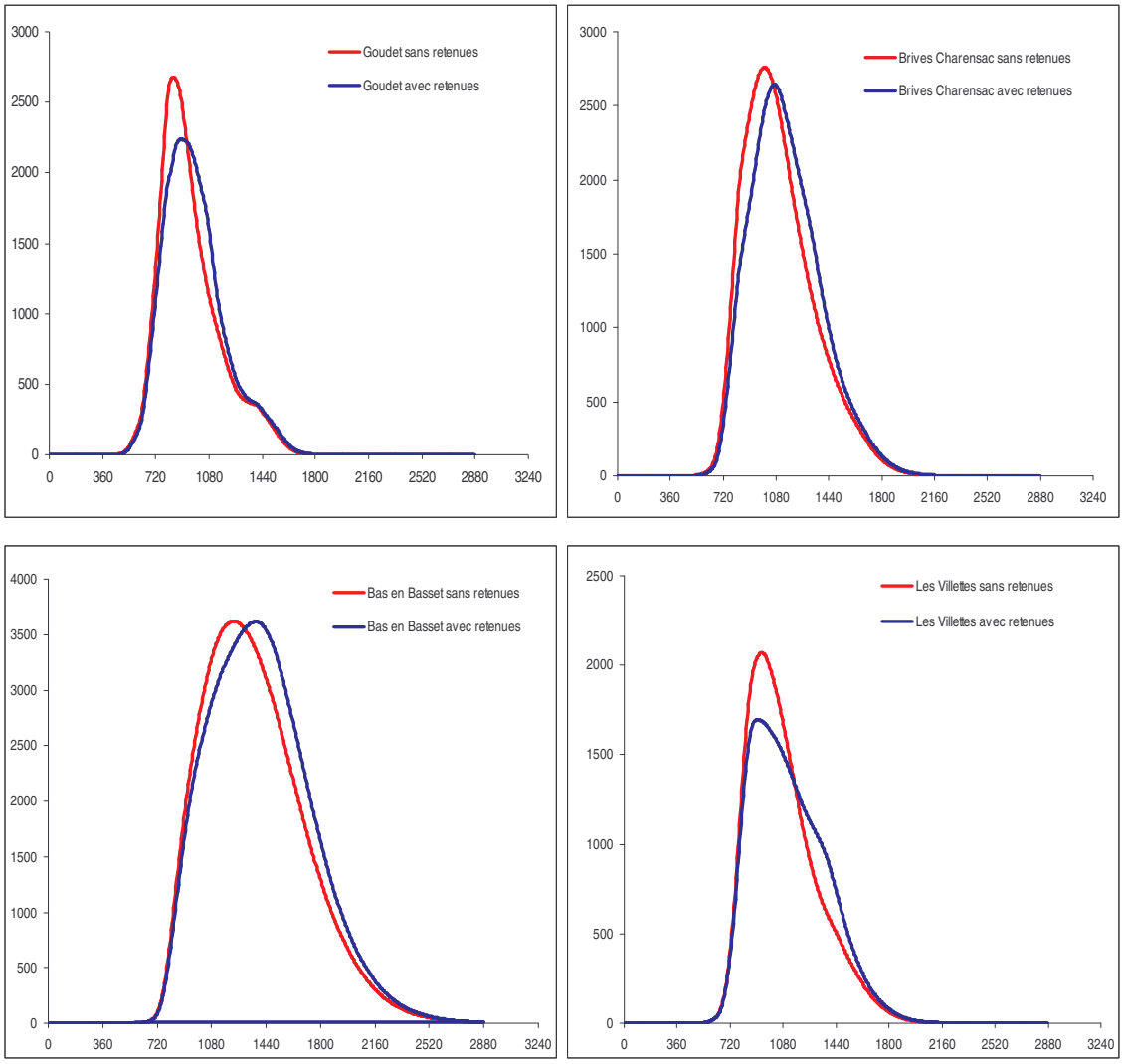
Retenues	noeud de référence	Coubon N1200 (Q=1663 m³/s)	Retournac N250 (Q=1856 m³/s)	Aurec N033 (Q=2239 m³/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m³/s	Q sortant m³/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
36	Retournac	0.0	-81.8	-4.2	-4.4%	497	380	678.3	oui	102%
46	Coubon	-60.9	-19.2	12.1	-3.7%	665	649	808.2	oui	105%
45	Coubon	-59.5	-18.2	15.6	-3.6%	665	650	838.8	oui	103%
158	Aurec	0.0	0.0	-65.0	-2.9%	1744	1724	818.3	oui	114%
201	Retournac	0.0	-43.7	-4.9	-2.4%	486	367	766.7	non	91%
42	Coubon	-35.8	-10.5	6.7	-2.2%	564	495	921.7	non	96%
2150	Aurec	0.0	0.0	-33.1	-1.5%	1305	1299	848.1	oui	118%
145	Retournac	0.0	-26.7	2.1	-1.4%	282	210	719.0	non	49%
52	Retournac	-27.7	-18.5	-1.1	-1.0%	176	119	764.3	non	77%
34	Retournac	0.0	-17.3	-2.2	-0.9%	226	179	814.5	non	81%
203	Retournac	0.0	-11.7	1.8	-0.6%	88	37	770.5	non	30%
104	Retournac	0.0	-10.9	-1.8	-0.6%	54	33	882.8	non	55%
108	Retournac	0.0	-10.6	0.0	-0.6%	102	58	558.7	non	47%
206	Retournac	0.0	-10.3	2.5	-0.6%	85	42	715.1	non	55%
16	Coubon	-8.7	1.2	7.5	-0.5%	346	287	984.7	non	82%
41	Coubon	-7.9	-2.6	1.4	-0.5%	167	149	965.1	non	82%
144	Retournac	0.0	-6.6	-0.4	-0.4%	136	106	760.1	non	39%
102	Retournac	0.0	-5.7	-0.8	-0.3%	37	18	906.6	non	35%
105	Retournac	0.0	-4.4	-0.4	-0.2%	103	61	569.2	non	50%
207	Aurec	0.0	0.0	-4.4	-0.2%	667	454	1037.2	non	92%
530	Aurec	0.0	0.0	-4.2	-0.2%	112	89	1034.2	non	66%
128	Retournac	0.0	-3.2	0.2	-0.2%	51	36	789.1	non	49%
4000	Retournac	0.0	-3.1	-0.3	-0.2%	107	100	1083.7	non	74%
217	Retournac	0.0	-2.2	0.0	-0.1%	38	28	789.2	non	31%
157	Aurec	0.0	0.0	-1.3	-0.1%	46	22	867.0	non	37%
209	Aurec	0.0	0.0	-1.3	-0.1%	107	79	1105.1	non	53%
234	Aurec	0.0	0.0	-1.2	-0.1%	27	14	843.8	non	27%
140	Retournac	0.0	-0.9	-2.7	-0.1%	27	12	893.6	non	19%
215	Retournac	0.0	-0.9	2.5	0.0%	52	27	631.7	non	48%
3008	Retournac	0.0	-0.8	-0.2	0.0%	43	37	878.8	non	42%
450	Aurec	0.0	0.0	-0.6	0.0%	685	502	1018.3	oui	101%
97	Retournac	0.0	-0.5	-0.8	0.0%	81	61	646.0	non	32%
131	Retournac	0.0	0.0	2.1	0.0%	47	24	896.2	non	32%
156	Aurec	0.0	0.0	0.0	0.0%	100	44	818.1	non	45%

Retenues	noeud de référence	Coubon N1200 (Q=1663 m3/s)	Retournac N250 (Q=1856 m3/s)	Aurec N033 (Q=2239 m3/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m3/s	Q sortant m3/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
151	Aurec	0.0	0.0	0.6	0.0%	152	94	748.1	non	71%
76	Retournac	0.0	0.8	-1.4	0.0%	33	16	903.7	non	27%
150	Aurec	0.0	0.0	2.3	0.1%	124	60	835.5	non	75%
238	Aurec	0.0	0.0	2.5	0.1%	70	40	748.4	non	44%
134	Retournac	0.0	4.3	4.0	0.2%	33	13	928.3	non	24%
700	Coubon	4.1	2.7	1.4	0.2%	121	115	1104.7	non	70%
200	Coubon	5.5	4.0	2.5	0.3%	67	51	1130.7	non	56%
233	Aurec sur Loire	0.0	0.0	7.5	0.3%	83	48	510.2	non	57%
25	Coubon	5.6	3.6	1.8	0.3%	100	86	1195.1	non	82%
29	Coubon	6.7	5.5	4.0	0.4%	84	59	1051.7	non	62%
21	Coubon	6.9	4.5	2.1	0.4%	70	58	1191.5	non	60%
19	Coubon	6.9	4.5	2.3	0.4%	145	135	1168.1	non	70%
5	Coubon	8.7	7.1	3.4	0.5%	43	28	1199.6	non	33%
6	Coubon	8.7	5.9	2.9	0.5%	120	109	1090.4	non	55%
64	Coubon	11.0	8.6	3.8	0.7%	162	145	1194.8	non	53%
26	Coubon	15.5	10.2	5.2	0.9%	212	175	1096.7	non	92%
63	Coubon	22.5	16.5	7.4	1.4%	601	557	1141.5	non	89%
24	Coubon	22.7	14.6	8.0	1.4%	452	451	958.3	oui	103%
2	Coubon	23.6	18.9	8.7	1.4%	220	183	1157.7	non	57%
23	Coubon	23.9	16.6	7.5	1.4%	162	120	1145.9	non	58%
12	Coubon	25.8	20.3	10.6	1.6%	106	57	1182.3	non	38%
11	Coubon	26.8	17.5	8.6	1.6%	583	545	1036.1	non	91%
119	Coubon	28.6	20.0	10.8	1.7%	268	191	1036.3	non	90%
3003	Coubon	58.8	95.0	96.9	3.5%	2728	2724	707.3	oui	118%
3012	Coubon	80.9	80.8	60.2	4.9%	2789	2783	826.5	oui	122%
28	Coubon	97.9	74.7	41.3	5.9%	2238	2228	882.1	oui	114%

5.4 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AVAL TYPE GENERALISE

5.4.1 Efficacité collective

Les graphiques suivants présentent les évolutions des hydrogrammes sur l'axe Loire et en aval du Lignon pour l'événement centennal aval de type généralisé. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



L'efficacité des retenues est encore peu sensible sur l'axe Loire.

5.4.2 Efficacité individuelle

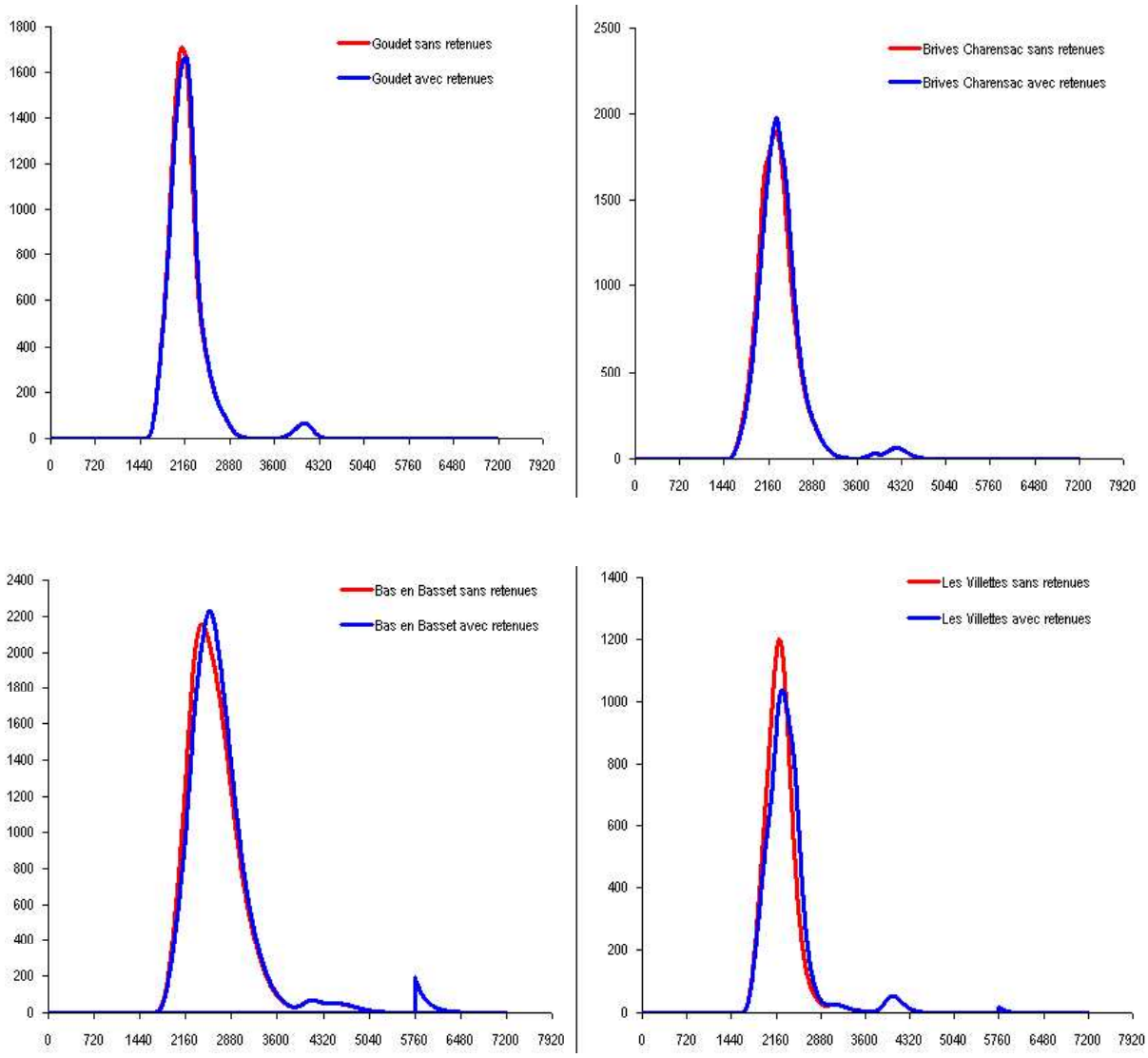
Le graphique suivant présente l'efficacité individuelle des retenues.

