



Etude pour l'optimisation de l'ouvrage de la Bassée

Phase 2.2 : Reconstitution et validation de 20 crues historiques

Rapport



Tour Gamma D
58, quai de la Rapée
75583 PARIS CEDEX 12

Tél : 01.40.04.62.42
Fax : 01.43.42.24.39
Hydra@hydra.setec.fr

Réf : 016-26239 LME/TL
Date : Aout 2010
Version V8

1	INTRODUCTION	3
2	RAPPEL DES CRUES HISTORIQUES RETENUES POUR L'ETUDE.....	4
3	DONNEES DE BASE ET HYPOTHESES DE CALCUL.....	6
3.1	PERIMETRE DE L'ETUDE ET DECOUPAGE EN SOUS SYSTEMES.....	6
3.2	DONNEES PLUVIOMETRIQUES	8
3.3	DONNEES HYDROMETRIQUES.....	9
3.3.1	<i>Cas des crues déjà analysées.....</i>	9
3.3.2	<i>Cas des crues nouvelles.....</i>	9
3.4	MODELES DE PRODUCTION PLUIE-DEBIT.....	14
3.4.1	<i>Hydra-BV.....</i>	14
3.4.2	<i>Schéma conceptuel du modèle à réservoir linéaire - RSVL-BV.....</i>	16
3.4.3	<i>Schéma conceptuel du modèle - RAT-BV.....</i>	18
3.4.4	<i>Conditions initiales des sols en début de crue.....</i>	18
4	CONSTITUTION DES APPORTS DU BASSIN DE L'YONNE.....	18
4.1	INTRODUCTION.....	18
4.2	ETUDE DE CINQ CRUES RECENTES : D93, J95, N99, D99, M01	19
4.2.1	<i>Données disponibles.....</i>	19
4.2.2	<i>Décomposition du bassin de l'Yonne amont en sous-bassins versants</i>	22
4.2.3	<i>Traitement des données.....</i>	23
4.2.4	<i>Caractéristiques hydrologiques du bassin amont de l'Yonne.....</i>	26
4.3	CONSTRUCTION ET CALAGE DES MODELES PLUIE-DEBIT GLOBAUX	29
4.3.1	<i>Méthode de construction retenue.....</i>	29
4.3.2	<i>Résultats obtenus pour les crues postérieures à 1955</i>	30
4.3.3	<i>Résultats obtenus pour les crues antérieures à 1950.....</i>	31
4.3.4	<i>Modèles Pluie-Débit de tête.....</i>	33
4.4	RECONSTITUTION DES APPORTS HYDROLOGIQUES SUR LE BASSIN DE L'YONNE POUR LES 20 CRUES HISTORIQUES	33
4.4.1	<i>Démarche adoptée.....</i>	33
5	RECONSTITUTION DES APPORTS DES AUTRES BASSINS	35
5.1	REGROUPEMENT DES APPORTS.....	35
5.2	CONSTRUCTION ET CALAGE DE MODELES DE PRODUCTION PLUIE –DEBIT	39
5.3	RECONSTITUTION DES APPORTS DES SOUS BASSINS SEINE ET MARNE.....	40
6	VALIDATION DE L'HYDROLOGIE DES CRUES RECONSTITUEES.....	41
7	CONCLUSIONS	43

Annexes (document séparé) :

1. Comparaison des débits calculés (modèles pluie-débit) avec les débits observés ou reconstitués sur les sous bassins d'apports – bassin de l'Yonne, modèles globaux
2. Comparaison des débits calculés (modèles pluie-débit) avec les débits observés ou reconstitués sur les sous bassins d'apports – bassin de l'Yonne, modèles des sous bassins amont
3. Comparaison des débits calculés (modèles pluie-débit) avec les débits observés ou reconstitués sur les sous bassins d'apports – bassin de la Petite Seine
4. Comparaison des débits calculés (modèles pluie-débit) avec les débits observés ou reconstitués sur les sous bassins d'apports – bassin de la Marne
5. Comparaison des débits calculés (modèles pluie-débit) avec les débits observés ou reconstitués sur les sous bassins d'apports – bassin de la Seine moyenne
6. Hydrogrammes calculés à la station de Paris_Austerlitz – comparaison avec les hydrogrammes observés.

1 INTRODUCTION

Le présent rapport regroupe la méthode et les résultats de l'étape 2.2 de l'étude complémentaire pour l'optimisation de la gestion de l'ouvrage de la Bassée, consacrée à la reconstitution des apports hydrologiques des 20 crues d'étude retenues en phase 1.