Retenues	noeud de référence	Coubon N1200 (Q=1663 m³/s)	Retournac N250 (Q=1856 m³/s)	Aurec N033 (Q=2239 m³/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m³/s	Q sortant m³/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
36	Retournac	0.0	-78.7	0.6	-4.2%	496	363	678.3	oui	102%
46	Coubon	-52.7	-1.9	13.3	-3.2%	595	519	807.7	oui	102%
45	Coubon	-50.5	1.0	16.0	-3.0%	591	473	837.9	non	97%
201	Retournac	0.0	-41.0	-2.2	-2.2%	460	355	765.7	non	86%
158	Aurec	0.0	0.0	-47.3	-2.1%	1478	1449	817.9	oui	111%
105	Retournac	0.0	-31.8	0.4	-1.7%	164	74	573.1	non	71%
108	Retournac	0.0	-30.2	4.5	-1.6%	162	71	562.4	non	68%
145	Retournac	0.0	-29.5	16.0	-1.6%	424	264	723.4	non	73%
42	Coubon	-21.8	-1.5	5.3	-1.3%	488	446	918.9	non	80%
2150	Aurec	0.0	0.0	-23.0	-1.0%	1119	1111	847.7	oui	114%
52	Retournac	-30.2	-19.0	0.1	-1.0%	176	119	764.2	non	77%
206	Retournac	0.0	-16.0	26.4	-0.9%	123	48	717.9	non	70%
144	Retournac	0.0	-15.8	0.4	-0.9%	192	131	762.1	non	55%
34	Retournac	0.0	-13.1	-0.9	-0.7%	199	165	812.5	non	69%
203	Retournac	0.0	-12.7	1.1	-0.7%	126	44	772.3	non	39%
104	Retournac	0.0	-11.4	-4.4	-0.6%	88	39	885.3	non	74%
215	Retournac	0.0	-8.7	1.7	-0.5%	76	32	633.9	non	64%
16	Coubon	-6.0	4.4	5.6	-0.4%	299	260	982.3	non	68%
128	Retournac	0.0	-5.4	1.5	-0.3%	77	45	790.8	non	68%
41	Coubon	-4.4	-0.5	1.1	-0.3%	144	134	962.5	non	68%
217	Retournac	0.0	-4.1	0.6	-0.2%	54	34	790.7	non	42%
234	Aurec	0.0	0.0	-3.0	-0.1%	41	17	845.3	non	38%
97	Retournac	0.0	-2.3	-2.0	-0.1%	115	74	648.2	non	44%
4000	Retournac	0.0	-2.1	0.0	-0.1%	93	89	1081.1	non	60%
3008	Retournac	0.0	-2.1	-0.4	-0.1%	58	45	880.1	non	57%
530	Aurec	0.0	0.0	-2.6	-0.1%	97	81	1032.9	non	56%
102	Retournac	0.0	-0.7	-2.4	0.0%	60	22	909.1	non	48%
157	Aurec	0.0	0.0	-0.5	0.0%	67	26	869.6	non	51%
209	Aurec	0.0	0.0	-0.5	0.0%	105	78	1104.9	non	52%
156	Aurec	0.0	0.0	0.6	0.0%	135	50	820.3	non	57%
207	Aurec	0.0	0.0	1.0	0.0%	587	429	1036.0	non	83%
150	Aurec	0.0	0.0	1.5	0.1%	191	67	838.2	non	94%
140	Retournac	0.0	1.7	-5.0	0.1%	40	15	895.1	non	27%
151	Aurec	0.0	0.0	2.1	0.1%	242	110	752.8	non	97%
450	Aurec	0.0	0.0	2.9	0.1%	599	422	1015.7	non	87%

Retenues	noeud de référence	Coubon N1200 (Q=1663 m3/s)	Retournac N250 (Q=1856 m3/s)	Aurec N033 (Q=2239 m3/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m3/s	Q sortant m3/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
700	Coubon	2.7	1.9	0.9	0.2%	105	102	1102.9	non	57%
25	Coubon	3.5	2.5	1.1	0.2%	86	78	1192.6	non	68%
200	Coubon	3.8	3.3	1.7	0.2%	58	47	1129.1	non	48%
233	Aurec	0.0	0.0	5.6	0.2%	132	59	514.8	non	82%
238	Aurec	0.0	0.0	5.6	0.2%	84	44	750.0	non	53%
29	Coubon	4.5	4.9	2.8	0.3%	72	54	1050.1	non	53%
19	Coubon	4.6	3.3	1.5	0.3%	126	120	1165.7	non	57%
21	Coubon	4.7	3.2	1.4	0.3%	61	53	1189.7	non	51%
76	Retournac	0.0	5.9	-7.9	0.3%	50	20	905.2	non	37%
131	Retournac	0.0	6.5	1.4	0.4%	72	28	898.3	non	44%
6	Coubon	6.0	4.3	1.9	0.4%	105	98	1088.5	non	45%
5	Coubon	6.8	5.1	2.4	0.4%	37	26	1199.1	non	29%
64	Coubon	7.7	5.4	2.5	0.5%	142	131	1193.2	non	44%
26	Coubon	10.2	7.3	3.3	0.6%	183	159	1093.9	non	76%
134	Retournac	0.0	11.9	2.8	0.6%	52	15	929.5	non	32%
63	Coubon	13.8	9.8	4.5	0.8%	522	503	1139.7	non	74%
119	Coubon	16.8	13.5	6.4	1.0%	229	178	1034.3	non	79%
23	Coubon	16.9	11.6	5.0	1.0%	140	110	1144.3	non	50%
24	Coubon	17.2	12.2	5.6	1.0%	391	363	956.3	non	91%
11	Coubon	17.4	12.2	5.6	1.0%	504	484	1033.0	non	74%
2	Coubon	17.6	12.8	5.9	1.1%	193	166	1156.6	non	49%
12	Coubon	19.8	15.4	7.4	1.2%	91	53	1181.5	non	34%
3003	Coubon	64.7	124.0	91.7	3.9%	2381	2377	706.7	oui	114%
3012	Coubon	85.7	94.0	52.8	5.2%	2405	2398	825.7	oui	116%
28	Coubon	96.7	73.2	33.0	5.8%	1916	1903	881.4	oui	109%

5.5 EFFICACITE CRUE 1980

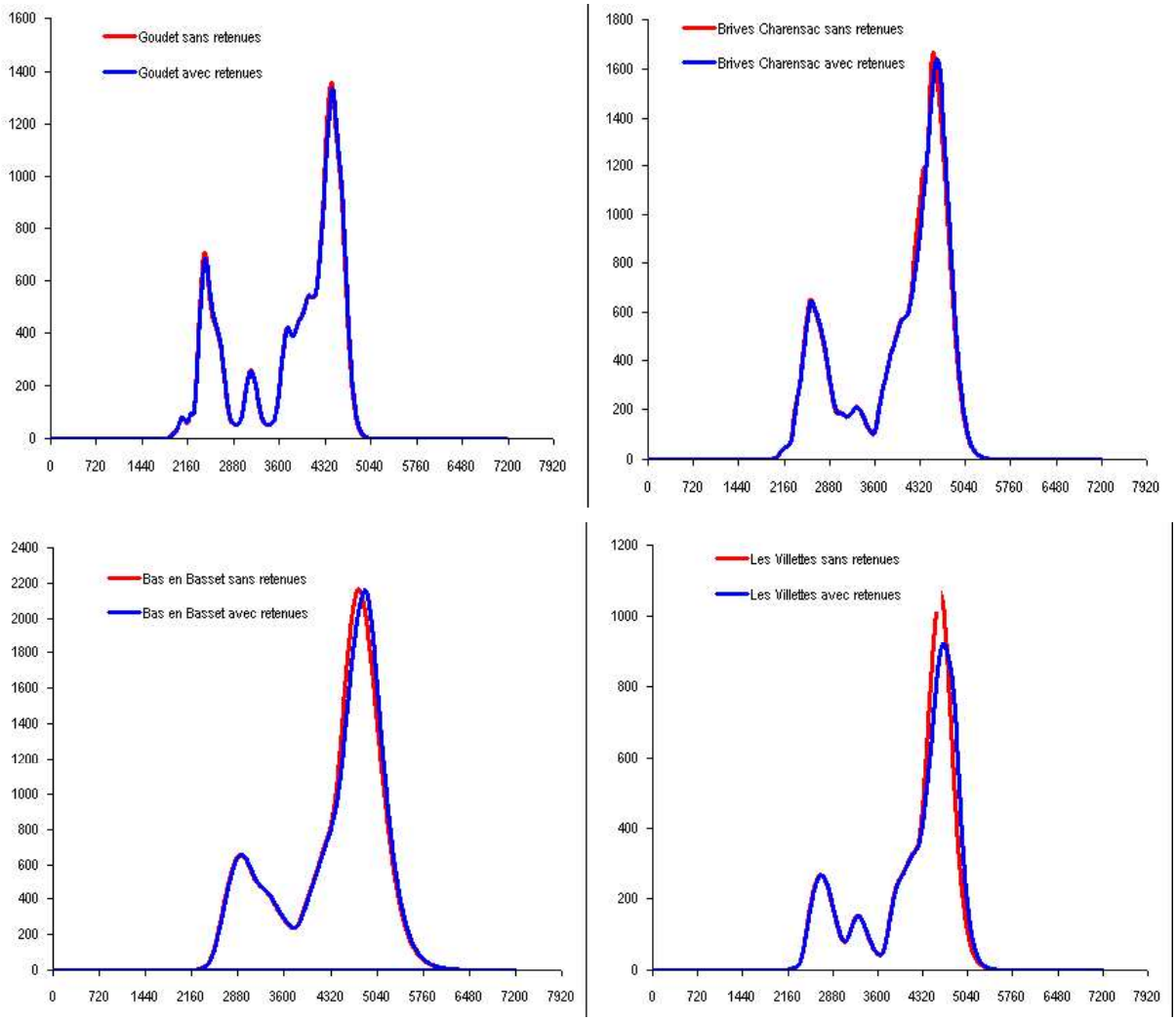
Les graphiques suivants présentent les évolutions des hydrogrammes sur l'axe Loire et en aval du Lignon pour la crue historique de 1980. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



L'efficacité des retenues est globalement peu sensible.

5.6 EFFICACITE CRUE 1996

Les graphiques suivants présentent les évolutions des hydrogrammes sur l'axe Loire et en aval du Lignon pour la crue historique de 1996. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



L'efficacité des retenues est globalement peu sensible.

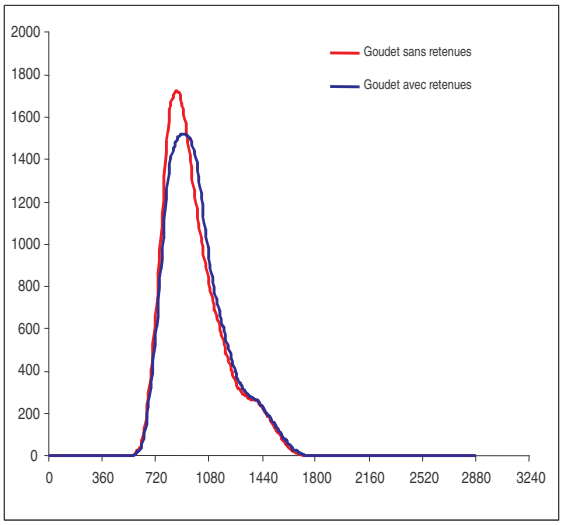
6 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES

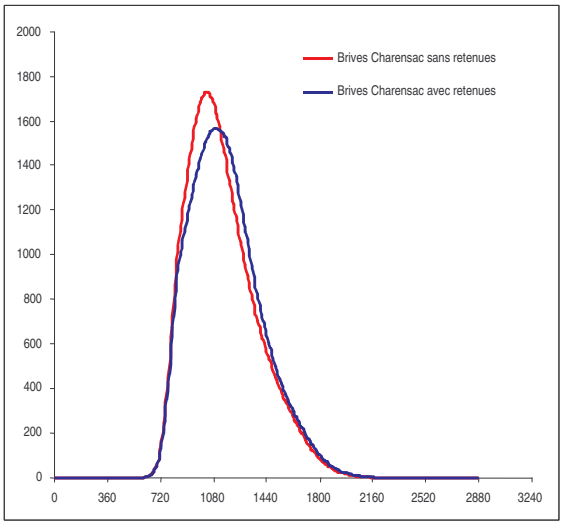
6.1 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AMONT

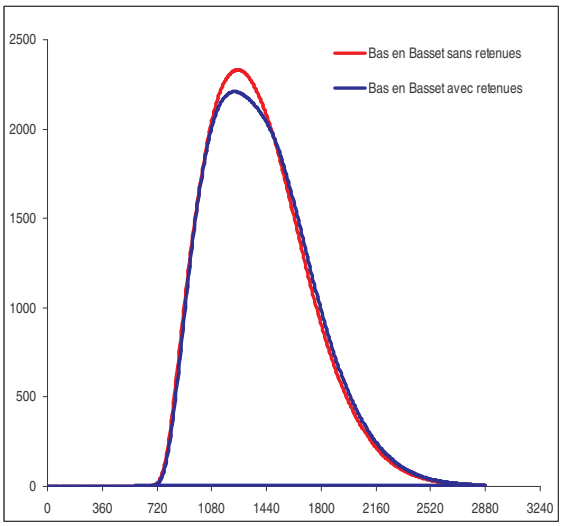
Il a été précisé au paragraphe 5.2.1 que 39 retenues étaient associées à une efficacité individuelle négative au droit des nœuds de référence.

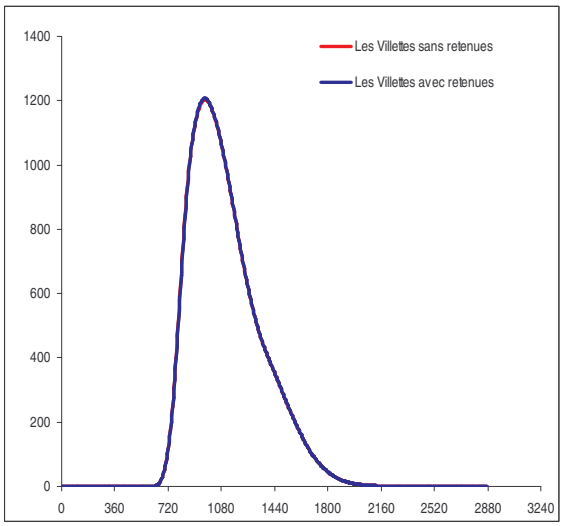
Une simulation a été menée pour l'événement centennal amont en simulant les 21 sites dont l'efficacité individuelle a été estimé positive au droit des nœuds de référence.

Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m^3/s.







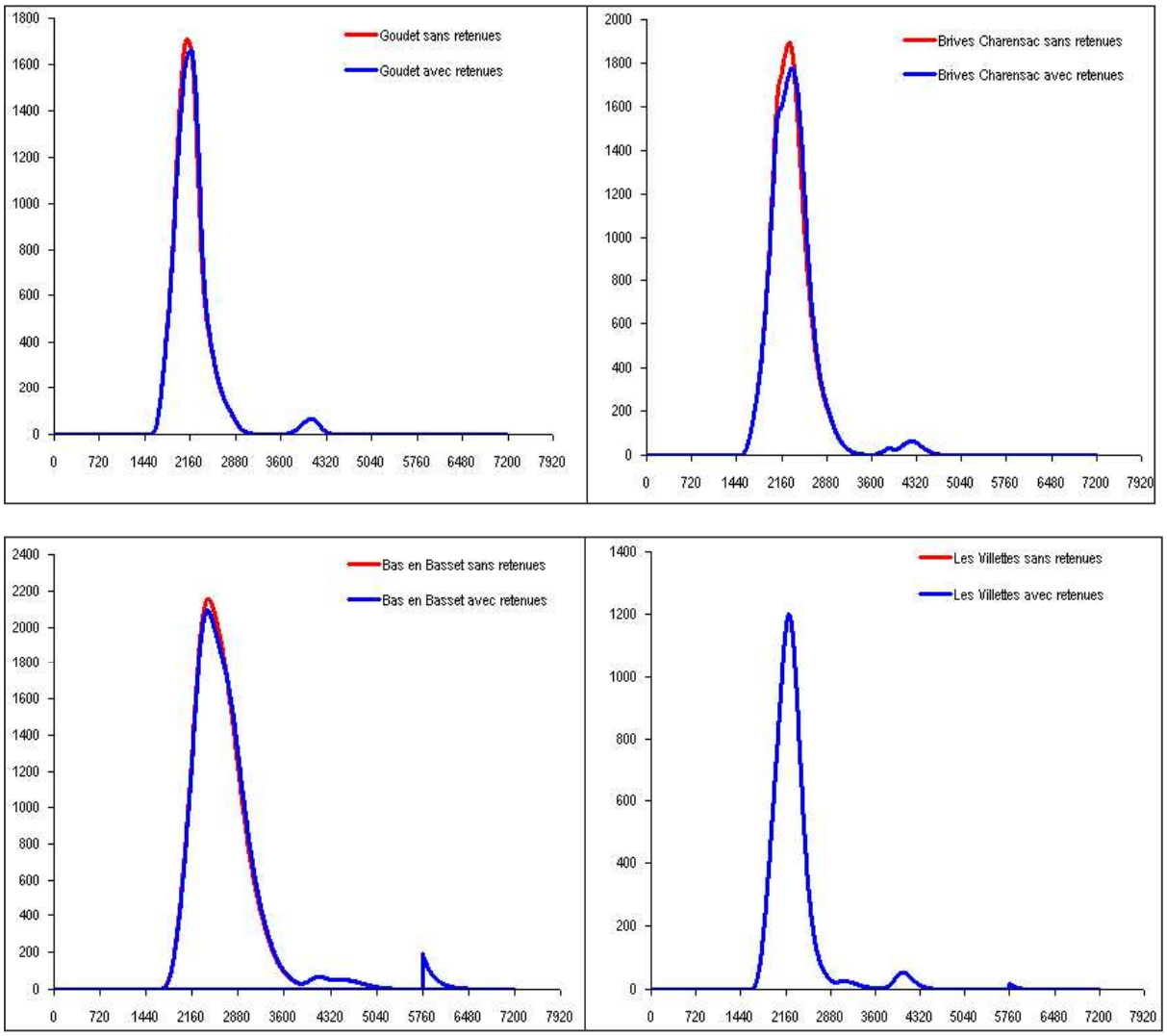


Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 12% à Coubon et 9% à Retournac. L'effet des retenues est faible en aval de la confluence Loire amont / Lignon. Il est à préciser que ces résultats sont meilleurs que ceux obtenus avec les 60 retenues (réduction de 11% à 4 % sur l'axe Loire et 1 % en aval de la confluence Loire amont / Lignon)

		1	3	3-1
		Evénement centennal amont	Evénement centennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	21 meilleurs retenues avec pertuis dimensionnés pour l'événement décennal	
N010	Goudet	1723	1522	12%
N1200	Coubon	1663	1512	9%
N013	Brives	1730	1568	9%
N240	Beaulieu	1864	1684	10%
N250	Retournac	1856	1692	9%
N033	Aurec	2239	2135	5%

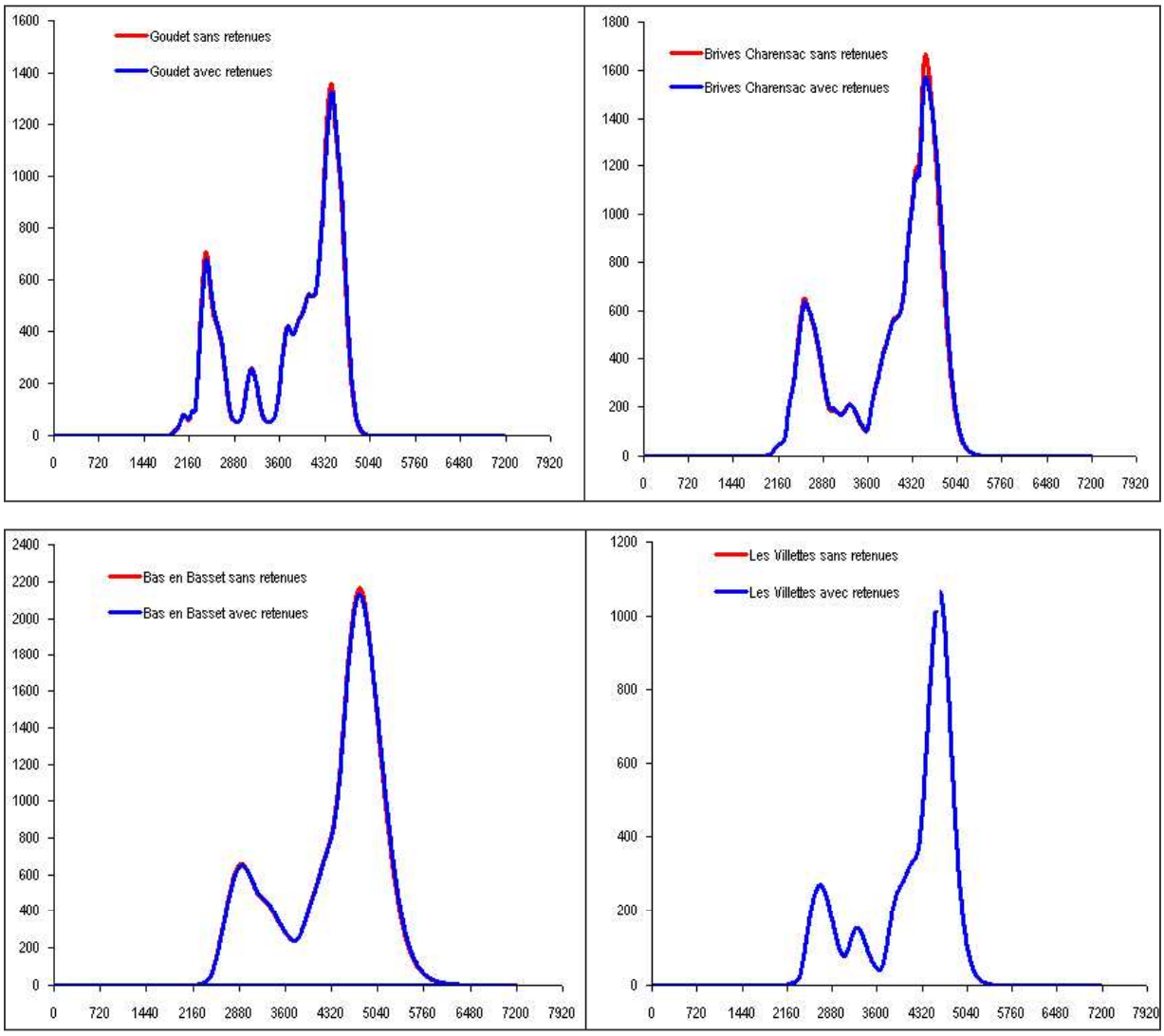
6.2 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES POUR LA CRUE HISTORIQUE DE 1980

Une simulation a été menée pour la crue historique de 1980 en simulant les 21 sites dont l'efficacité individuelle a été estimé positive au droit des nœuds de référence pour l'événement centennal amont. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



6.3 EFFICACITE DES 21 MEILLEURS SITES POUR LA CRUE HISTORIQUE DE 1996

Une simulation a été menée pour la crue historique de 1980 en simulant les 21 sites dont l'efficacité individuelle a été estimé positive au droit des nœuds de référence pour l'événement centennal amont. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



7 EFFET DE LA MODIFICATION DE LA TAILLE DES PERTUIS

7.1 MODIFICATION DE LA TAILLE DES PERTUIS

Dans les simulations précédentes, les pertuis ont été dimensionnés de manière à ne pas modifier l'événement décennal.