Cette reconstitution s'appuie prioritairement sur les mesures disponibles lorsqu'elles existent, sinon sur la mise en œuvre de modèles pluie-débit et débit-débit. Les apports hydrologiques reconstitués constituent les points d'entrée des modèles hydrauliques de propagation des écoulements des cours d'eau principaux (Yonne, Seine, Aube, Marne) du bassin de la Seine en amont de Paris.

Ces 20 crues historiques reconstituées (ainsi que quelques crues synthétiques) servent de référence pour l'étude de gestion des ouvrages de la Bassée.

Les modules pluie-débit construits et calés dans cette phase d'étude sont exploités dans l'étape 2.4 pour évaluer les tests de gestion en horizon hydro-météorologique incertain, articulés avec un modèle de prévision de la montée de la crue à Montereau.

La cohérence hydrologique globale des crues reconstituées est testée avec le modèle hydraulique élaboré et calé dans l'étape 2.1.

2 RAPPEL DES CRUES HISTORIQUES RETENUES POUR L'ETUDE

L'analyse menée en phase 1 a conduit à retenir 20 crues historiques. Elles sont récapitulées ci-dessous :

Crue	Période intense pluvieuse					Débit max dans les cours		Durée dépassement du débit seuil à Paris	Influence		Concomitance Yonne/seine
	Répartition	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris		Gel	Neige	
janv-10	Comparable aux moyennes interannuelles + pluie plus marquée sur l'Yonne et la Marne amont pour l'épisode à l'origine des max	4	20	160	8	1 100 1 100	2 340 2 400	15+12+6		1	Oui
nov-10	Comparable aux moyennes interannuelles + pluie plus marquée sur l'Yonne et la Marne amont pour l'épisode à l'origine des max	4	23	180	7.8	840 850	1 670 1 610	12			+/-
janv-19	Comparable aux moyennes interannuelles	6	41	210	5.1	710 790	1 640 1 650	10			Oui
janv-24	Comparable aux moyennes interannuelles – Cumul sur l'amont des bv homogène pour l'épisode à l'origine des max	3	16	150 ?	9.4 ?	820 800	2 050 2 100	16		1	Oui
nov-44	Comparable aux moyennes interannuelles	8	61	370	6.1	720 -	1 830 -	12			Non
févr-45	Comparable aux moyennes interannuelles	4	22	110	5	690 740	2 020 1 990	16	1	1	Oui
janv-55	Comparable aux moyennes interannuelles	3	19	170	8.9	910 800	2 000 2 120	13			+/-
janv-59	Comparable aux moyennes interannuelles + uniformité de la pluviométrie sur les bassins amont pour l'épisode à l'origine des max	6	41	240	5.9	690 570	1 910 1 700	2+18		1	+/-
févr-70	Comparable aux moyennes interannuelles	5	44	240	5.5	770 690	1 830 1 700	25		1	+/-
févr-77	Comparable aux moyennes interannuelles	5	37	200	5.4	640 560	1 390 1 460	12			+/-
avr-78	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluviométrie comparable sur Armançon/Serein et Yonne amont	3	21	130	6.2	580 -	1 850 1 700	13			+/-
févr-80	Comparable aux moyennes interannuelles	4	22	120	5.5	740 570	1 630 1 450	10			+/-
janv-82	Comparable aux moyennes interannuelles	8	65	280	4.3	780 750	1 880 1 800	38		1	+/-
déc-82	Comparable aux moyennes interannuelles	3	18	140	7.8	740 680	1 790 1 680	13			+/-
avr-83	Comparable aux moyennes interannuelles	4	23	130	5.7	720 -	1 850 -	16			+/-
déc-93	Pluie surtout localisée sur le sud – sud-est du bassin versant	5	41	200	4.9	570 590	1 380 1 500	14			+/-
janv-95	Pluie surtout localisée sur le sud – sud-est du bassin versant	5	42	180	4.3	550 580	1 430 1 500	9			+/-
mars-99	Comparable aux moyennes interannuelles + pluie plus marquée sur Aube/Seine amont pour l'épisode à l'origine des max	3	23	130	5.7	610 -	1 290 -	5			+/-
déc-99	Comparable aux moyennes interannuelles	4	33	180	5.5	550 -	1 480 -	7			Oui
mars-01	Comparable aux moyennes interannuelles	5	28	170	6.1	690 -	1 510 -	16			+/-

Les crues indiquées en noir et correspondent à des événements qui ont déjà été étudiés (en partie ou en totalité) par Hydratec dans le cadre d'études antérieures, notamment l'étude « d'évaluation des dommages liés aux crues en région Ile de France » – août 1998. L'hydrologie de ces événements est définie dans la bibliothèque « MGLS » disponible à l'IIBRB. Elle a été affinée dans le cadre de la présente étude.

Les événements en rouge sont des crues pour lesquelles l'ensemble des apports hydrologiques sont à reconstituer.

Le tableau ci-dessous récapitule la date origine de chaque crue et sa durée, considérées dans les simulations :

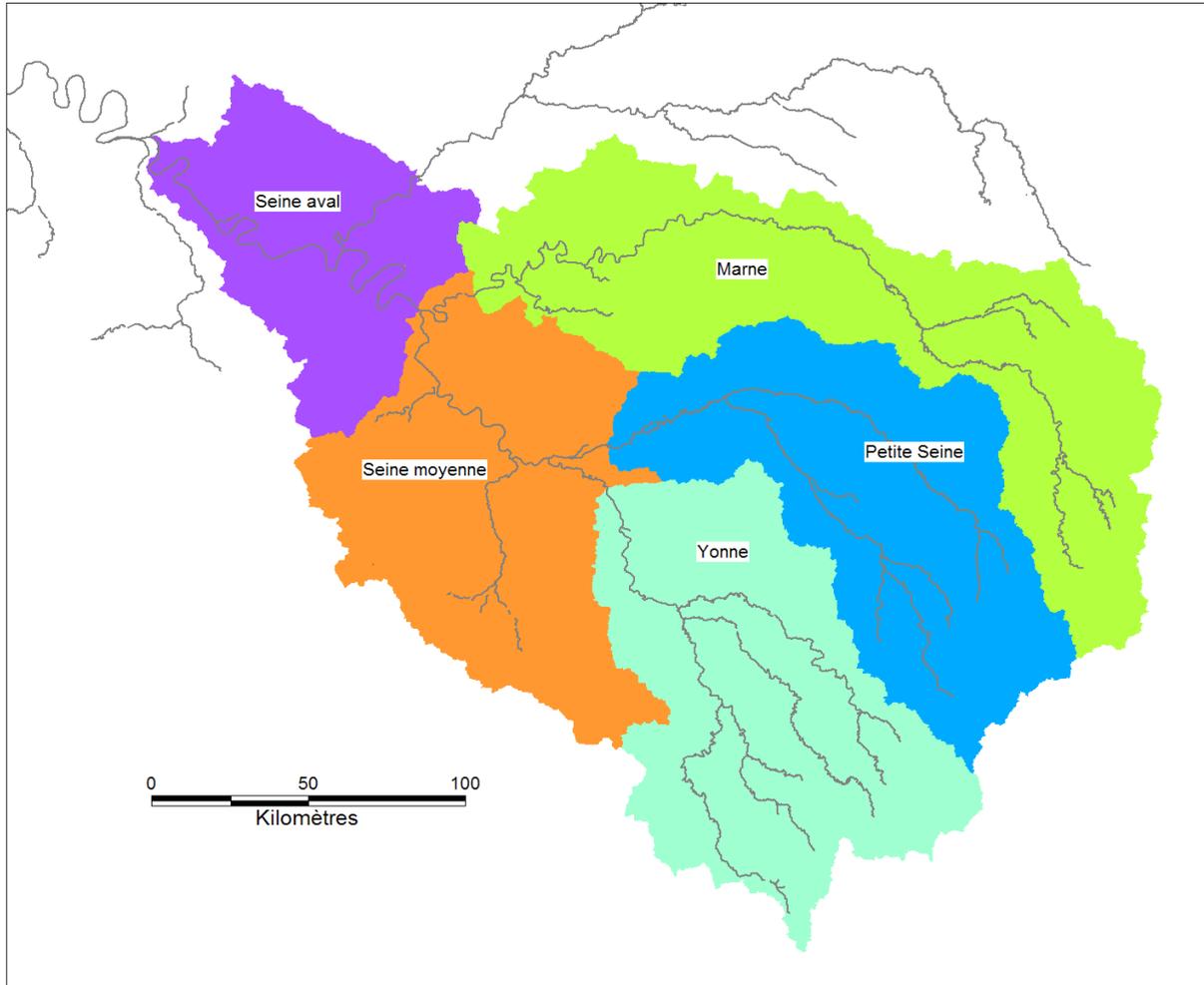
Crue	Date origine	Durée (heures)
J10	10/01/1910	1440
N10	24/10/1910	2376
J19	24/11/1918	1800
J24	20/12/1923	1008
N44	10/09/1944	2472
F45	12/01/1945	1968
J55	03/01/1955	840
J59	09/12/1958	1800
F70	25/01/1970	1296
F77	22/01/1977	1440
A78	10/03/1978	1250
F80	15/01/1980	1200
J82	03/12/1981	1450
D82	13/12/1982	1008
A83	31/03/1983	840
D93	08/12/1993	1400
J95	27/12/1994	1400
M99	11/02/1999	1450
D99	01/12/1999	1400
M01	26/02/2001	2500