L'objectif est maintenant d'optimiser la taille des pertuis de chacune des retenues en choisissant la section qui conduit à une cote de remplissage la plus proche du déversement. Pour ce faire, les 60 retenues ont été simulées, pour l'évènement centennal amont et de manière individuelle, en réduisant la section du pertuis de :

-50 % (section divisée par 2),

-66 % (section divisée par 3),

-80 % (section divisée par 5),

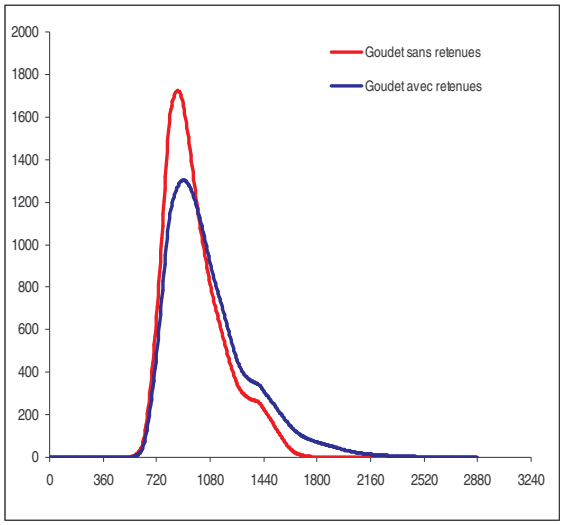
Les coefficients de débits conduisant au plus fort remplissage ont été retenus.

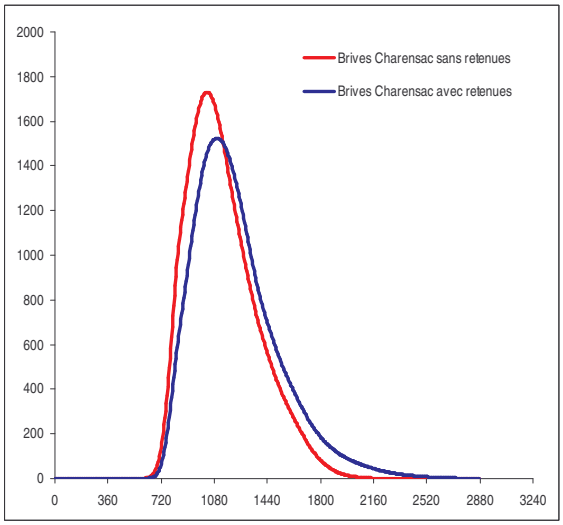
Il est précisé que pour certaines retenues, les tailles des pertuis n'ont pas été modifiées (R11, R24, R28, R45, R46, R158, R2150, R3003, R3012) Le fait de diviser la section du pertuis par deux rend la retenue deversante. Cette situation ne permet pas d'obtenir un gain de débit. Ainsi, la capacité de remplissage de certaines retenues ne sont pas pleinement utilisées comme les retenues 11 et 24.

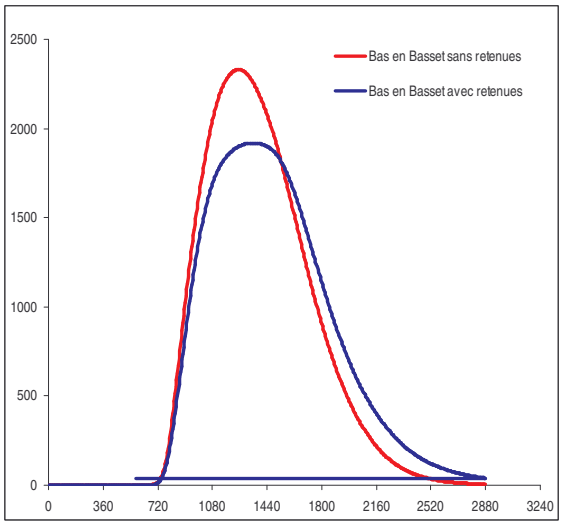
7.2 EFFICACITE POUR L'EVENEMENT CENTENNAL AMONT AVEC DES PERTUIS OPTIMISES

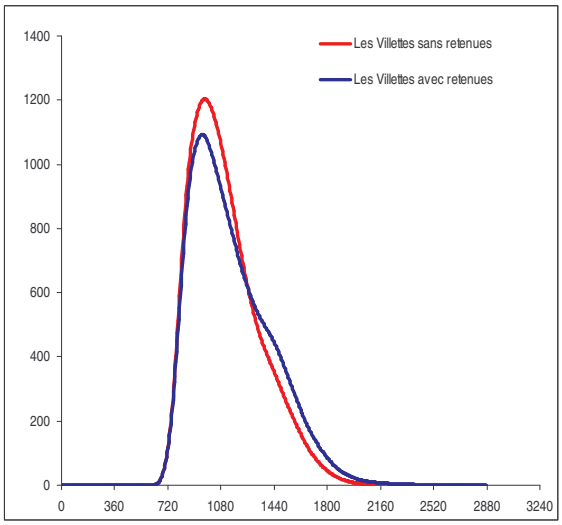
7.2.1 Efficacité collective des 60 retenues après optimisation

Les graphiques suivants présentent les évolutions des hydrogrammes sur l'axe Loire et en aval du Lignon avec les 60 retenues, le dimensionnement des pertuis permettant un remplissage optimum. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.









Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 24% à Coubon et 14% à Retournac. L'effet des retenues est encore sensible en aval de la confluence Loire amont / Lignon avec une réduction de 15 %.

		1	4	4-1
		Evénement centennal amont	Evénement centennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	60 retenues avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1723	1305	24%
N1200	Coubon	1663	1402	16%
N013	Brives	1730	1524	12%
N240	Beaulieu	1864	1606	14%
N250	Retournac	1856	1591	14%
N033	Aurec	2239	1896	15%

7.2.2 Efficacité individuelle globale des 60 retenues après optimisation

Le tableau suivant présente, pour l'événement centennal amont :

- les réductions de débit au droit des 3 nœuds de référence, l'efficacité individuelle globale de chaque retenue au droit du nœud de référence associé (% croissant),
- le débit entrant, le débit sortant et la cote maximale atteinte dans la retenue,
- le remplissage de la retenue définie comme la part de la lame d'eau sous le déversoir mobilisée pendant la crue (< 100 % si la cote du déversoir n'est pas atteinte et > 100 % s'il y a déversement).

Retenues	Bassin versant de référence	Réduction de la taille du pertuis	Coubon N1200 (Q=1663 m³/s)	Retournac N250 (Q=1856 m³/s)	Aurec N033 (Q=2239 m³/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m³/s	Q sortant m³/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
158	Aurec	0%	0,0	0,0	-50,8	-2,3%	915	783	814,6	non	91%
36	Retournac	-50%	0,0	-39,6	4,8	-2,1%	289	151	676,6	non	92%
201	Retournac	0 %	0,0	-38,9	-2,6	-2,1%	290	177	765,4	non	84%
42	Coubon	-50%	-29,3	-4,5	6,7	-1,8%	334	248	921,6	non	96%
45	Coubon	-58%	-32.8	-0,6	14,7	-2,0%	388	268	837,2	non	99%
46	Coubon	-66%	-41,6	-7,3	9,5	-2,5%	385	293	806,1	non	99%
34	Retournac	-66%	0,0	-13,0	4,6	-0,7%	134	65	816,7	non	93%
2150	Aurec	0%	0,0	0,0	-13,9	-0,6%	709	652	845,3	non	93%
97	Retournac	-80%	0,0	-8,3	2,0	-0,4%	78	17	650,0	non	54%
41	Coubon	-50%	-7,2	-1,5	1,2	-0,4%	100	75	965,4	non	83%
3008	Retournac	-66%	0,0	-3,6	0,3	-0,2%	32	10	881,0	non	66%
4000	Retournac	-50%	0,0	-3,3	-0,3	-0,2%	66	52	1084,8	non	80%
215	Retournac	-80%	0,0	-2,4	5,7	-0,1%	39	6	632,9	non	56%
234	Aurec	-80%	0,0	0,0	2,0	0,1%	26	3	845,5	non	39%
206	Retournac	-80%	0,0	2,1	24,5	0,1%	56	9	715,9	non	59%
203	Retournac	-80%	0,0	2,8	3,4	0,2%	60	8	770,4	non	29%
151	Aurec	-66%	0,0	0,0	3,8	0,2%	125	35	751,6	non	90%
217	Retournac	-80%	0,0	3,5	4,8	0,2%	37	8	791,9	non	51%
156	Aurec	-66%	0,0	0,0	4,8	0,2%	64	14	817,4	non	41%
24	Coubon	0%	3,6	3,5	2,2	0,2%	269	263	949,3	non	52%
144	Retournac	-80%	0,0	4,3	14,7	0,2%	130	31	764,3	non	71%
530	Aurec	-80%	0,0	0,0	5,2	0,2%	67	21	1036,6	non	83%
150	Aurec	-80%	0,0	0,0	5,7	0,3%	82	13	836,8	non	84%
140	Retournac	-80%	0,0	5,1	-1,9	0,3%	26	3	895,1	non	27%
238	Aurec	-80%	0,0	0,0	6,0	0,3%	45	9	749,1	non	48%

Retenues	Bassin versant de référence	Réduction de la taille du pertuis	Coubon N1200 (Q=1663 m3/s)	Retournac N250 (Q=1856 m3/s)	Aurec N033 (Q=2239 m3/)	% efficacité individuelle globale	Q entrant m3/s	Q sortant m3/s	cote max (NGF)	Déversant	remplissage
700	Coubon	-50%	4,8	3,3	1,5	0,3%	75	62	1106,1	non	80%
52	Retournac	-80%	-2,4	6,2	14,1	0,3%	104	26	766,2	non	88%
11	Coubon	0%	6,0	4,9	2,7	0,4%	352	348	1027,5	non	42%
157	Aurec	-80%	0,0	0,0	9,3	0,4%	31	5	867,3	non	39%
209	Aurec	-80%	0,0	0,0	9,3	0,4%	67	18	1106,9	non	63%
128	Retournac	-80%	0,0	7,8	7,9	0,4%	50	10	791,8	non	80%
105	Retournac	-80%	0,0	8,3	14,7	0,4%	100	17	576,5	non	89%
76	Retournac	-80%	0,0	8,5	-2,5	0,5%	32	4	905,3	non	38%
450	Aurec	-50%	0,0	0,0	10,8	0,5%	391	215	1016,0	non	89%
102	Retournac	-80%	0,0	9,2	0,3	0,5%	37	5	909,7	non	51%
108	Retournac	-80%	0,0	9,2	7,1	0,5%	99	16	565,6	non	85%
104	Retournac	-80%	0,0	10,2	0,4	0,6%	53	8	886,3	non	81%
131	Retournac	-80%	0,0	11,2	4,9	0,6%	45	6	898,6	non	45%
25	Coubon	-66%	10,1	7,4	3,4	0,6%	59	31	1197,6	non	95%
134	Retournac	-80%	0,0	11,3	7,9	0,6%	32	3	929,4	non	32%
5	Coubon	-80%	10,6	8,5	4,2	0,6%	27	6	1200,5	non	39%
233	Aurec	-80%	0,0	0,0	17,6	0,8%	75	12	515,2	non	84%
200	Coubon	-80%	13,2	11,0	5,7	0,8%	40	12	1132,7	non	67%
26	Coubon	-50%	13,5	9,7	4,5	0,8%	124	85	1095,7	non	86%
21	Coubon	-80%	13,8	10,5	4,9	0,8%	43	14	1195,0	non	79%
29	Coubon	-80%	16,3	14,3	7,9	1,0%	49	13	1053,2	non	69%
19	Coubon	-66%	17,1	12,5	5,7	1,0%	91	54	1173,4	non	98%
16	Coubon	-66%	21,1	25,3	17,6	1,3%	206	104	987,0	non	94%
28	Coubon	0%	24,2	21,9	12,4	1,5%	1276	1249	876,0	non	73%
6	Coubon	-80%	24,6	18,9	9,2	1,5%	77	29	1097,5	non	92%
64	Coubon	-80%	26,4	20,7	10,2	1,6%	105	38	1200,5	non	84%
12	Coubon	-80%	26,5	21,9	11,4	1,6%	62	12	1182,7	non	40%
63	Coubon	-50%	27,0	19,2	8,5	1,6%	370	293	1142,5	non	96%
3012	Coubon	0%	28,3	36,9	24,9	1,7%	1569	1532	821,4	non	85%
207	Aurec	-66%	0,0	0,0	47,7	2,1%	389	155	1037,8	non	96%
23	Coubon	-80%	35,8	27,0	13,0	2,2%	98	27	1148,1	non	70%
119	Coubon	-66%	38,4	30,9	15,6	2,3%	152	65	1036,8	non	93%
2	Coubon	-80%	42,0	33,2	16,7	2,5%	140	48	1161,5	non	85%
145	Retournac	-80%	0,0	67,0	65,8	3,6%	275	62	727,5	non	95%
3003	Coubon	0%	62,1	71,7	48,1	3,7%	1512	1462	702,9	non	88%

Le pourcentage moyen de remplissage des retenues est à 72 % (contre 41 % avant optimisation).