3 DONNEES DE BASE ET HYPOTHESES DE CALCUL

3.1 PERIMETRE DE L'ETUDE ET DECOUPAGE EN SOUS SYSTEMES

Le périmètre géographique de l'étude est délimité ci-dessous :

Figure 3-1 : carte de découpage de la zone d'étude en sous systèmes



Il se décompose en cinq sous systèmes :

- le bassin de l'Yonne en amont de la station de Courlon,
 - le bassin de la petite Seine en amont de Bray,
 - le bassin de la Marne en amont de Noisiel,
 - la vallée de la Seine moyenne et ses affluents, délimitée à l'amont par les stations de Bray, Courlon, Noisiel et à l'aval par l'échelle de Paris Austerlitz,
 - la vallée de la Seine aval jusqu'à Poses, qui intègre la vallée de l'Oise en aval de Créteil.
-
- Les sous systèmes « Yonne », « Petite Seine » et « Seine moyenne » constituent le noyau géographique de l'étude : les tests de simulation de gestion seront confinés en grande partie sur ces trois sous systèmes.

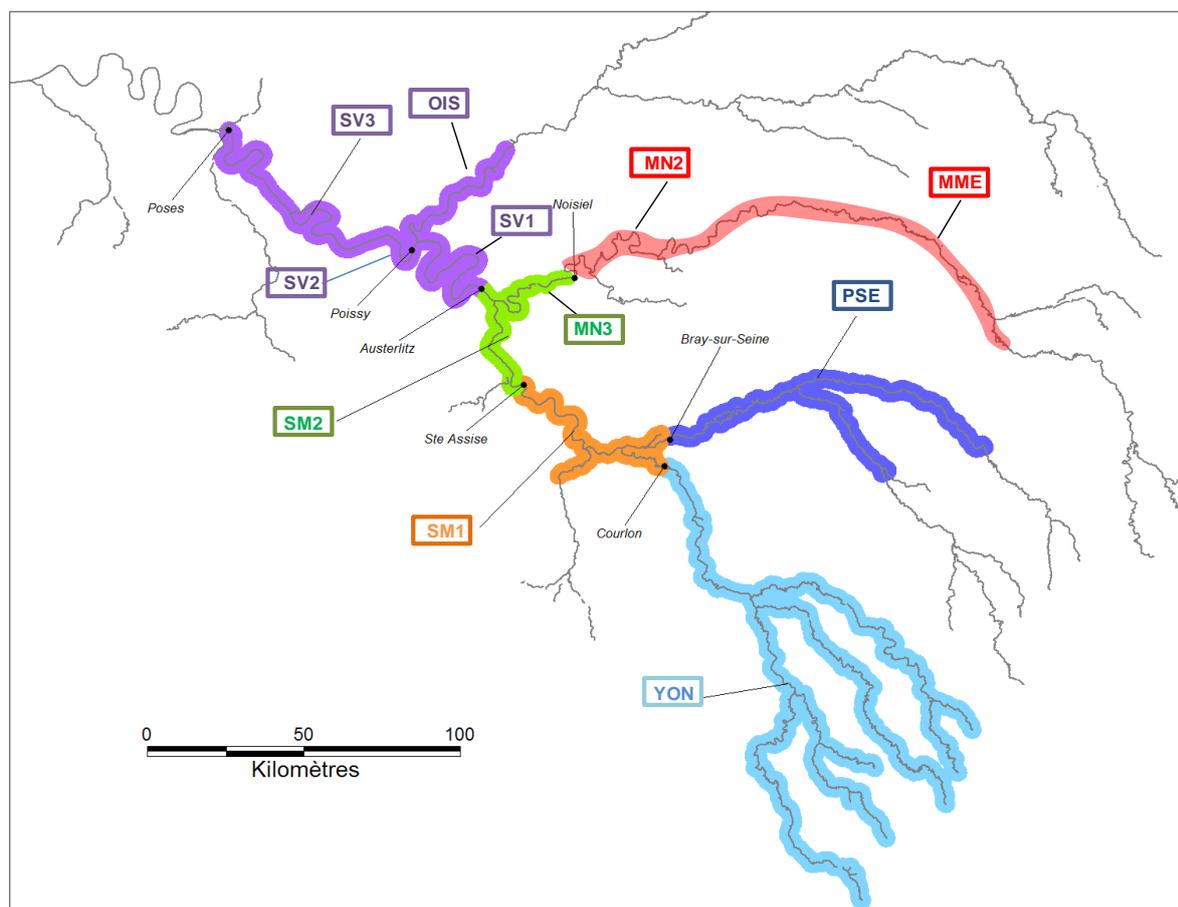
- Le sous système Marne sert à propager l'influence du lac Marne en entrée du sous système « Seine moyenne »,
- Le sous système « Seine aval » permet d'analyser l'extension en aval de Paris de l'impact de l'aménagement Bassée.