En première approximation, on peut estimer que le volume stocké représente les ¾ de la capacité maximale des retenues (correspondant aux PHEE figurés sur les fiches) soit environ 4 fois plus que pour le dimensionnement initial des pertuis). Un pourcentage plus important ne peut être atteint qu'en réduisant encore la taille des pertuis de quelques retenues offrant encore un volume de stockage après une réduction de 80 % de la section initiale du pertuis (comme pour la retenue R140 qui n'est rempli qu'au tiers de la cote maximale).

L'efficacité individuelle est améliorée de manière notable avec des valeurs :

- négatives ou négligeables pour 13 retenues (contre 39 pour le dimensionnement initial),
- < 1 % pour 32 retenues,
- comprise entre 1 et 3,7 % pour 15 retenues (contre 3 pour le dimensionnement initial).

8 SELECTION DES 40 SITES A ETUDIER DANS LE CADRE DE L'ETAPE B

8.1 DEFINITION DU GROUPE N°1

8.1.1 Critères de définition du groupe n°1

Dans le cadre de l'étape B, parmi les 60 sites modélisés, 40 sont à caractériser vis-à-vis :

- de leurs efficacités hydrauliques individuelle et collective,
- des contraintes techniques et financières,
- des contraintes environnementales.

La sélection des 40 sites est à réaliser en fonction du critère d'efficacité hydraulique globale du site. Or cette efficacité est fonction du dimensionnement des pertuis.

Si le dimensionnement est réalisé de manière à ne pas affecter un événement décennal, seul 21 sites apparaissent pertinents pour réduire les effets d'une crue centennale, les autres ayant une efficacité globale nulle ou négative (augmentation des débits de pointes).

Si le dimensionnement est réalisé en réduisant la taille des pertuis de manière à optimiser le remplissage des retenues, 40 sites présentent une efficacité globale comprise entre 0,2 à 3,7 %.

Le tableau suivant présente les efficacités individuelles des 60 retenues avec et sans optimisation de la taille des pertuis.

– dans le cas des pertuis dimensionnés pour l'événement décennal, les 21 retenues ayant une efficacité individuelle positive sont figurées en vert.

– dans le cas des pertuis optimisés :
  - les 20 plus efficaces sont figurées en vert
  - les 22 moins efficaces sont figurées en orange.

A l'exception de la retenue R24, les 21 meilleures retenues avec le dimensionnement initial font partie des 40 meilleures retenues après optimisation. Il est proposé de retenir les 40 meilleures retenues après optimisation à l'exception de la retenue R144 (40ème selon ce critère) remplacée par la retenue R24 (la retenue R24 étant par ailleurs classés en 41ème position après optimisation).

Ces 40 sites constituent le groupe n°1.

Site	Bassin versant de référence	Affluents	(1) Dimensionnement pour Q10 efficacité individuelle globale	(2° Dimensionnement pour remplissage optimum efficacité individuelle globale	Réduction de la section du pertuis optimisé	Site proposé pour le Groupe n°1
2	Coubon	La Padelle	0,6%	2,5%	80%	Oui
5	Coubon	R. du Prat sauvage	0,2%	0,6%	80%	Oui
6	Coubon	R. le Vernazon	0,1%	1,5%	80%	Oui
11	Coubon	R. le Vernazon	0,4%	0,4%	0%	Oui
12	Coubon	R. de langougnole	0,4%	1,6%	80%	Oui
16	Coubon	La Méjeanne	-0,2%	1,3%	66%	Oui
19	Coubon	Le gage	0,1%	1,0%	66%	Oui
21	Coubon	Le Gage	0,1%	0,8%	80%	Oui
23	Coubon	Le gage	0,3%	2,2%	80%	Oui
24	Coubon	Le gage	0,2%	0,2%	0%	Oui
25	Coubon	Le Veyradeyre	0,1%	0,6%	66%	Oui
26	Coubon	Le Veyradeyre	0,1%	0,8%	50%	Oui
28	Coubon	La Loire	1,5%	1,5%	0%	Oui
29	Coubon	Le Nadalès	0,0%	1,0%	80%	Oui
34	Retournac	La Gagne	-0,2%	-0,7%	66%	Non
36	Retournac	La Gagne	-0,9%	-2,1%	50%	Non
41	Coubon	La Gazeille	-0,1%	-0,4%	50%	Non
42	Coubon	La Gazeille	-0,4%	-1,8%	50%	Non
45	Coubon	La Gazeille	-1,4%	-2,0%	58%	Non
46	Coubon	La Gazeille	-1,0%	-2,5%	66%	Non
52	Retournac	R. de la Laussonne	-0,2%	0,3%	80%	Oui
63	Coubon	La Padelle	0,4%	1,6%	50%	Oui
64	Coubon	La Padelle	0,2%	1,6%	80%	Oui
76	Retournac	La Borne	0,1%	0,5%	80%	Oui
97	Retournac	R. de Chalon	0,0%	-0,4%	80%	Non
102	Retournac	L'Arzon	-0,2%	0,5%	80%	Oui
104	Retournac	L'Arzon	-0,6%	0,6%	80%	Oui
105	Retournac	L'Arzon	-0,7%	0,4%	80%	Oui
108	Retournac	L'Arzon	-1,0%	0,5%	80%	Oui
119	Coubon	R. de Langougnole	0,0%	2,3%	66%	Oui
128	Retournac	La Borne	-0,2%	0,4%	80%	Oui

Site	Bassin versant de référence	Affluents	(1) Dimensionnement pour Q10 efficacité individuelle globale	(2° Dimensionnement pour remplissage optimum efficacité individuelle globale	Réduction de la section du pertuis optimisé	Site proposé pour le Groupe n°1
131	Retournac	La Borne	0,0%	0,6%	80%	Oui
134	Retournac	La Borne	0,3%	0,6%	80%	Oui
140	Retournac	La Borne	0,0%	0,3%	80%	Oui
144	Retournac	La Borne	-0,3%	0,2%	80%	Non
145	Retournac	La Borne	-1,3%	3,6%	80%	oui
150	Aurec sur Loire	L'Ance	0,0%	0,3%	80%	oui
151	Aurec sur Loire	L'Ance	0,0%	0,2%	66%	non
156	Aurec sur Loire	Le Lignon	0,0%	0,2%	66%	non
157	Aurec sur Loire	Le Lignon	0,0%	0,4%	80%	oui
158	Aurec sur Loire	Le Lignon	-2,3%	-2,3%	0%	non
200	Coubon	R. de l'Orcival	0,0%	0,8%	80%	oui
201	Retournac	La Gagne	-2,1%	-2,1%	0 %	non
203	Retournac	La Sumène	-0,3%	0,2%	80%	non
206	Retournac	La Sumène	-0,1%	0,1%	80%	non
207	Aurec sur Loire	Le Lignon	-0,1%	2,1%	66%	oui
209	Aurec sur Loire	Le Lignon	0,0%	0,4%	80%	oui
215	Retournac	R. de Suissesses	0,0%	-0,1%	80%	non
217	Retournac	La Borne	-0,1%	0,2%	80%	non
233	Aurec sur Loire	L'Ance	0,1%	0,8%	80%	oui
234	Aurec sur Loire	L'Ance	0,0%	0,1%	80%	non
238	Aurec sur Loire	Le Lignon	0,1%	0,3%	80%	oui
450	Aurec sur Loire	Le Lignon	-0,1%	0,5%	50%	oui
530	Aurec sur Loire	Le Lignon	0,0%	0,2%	80%	oui
700	Coubon	R. le Vernazon	0,1%	0,3%	50%	oui
2150	Aurec sur Loire	Le Lignon	-0,6%	-0,6%	0%	non
3003	Coubon	La Loire	3,7%	3,7%	0%	oui
3008	Retournac	La Borne	0,0%	-0,2%	66%	non
3012	Coubon	La Loire	1,7%	1,7%	0%	oui
4000	Retournac	La Gagne	0,0%	-0,2%	50%	non

La carte n°18 présente les 40 retenues du groupe n°1.

Il faut cependant remarquer que la contrainte consistant à devoir retenir 40 sites conduit à retenir des sites dont l'efficacité est vraisemblablement trop faible pour justifier de leur intérêt. On rappelle en effet que, pour l'événement centennal amont :

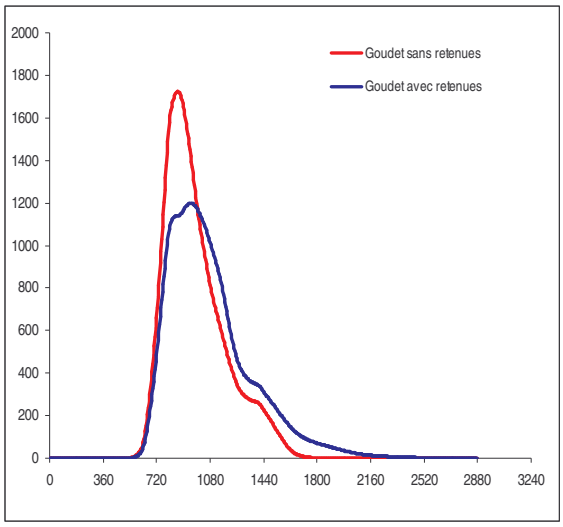
– avec un dimensionnement permettant de ne pas affecter la crue décennale, seule 3 retenues ont une efficacité individuelle globale supérieure à 1 % ;

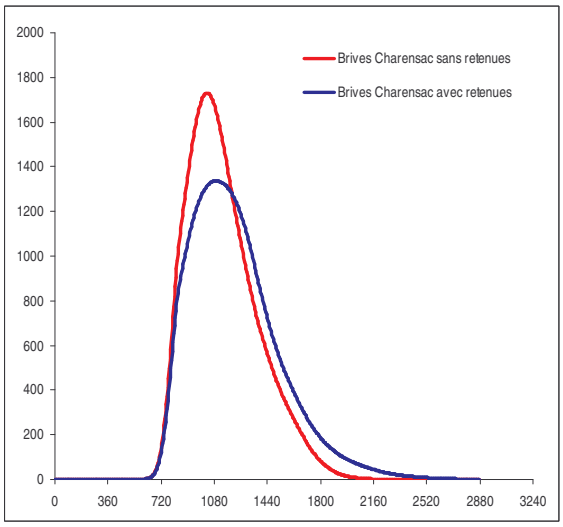
– avec un dimensionnement permettant de favoriser le remplissage et affectant la crue décennale, seule 15 retenues ont une efficacité individuelle globale supérieure à 1 %.

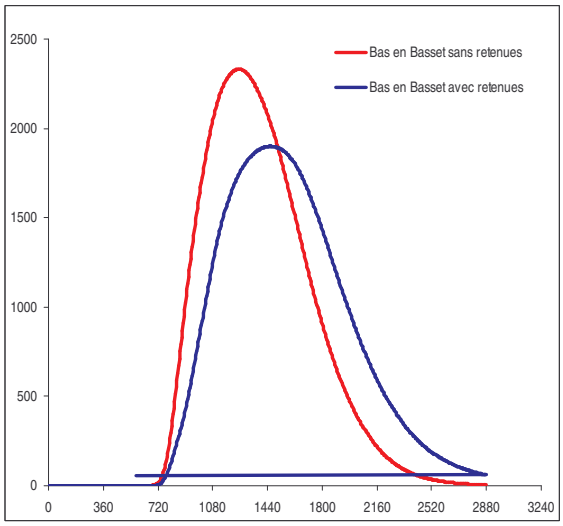
8.1.2 Influence des 40 sites du groupe n°1

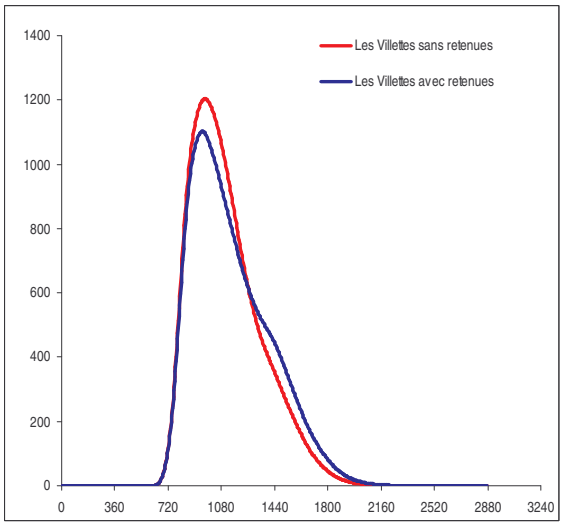
8.1.2.1 Evénement centennal amont

Les graphiques suivants présentent l'effet des 40 sites du groupe n°1 après optimisation de la taille des pertuis (meilleures efficacités individuelles) pour l'événement centennal amont. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.







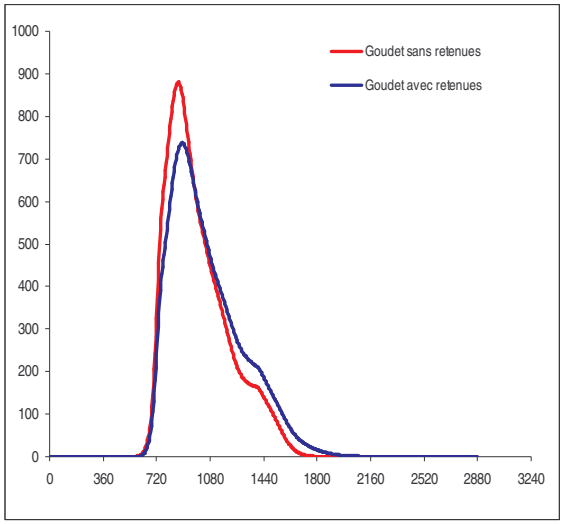


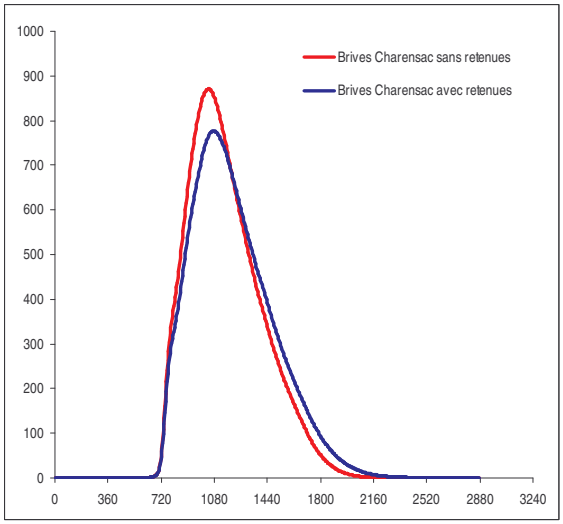
Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 24% à Coubon et 20% à Retournac. L'effet des retenues est encore sensible en aval de la confluence Loire amont / Lignon avec une réduction de 16 %. Ces résultats sont meilleurs que ceux obtenus avec les 60 sites.

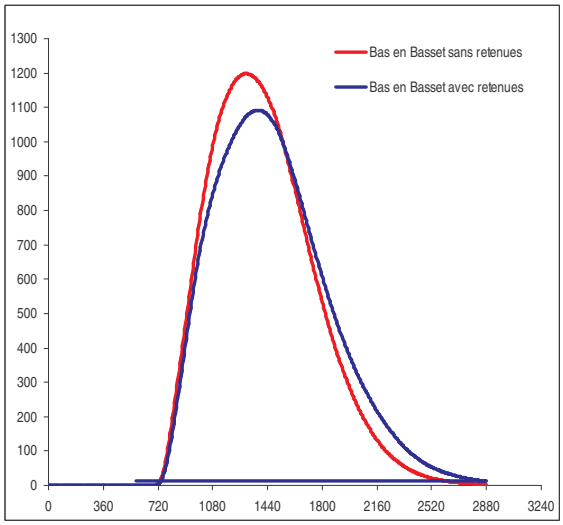
		1	5	5-1
		Evénement centennal amont	Evénement centennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1723	1304	24%
N1200	Coubon	1663	1339	19%
N013	Brives	1730	1402	19%
N240	Beaulieu	1864	1490	20%
N250	Retournac	1856	1488	20%
N033	Aurec	2239	1874	16%

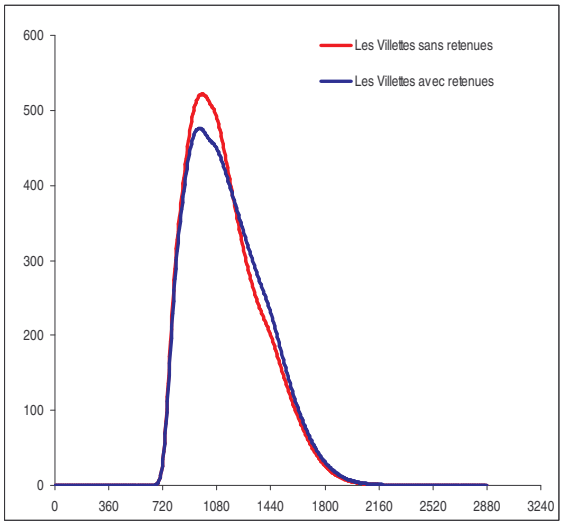
8.1.2.2 Evénement décennal

La réduction de la taille des pertuis conduit à un stockage plus précoce que le dimensionnement initial. Les graphiques suivants présentent l'effet des 40 sites du groupe n°1 après optimisation de la taille des pertuis (meilleures efficacités individuelles) pour l'événement décennal. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.







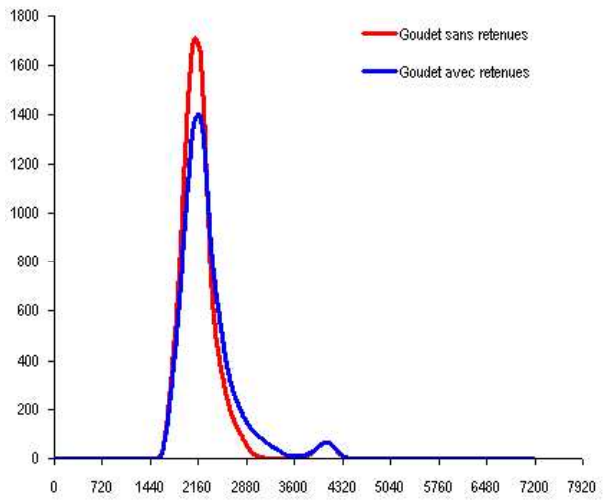


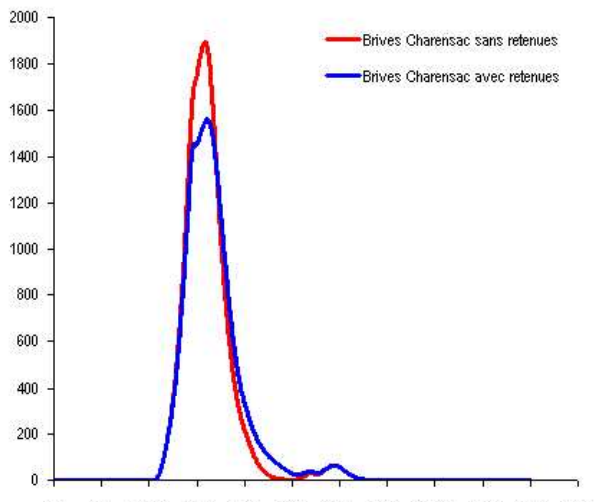
Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 17% à Coubon et 7% à Aurec pour l'évènement décennal

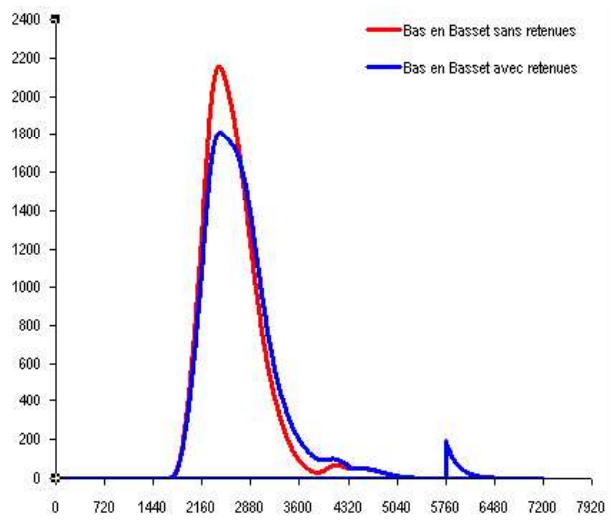
		6	7	7-2
		Evénement décennal amont	Evénement décennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	875	722	17%
N1200	Coubon	830	736	11%
N013	Brives	870	772	11%
N240	Beaulieu	968	868	10%
N250	Retournac	970	868	11%
N033	Aurec	1164	1084	7%

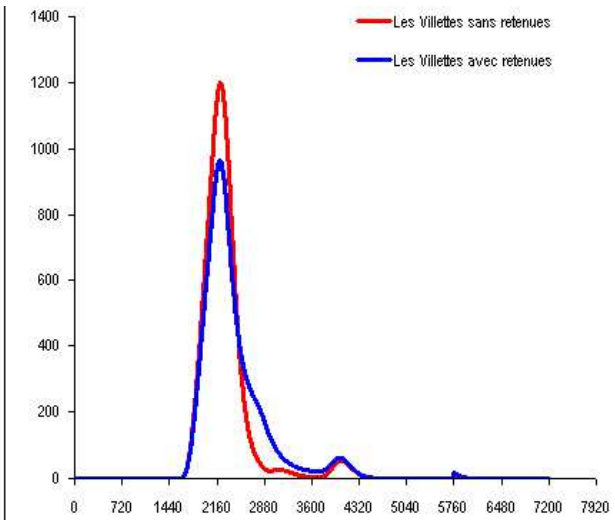
8.1.2.3 Evénement 1980

Les graphiques suivants présentent l'effet des 40 sites du groupe n°1 après optimisation de la taille des pertuis (meilleures efficacités individuelles) pour l'événement 1980. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.







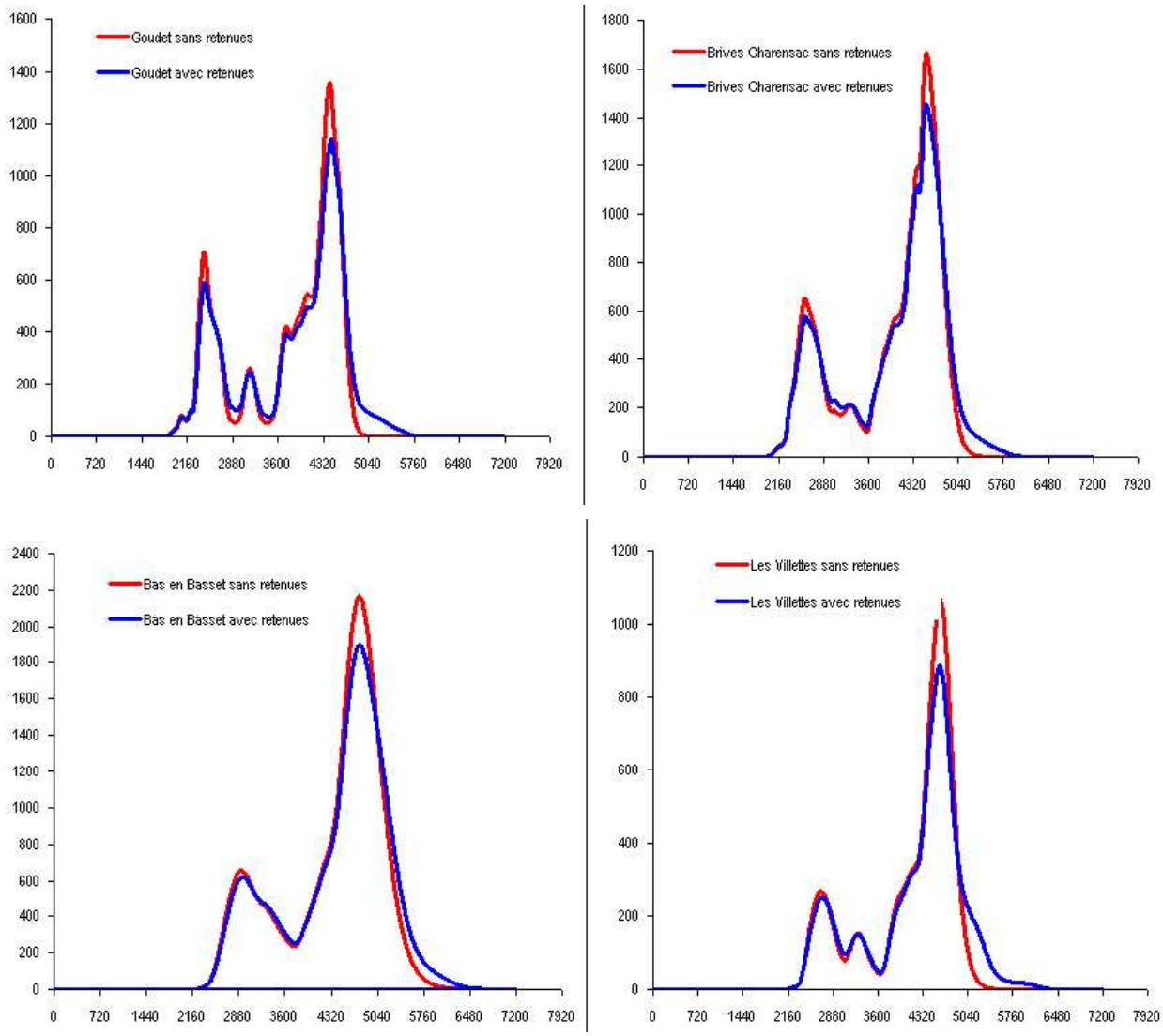


Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 18% à Goudet et 14% à Aurec. L'effet des retenues est encore sensible en aval de la confluence Loire amont / Lignon avec une réduction de 14 %. Ces résultats sont meilleurs que ceux obtenus avec les 60 sites.