Un sous système se compose :

- d'un découpage en bassins versants d'apports,
- de sous modèles hydrauliques alimentés par les hydrogrammes générés aux exutoires des bassins versants.

La carte ci-dessous précise l'emprise géographique des sous modèles hydrauliques élaborés et/ou exploités pour les besoins de l'étude.

Figure 3-2 : linéaires de vallées couverts par les modèles hydrauliques



Les sous modèles hydrauliques sont détaillés dans le rapport 2.1. Leur utilisation s'avère indispensable pour contrôler la cohérence spatio temporelle de l'hydrologie reconstituée de chaque crue. A ce stade ces modèles ont déjà fait l'objet d'un premier calage en propagation vis-à-vis de crues historiques récentes dont l'hydrologie est bien connue : janvier 1982, janvier 1995, décembre 1993, février 1970 pour le sous bassin de la Seine, mars 1999, décembre 1999 et mars 2001 pour le bassin de l'Yonne.

A noter que les modèles hydrauliques modélisent les lacs réservoirs Marne, Seine, Aube et Pannecière : ils sont donc exploités pour générer des hydrologies influencées par l'action de ces ouvrages.

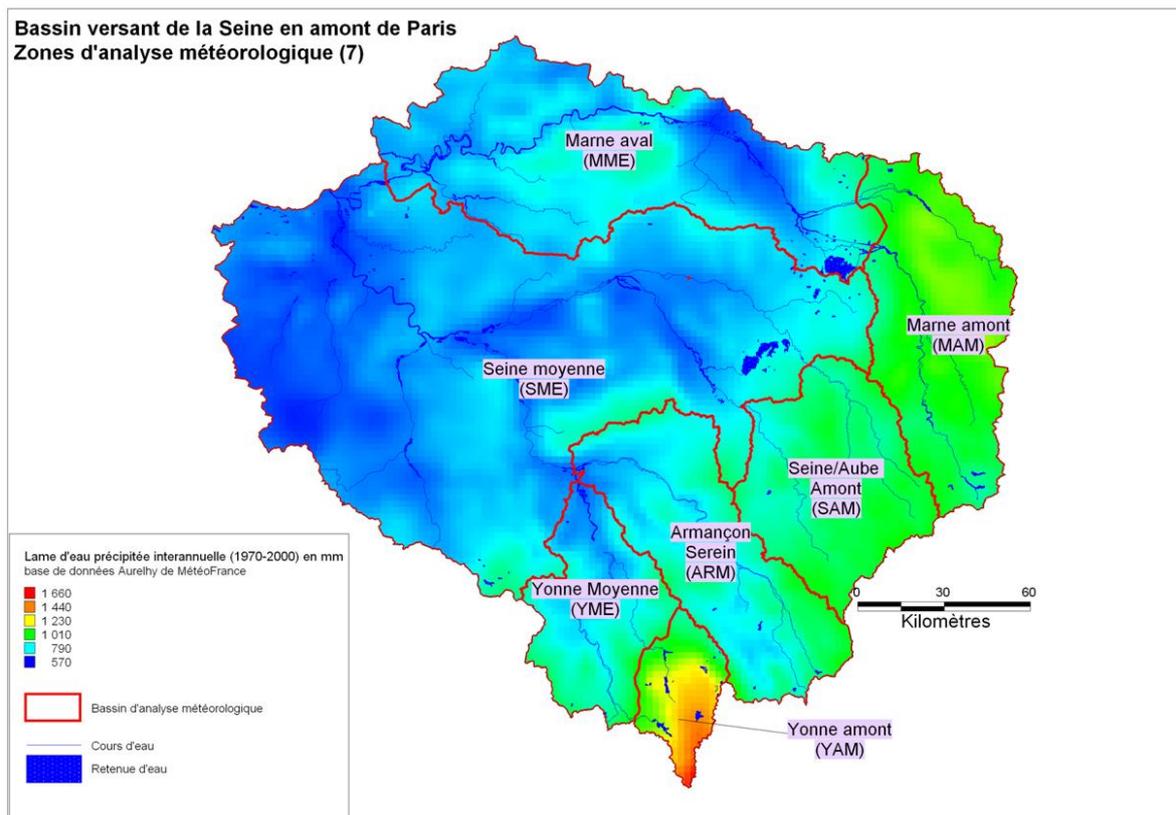
3.2 DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Les données de pluies ayant servi à l'alimentation des modèles hydrologiques sont les mêmes que celles utilisées dans le cadre de la phase 1 de l'étude. Se reporter au rapport de phase 1 pour de plus amples détails.