		1	5	5-1
		Evénement 1980	Evénement 1980	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1709	1401	18%
N1200	Coubon	1867	1545	17%
N013	Brives	1893	1565	17%
N240	Beaulieu	1857	1544	17%
N250	Retournac	1828	1529	16%
N033	Aurec	2034	1743	14%

8.1.2.4 Evénement 1996

Les graphiques suivants présentent l'effet des 40 sites du groupe n°1 après optimisation de la taille des pertuis (meilleures efficacités individuelles) pour l'événement centennal amont. Le temps, en abscisse, est exprimé en minutes tandis qu'en ordonnée, les débits sont exprimés en m³/s.



Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 18% à Goudet et 14% à Aurec. L'effet des retenues est encore sensible en aval de la confluence Loire amont / Lignon avec une réduction de 12 %. Ces résultats sont meilleurs que ceux obtenus avec les 60 sites.

		1	5	5-1
		Evénement 1996	Evénement 1996	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1356	1139	16%
N1200	Coubon	1442	1245	14%
N013	Brives	1664	1456	13%
N240	Beaulieu	1619	1431	12%
N250	Retournac	1580	1406	11%
N033	Aurec	2037	1797	12%

8.1.3 Influence des 20 meilleurs sites du groupe n°1 après optimisation

8.1.3.1 Choix des 20 meilleurs sites du groupe n°1

Compte tenu des faibles efficacités globales des retenues classées entre la 20eme et 40eme position après optimisation du pertuis (réduction de 0,2 à 0,6 % des débits au droit des nœuds de référence), des simulations ont été réalisées pour les crues centennales amont, de 1980 et 1996 en ne conservant que les 20 meilleures retenues du groupe n°1.

Les 20 retenues considérées sont figurés dans le tableau suivant.

Retenue n°	Nœud de référence	Implantation
2	Coubon	La Padelle
5	Coubon	R. du Prat sauvage
6	Coubon	R. le Vernazon
12	Coubon	R. de langougnole
16	Coubon	La Méjeanne
19	Coubon	Le gage
21	Coubon	Le Gage
23	Coubon	Le gage
26	Coubon	Le Veyradeyre
28	Coubon	La Loire
29	Coubon	Le Nadalès
63	Coubon	La Padelle
64	Coubon	La Padelle
119	Coubon	R. de Langougnole
145	Retournac	La Borne
200	Coubon	R. de l'Orcival
207	Aurec sur Loire	Le Lignon
233	Aurec sur Loire	L'Ance
3003	Coubon	La Loire
3012	Coubon	La Loire

8.1.3.2 Evénement centennal amont – 20 meilleurs sites du groupe n°1

Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 27% à Coubon et 19% à Retournac et est estimée à 11 % à Aurec.

En amont de la confluence avec le Lignon, ces résultats sont plus favorables que ceux obtenus avec les groupes de 40 et 60 retenues.

		1	5	5-1	6	6-1
		Evénement centennal amont	Evénement centennal amont		Evénement centennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis		20 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1723	1304	24%	1250	27%
N1200	Coubon	1663	1339	19%	1295	22%
N013	Brives	1730	1402	19%	1356	22%
N240	Beaulieu	1864	1490	20%	1488	20%
N250	Retournac	1856	1488	20%	1500	19%
N033	Aurec	2239	1874	16%	2002	11%

8.1.3.3 Evénement 1980 – 20 meilleurs sites du groupe n°1

Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 18% à Goudet et 9% à Aurec .

Ces résultats sont sensiblement moins favorables que ceux obtenus avec les groupes de 40 et 60 retenues. Le classement des retenues a été fait en prenant en compte un évènement de référence de type centennal généralisé. La crue de 1980 est un événement réel avec ses propres singularités pluviométriques. De ce fait, les 20 retenues choisies pour la simulation sont les 20 meilleurs pour l'événement de référence mais pas pour la crue de 1980.

		1	5	5-1	6	6-1
		Evénement 1980	Evénement 1980		Evénement 1980	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis		20 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1709	1401	18%	1409	18%
N1200	Coubon	1867	1545	17%	1565	16%
N013	Brives	1893	1565	17%	1581	16%
N240	Beaulieu	1857	1544	17%	1557	16%
N250	Retournac	1828	1529	16%	1541	16%
N033	Aurec	2034	1743	14%	1843	9%

8.1.4 Evénement 1996 – 20 meilleurs sites du groupe n°1

Le tableau suivant présente l'évolution des débits de pointe sur l'axe Loire. La réduction de débit varie entre 15% à Goudet et 8% à Aurec .

Ces résultats sont sensiblement moins favorables que ceux obtenus avec les groupes de 40 et 60 retenues. Le classement des retenues a été fait en prenant en compte un événement de référence de type centennale généralisé. La crue de 1996 est un événement réel avec ses propres singularités pluviométriques. De ce fait, les 20 retenues choisies pour la simulation sont les 20 meilleurs pour l'évènement de référence mais pas pour la crue de 1996.

		1	5	5-1	6	6-1
		Evénement 1996	Evénement 1996		Evénement 1996	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	40 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis		20 retenues sélectionnées avec optimisation de la taille des pertuis	
N010	Goudet	1356	1139	16%	1149	15%
N1200	Coubon	1442	1245	14%	1249	13%
N013	Brives	1664	1456	13%	1463	12%
N240	Beaulieu	1619	1431	12%	1436	11%
N250	Retournac	1580	1406	11%	1411	11%
N033	Aurec	2037	1797	12%	1867	8%

8.2 GROUPE N°2 : SELECTION CIBLEE SUR LES AFFLUENTS LES PLUS PRODUCTIFS

8.2.1 Critères de définition du groupe n°2

L'Assistant Technique au Maître d'Ouvrage a souhaité faire évoluer la précédente sélection afin :

– de mieux contrôler les affluents les plus productifs,

– d'exclure des sites redondants implantés sur un même affluent.

Les sites retenus à l'issue de cette analyse constitueront le groupe n°2.

Il est précisé que cette analyse a été menée :

– avec les pertuis dimensionnés de manière à optimiser le remplissage des retenues ;

– pour l'événement centennal amont.

8.2.1.1 Sous-bassin de la Borne

Le groupe n°1 comprend 6 sites implantés sur le bassin de la Borne : R128, R131, R134, R140, R144 et R145.

Le site R145 est implanté en aval de tous les sites (cf. carte n°21). Il est le plus important par le volume disponible (plus de 2 millions de m³).

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET **pour l'événement centennal amont** :

Scénario	Débit en entrée du bassin R145	Débit en sortie du bassin R145
Aucun site (état initial)	275 m³/s	275 m³/s
Site R145 seul	275 m³/s	62 m³/s
Sites R128, R131, R134, R140, R144 et R145	115 m³/s	55 m³/s

Le site R145 seul permet d'atteindre un laminage de la Borne proche de celui obtenu par l'ensemble des sites.

Au vu de ces résultats, seul le site R145 est intégré dans le groupe n°2.

Les sites R128, R131, R134, R140 et R144 sont déclassés (inclus dans le groupe n°1 mais exclus du groupe n°2).

8.2.1.2 Sous-bassin de l'Arzon

Le groupe n°1 comprend 4 sites implantés sur le bassin de l'Arzon : R102, R104, R108, R105.

Les sites R105 et R108 sont proches et implantés en aval de tous les sites (cf. carte n°21). Le site R108 est le plus en aval.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET pour l'événement centennal amont :

Scénario	Débit en entrée du bassin R108	Débit en sortie du bassin R108
Aucun site (état initial)	99 m³/s	99 m³/s
Site R105 seul	99 m³/s	17 m³/s
Site R108 seul	100 m³/s	17 m³/s
Sites R102, R104, R108, R105	15 m³/s	13 m³/s

Le site R105 seul ou le site R108 seul permettent d'atteindre un laminage de la Borne proche de celui obtenu par l'ensemble des sites.

Au vu de ces résultats, l'un des deux sites doit être intégré dans le groupe n°2. Le site R105 est privilégié car la plus faible raideur des versants permet un rétablissement plus aisé de la RD21 qui court en fond de vallée et qui devra être reconstruite plus en hauteur sur le versant.

Les sites R102, R104, R108 sont déclassés (inclus dans le groupe n°1 mais exclus du groupe n°2).

8.2.1.3 Sous-bassin de l'Ance

Parmi les 60 sites, 3 ont été proposés sur le sous-bassin de l'Ance : R150 (inclus dans le groupe n°1), R234 et R151 (non inclus dans le groupe n°1). L'intérêt comparé de ces sites peut être examiné au droit du nœud N030, situé en aval immédiat de ces 3 retenues (cf. carte n°10)

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET pour l'événement centennal amont :

Scénario	Débit en N030 sortant
Aucun site (état initial)	130 m³/s
R150-	105 m³/s
R150 et R234	91 m³/s
R150 et R151-	44 m³/s
R151	44 m³/s
R150, R151 et R234	34 m³/s

Le site R151 seul permet d'atteindre un laminage de l'Ance proche de celui obtenu par l'ensemble des sites.

Au vu de ces résultats, seul le site R151 est intégré dans le groupe n°2.

Le site R150, inclus dans le groupe n°1, est déclassé (inclus dans le groupe n°1 mais exclu du groupe n°2).

8.2.1.4 Sous-bassin du Lignon

Parmi les 60 sites, 6 ont été proposés sur le sous-bassin de l'Ance et 4 ont été retenus dans le groupe n°1 (cf. carte n°21). 5 des 6 sites proposés sont situés en amont du site R158. L'intérêt comparé de ces 5 sites peut être examiné au droit de la retenue R158.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET **pour l'événement centennal amont** :

Retenues simulées	Débit en sortie du bassin R158	Commentaires
Aucun site (état initial)	910 m³/s	
209-530-207	751 m³/s	déjà dans le groupe n°1
209-530-450-	760 m³/s	
209-530-450-207-2150-158	660 m³/s	
209-530-450-207-2150-	751 m³/s	
209-530-450-207	751 m³/s	
209-530-207- -2150-158	700 m³/s	
209-530-450-207- -158	675 m³/s	
209-530-207- -2150	750 m³/s	
209-530-207- - -158	680 m³/s	R158 requalifée

En complément des sites déjà retenus dans le groupe n°1 (R209, R530 et R207), seule la réalisation du site R158 apparaît pertinente. Les sites R209, R530 et R207 sont intégrés dans le groupe n°2. Le site R158 est requalifié (exclu du groupe n°1 mais inclus dans le groupe n°2).

8.2.1.5 Sous-bassin du Gage

Le groupe n°1 comprend 4 sites implantés sur le bassin de le Gage : R19, R21, R23, R24.

Le site R24 est le plus en aval. Le site R19 est situé sur un affluent dont il lamine les crues de manière efficace. L'analyse comparative porte donc sur les sites R21, R23, R24.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET pour l'événement centennal amont :

Scénario	Débit en sortie du bassin R24
Aucun site (état initial)	265 m³/s
19-21-23-24	188 m³/s
19-23-24	190 m³/s
19- - -24	229 m³/s
19- -23-	200 m³/s
19-21-	240 m³/s
19-21- -24	210 m³/s
19-21-23	200 m³/s

En complément du site R19, le site R23 est le plus efficace. Vient ensuite le site R21. Le site R24 est le moins pertinent. Les site R19, R21 et R23 sont intégrés dans le groupe n°2. Le site R24 est déclassé (inclus dans le groupe n°1 mais exclu du groupe n°2).

8.2.1.6 Sous-bassin de la Veyradère

Le groupe n°1 comprend 2 sites implantés sur le bassin de la Veyradère : R25, R26.

Le site R26 est le plus en aval.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET pour l'événement centennal amont :

Scénario	Débit en sortie du bassin R26
Aucun site (état initial)	124 m³/s
25	98 m³/s
26	85 m³/s
25 – 26	77 m³/s

Le site R26 est le plus efficace et il est intégré au groupe n°2. Le complément apporté par le site R25 est limité et ce site est déclassé (inclus dans le groupe n°1 mais exclu du groupe n°2).

8.2.1.7 Sous-bassin de la Gazeille

Aucun des 4 sites recensés sur la Gazeille n'a été retenu dans le groupe n°1 (R41, R42, R45 et R46). Dans le cadre de la définition du groupe n°2, une analyse comparative des 4 sites initialement proposés a été menée.

Le site R46 est le plus en aval.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET pour l'événement centennal amont :

Scénario	Débit en sortie du bassin R46
Aucun site (état initial)	380 m³/s
41-45-42-46	270 m³/s
42	302 m³/s
45	268 m³/s
46	293 m³/s
45-42	242 m³/s
46-41	275 m³/s
46-45	245 m³/s
46-42	255 m³/s
45-41	260 m³/s
42-41	300 m³/s

Le site R45 est le plus efficace. Un gain supplémentaire est possible en lui associant le site R42 ou le site R46.

La combinaison R45-R46 est également intéressante. Ces 3 sites sont intégrés au groupe n°2 afin de conserver une latitude dans le choix de la meilleure combinaison de deux sites, cette dernière devant intégrer d'autres critères à définir dans le cadre de l'étape B (environnement, foncier, géologie…).

8.2.1.8 Sous-bassin de la Gagne rive droite

Aucun des 4 sites recensés sur la Gagne rive droite n'a été retenu dans le groupe n°1 (R36, R201, R34 et R400). Dans le cadre de la définition du groupe n°2, une analyse comparative des 4 sites initialement proposés a été menée.

Le site R36 est le plus en aval.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET pour l'événement centennal amont :

Scénario	Débit en sortie du bassin R36
Aucun site (état initial)	285 m³/s
36 – 34 – 4000 - 201	132 m³/s
36	151 m³/s
-201-34	165 m³/s
36-201	141 m³/s
36- -34	140 m³/s
-201- -4000	182 m³/s
- -34-4000	226 m³/s

Le site R36 est le plus efficace. Un gain supplémentaire est possible en lui associant le site R201 ou le site R34. La combinaison R34-R201 est également intéressante. Le site R4000 présente une efficacité individuelle locale faible et n'est pas retenu.

Les sites R34, R36 et R201 sont intégrés au groupe n°2 afin de conserver une latitude dans le choix de la meilleure combinaison de deux sites, cette dernière devant intégrer d'autres critères à définir dans le cadre de l'étape B (environnement, foncier, géologie…).

8.2.1.9 Sous-bassin de la Sumène

Aucun des 2 sites recensés sur la Sumène n'a été retenu dans le groupe n°1 (R203, R206). Dans le cadre de la définition du groupe n°2, une analyse comparative des 2 sites initialement proposés a été menée.

Le site R206 est le plus en aval.

Le tableau suivant présente le résultat de l'analyse comparative menée à l'aide du modèle ECRET **pour l'événement centennal amont** :

Scénario	Débit en sortie du bassin R206
Aucun site (état initial)	56 m³/s
206	9 m³/s
203	10 m³/s
203 – 206	7 m³/s

Les sites R203 et R206 sont efficaces mais ils s'excluent mutuellement. Les deux sites sont cependant intégrés au groupe n°2 afin de conserver une latitude dans le choix du meilleur site, cette dernière devant intégrer d'autres critères à définir dans le cadre de l'étape B (environnement, foncier, géologie…).

8.2.1.10 Sous-bassin de la Suissesse

Le site R215 ,recensé sur la Suissesse, n'a pas été intégré au groupe n°1. Il présente une efficacité locale notable avec, pour l'événement centennal amont, un débit initial de 39 m3/s au droit du site réduit à 6 m3/s avec la retenue. Ce site est intégré au groupe n°2.

8.2.1.11 Sous-bassin du ruisseau de Chalon

Le site R97 ,recensé sur le ruisseau de Chalon, n'a pas été intégré au groupe n°1. Il présente une efficacité locale notable avec, pour l'événement centennal amont, un débit initial de 78 m3/s au droit du site réduit à 17 m3/s avec la retenue. Ce site est intégré au groupe n°2.

8.2.2 Liste des retenues du groupe n°2

Les 40 sites composant le groupe n°2 sont figurés sur la carte n°21. Cette carte précise :

- les sites inclus dans les groupes n°1 et n°2 (carrés verts),
- les sites déclassés, inclus dans groupe n°1 mais exclus du groupe n°2 (carrés rouges),
- les sites requalifiés, exclus du groupe n°1 mais inclus dans le groupe n°2 (ronds violets).

La liste des 40 sites du groupe n°2 fait l'objet du tableau suivant :

40 SITES du groupe n°2	Affluents	Bassin versant de référence
2	La Padelle	Coubon
5	R. du Prat sauvage	Coubon
6	R. le Vernazon	Coubon
11	R. le Vernazon	Coubon
12	R. de langougnole	Coubon
16	La Méjeanne	Coubon
19	Le gage	Coubon
21	Le Gage	Coubon
23	Le gage	Coubon
26	Le Veyradeyre	Coubon
28	La Loire	Coubon
29	Le Nadalès	Coubon
34	La Gagne	Retournac
36	La Gagne	Retournac
42	La Gazeille	Coubon
45	La Gazeille	Coubon
46	La Gazeille	Coubon
52	R. de la Laussonne	Retournac
63	La Padelle	Coubon
64	La Padelle	Coubon
97	R. de Chalon	Retournac
105	L'Arzon	Retournac
119	R. de Langougnole	Coubon
145	La Borne	Retournac
151	L'Ance	Aurec sur Loire
157	Le Lignon	Aurec sur Loire
158	Le Lignon	Aurec sur Loire
200	R. de l'Orcival	Coubon
201	La Gagne	Retournac
203	La Sumène	Retournac
206	La Sumène	Retournac
207	Le Lignon	Aurec sur Loire
209	Le Lignon	Aurec sur Loire
215	R. de Suissesses	Retournac
233	L'Ance	Aurec sur Loire
238	Le Lignon	Aurec sur Loire
530	Le Lignon	Aurec sur Loire
700	R. le Vernazon	Coubon
3003	La Loire	Coubon
3012	La Loire	Coubon

8.2.3 Efficacité du groupe n°2

Dans un premier temps, l'efficacité du groupe n°2 a été estimée au droit des affluents de la Loire.

Le tableau suivant présente l'évolution des débits sur les affluents. Pour situer les points de référence, on se reportera à la carte du modèle (carte n°10).

Rivière	Point de référence	Débit initial au point de référence (m3/s)	Débit avec le groupe n°2 au point de référence (m3/s)	Réduction de débit en %
La Sumène	R206	55	7	87%
Ruisseau des Suissesses	R215	39	6	85%
La Dunières	R157	31	5	84%
L'Ance	R233	75	13	83%
L'Arzon	R108	98	17	83%
Ruisseau de Chalon	R97	78	17	78%
La Borne	R145	275	61	78%
Ruisseau de la Laussonne	R52	105	26	75%
Le gage	R23	97	26	73%
La Padelle	R2	140	40	71%
Ruisseau de l'Orcival	R200	40	12	70%
Ruisseau de Langougnole	R119	152	58	62%
La Gagne	R36	290	132	54%
La Méjeanne	R16	205	105	49%
Le gage	R19	91	54	41%
La Padelle	R63	370	245	34%
Le Veyradeyre	R26	125	85	32%
Ruisseau le Vernazon	R11	350	260	26%
Le Lignon	R158	910	700	23%
La Gazeille	R4466	385	245	36%

Les réductions de débit au droit des affluents sont importantes, notamment sur les affluents les plus productifs.

Le tableau suivant présente la réduction de débit sur l'axe Loire. Les résultats sont comparés à ceux du groupe n°1.

		1	5	5-1	6	6-1
		Evénement centennal amont	Evénement centennal amont		Evénement centennal amont	
Nœud de calcul	Localisation	Etat initial	Groupe n°1 40 sites		Groupe n°2 40 sites	
N010	Goudet	1723	1304	24%	1295	25%
N1200	Coubon	1663	1339	19%	1420	15%
N013	Brives	1730	1402	19%	1535	11%
N240	Beaulieu	1864	1490	20%	1625	13%
N250	Retournac	1856	1488	20%	1620	13%
N033	Aurec	2239	1874	16%	1920	14%

Les réductions de débits sur l'axe Loire des deux groupes sont sensiblement comparables en amont de Goudet. Par rapport au groupe n°1, le groupe n°2 conduit à une réduction moindre des débits sur l'axe Loire en aval de Goudet.

Cependant, si l'efficacité du groupe n°1 semble liée au déphasage des différents affluents (et donc liée à l'hypothèse de distribution spatiale de la pluie), celle du groupe n°2 est davantage liée à une réduction importante des débits de pointe des affluents amont. De ce fait, le groupe n°2 est préféré au groupe n°1 pour la suite des études (étape B).

Il est précisé que le groupe n°2 (comme le groupe n°1) comprend des sites redondants et qu'on donc espérer une efficacité comparable avec un nombre de site réduit. A ce titre, des simulations complémentaires pourront être réalisées après la caractérisation des sites (étape B) afin d'identifier le sous-groupe le plus pertinent.

9 CONCLUSIONS GENERALES

Un modèle hydraulique et hydrologique a été développé afin d'étudier l'efficacité des retenues sélectionnées dans le cadre de l'étape A1 pour des événements de référence. Le modèle a été calé sur les crues de septembre 1980 et validé sur la crue de novembre 1996.

Dans le cadre de la modélisation de la crue de 1980, le calage est jugé satisfaisant sur la Loire amont et en amont du barrage de Lavallette. Il a cependant été difficile de reproduire l'hydrogramme enregistré à Bas en Basset. Plusieurs raisons peuvent être à l'origine de ce problème :

– des données pluviométriques insuffisantes sur le plan spatial et en terme de pas de temps,

– l'absence d'élément sur le fonctionnement du barrage de Lavallette, retenue de 350 ha implantée sur le Lignon ; ce dernier a semble t'il notablement laminé et retardé la crue du principal affluent de la Loire amont.

En revanche, le calage s'est avéré pertinent sur tout le bassin pour la crue de 1996 pour laquelle :

– des données pluviométriques plus denses au pas de temps horaires ont pu être exploitées ;

– le barrage de Lavallette a eu une moindre importance que pour la crue de 1980 du fait :

  - d'une crue moins importante,
  - du renforcement de la capacité des évacuateurs de crue du barrage qui a été réalisé entre les deux crues.

L'efficacité hydraulique des retenues a été appréciée à l'aide du modèle pour différentes crues de référence, la plus représentative étant l'événement centennal amont qui se rapproche des événements observés en 1980 et 1996, sans toutefois tenter de les reproduire.

Pour cette crue, dans le cas où les pertuis des ouvrages de rétention sont dimensionnés de manière à ne pas affecter les petites crues (< 10 ans) sur l'axe Loire, seules 21 retenues sur 60 ont une efficacité significative sur les débits de l'axe Loire ; ils conduisent collectivement à une réduction de 12 % à 5 % sur l'axe Loire.

Dans le cas où les pertuis des ouvrages de rétention sont dimensionnés de manière à optimiser le remplissage des retenues, deux groupes de 40 retenues ont été proposés.

Le groupe n°1 a pour objectif de maximiser les réductions de débit sur l'axe Loire.

Le groupe n°2 a pour objectif de maximiser les réductions de débit aux exutoires des affluents les plus productifs de la Loire.

Les groupes de 40 sites conduisent collectivement à une réduction de :

– 24 % à 16 % sur l'axe Loire pour le groupe n°1,

– 26 % à 10 % sur l'axe Loire pour le groupe n°2.

Les effets les plus importants sont sensibles en amont de Coubon.

En contre partie, l'effet des ouvrages est également sensible pour la crue décennale (jusqu'à 17 %de réduction de débit sur la Loire Amont) ;

Si l'efficacité du groupe n°1 semble liée au déphasage des différents affluents (et donc liée à l'hypothèse de distribution spatiale de la pluie), celle du groupe n°2 est davantage liée à une réduction importante des débits de pointe des affluents amont. De ce fait, le groupe n°2 est préféré au groupe n°1 pour la suite des études

La prochaine étape (étape B) vise à caractériser les 40 sites du groupe n°2 vis-à-vis :

- des contraintes techniques et financières,
- des contraintes environnementales.

Lors de cette étape, tous les sites doivent faire l'objet d'une visite par deux spécialistes (le premier en matière de barrages et le second en matière d'environnement).

Il est précisé que des sous-groupes de retenues peuvent s'avérer aussi efficaces que le groupe de 40 sites du fait du caractère redondants de certains sites. Ce point sera également approfondi dans le cadre de l'étape B.