Il est ici rappelé que ces données de pluie sont disponibles au pas de temps journalier.

Le bassin versant de la Seine en amont de Paris a été découpés en 7 zones d'apports pluviométriques qui sont représentées sur la carte donnée ci-après.

Figure 3-3 : 7 zones d'apports pluviométriques



Le fond de plan coloré de cette carte résulte d'une analyse thématique sur la lame d'eau précipitée interannuelle (1970-2000) – Source Météo France : on observe qu'un gradient pluviométrique prononcé est présent sur le bassin de l'Yonne amont. D'une manière générale les précipitations ont tendance à être plus marquées à l'amont du bassin hydrographique qu'à l'aval (en conséquence probablement de l'effet orographique).

Pour chacune des 20 crues d'étude et des 7 zones d'apport, une lame d'eau moyenne, au pas de temps journalier, a donc été calculée.

Le calcul de lame d'eau moyenne sur chaque zone a été automatisé à l'aide du logiciel PLUMAKE, développé et exploité au sein d'Hydratec :

- Lorsque, pour un pas de temps donné, plusieurs stations disposant de données de pluie sont présentes sur un sous-bassin versant, alors la lame d'eau moyenne sur cette zone correspond à la moyenne arithmétique des données de pluie.
- Lorsque, pour un pas de temps donné, aucune station sur le sous bassin versant ne dispose de données de pluie, alors la lame d'eau moyenne correspond à la pluviométrie enregistrée sur la station pluviométrique la plus proche.

3.3 DONNEES HYDROMETRIQUES

3.3.1 Cas des crues déjà analysées

Les données d'hydrogrammes ont été reprises des études antérieures, sauf sur le bassin de l'Yonne pour lequel un recensement et une exploitation détaillée des données hydrométriques a été réalisé pour chaque crue. Pour les crues anciennes et pour le bassin de l'Yonne les hydrogrammes d'apports ont été affinés à l'aide de lois de production pluie-débit calés dans la présente étude.

3.3.2 Cas des crues nouvelles

Pour les 7 crues non étudiées dans le cadre de l'étude « d'évaluation des dommages liés aux crues en région Ile de France » – août 1998, des données de débits (au pas de temps variable et journalier) ont été récupérées (aux points clés du bassin versant de la Seine en amont de Paris) auprès de la Banque Hydro. Les informations recueillies sont récapitulées ci-après :

3.3.2.1 Pas de temps journalier (QJ0)

Les données de débit journalier récupérées sont représentées avec une croix dans le tableau donné ci-après.

		Crue								
		nov-10	janv-19	nov-44	janv-59	févr-80	mars-99	déc-99	mars-01	
		24/10/1910	24/11/1918	09/10/1944	09/12/1958	15/01/1980	11/02/1999	01/12/1999	26/02/2001	
		au								
		31/01/1911	04/02/1919	20/01/1945	01/03/1959	05/03/1980	12/04/1999	30/01/2000	13/06/2001	
Bv Marne										
Marne	Saint-Dizier	H5071010				X	X	X	X	X
	Frignicourt	H5091010					X	X	X	X
		H5091011								
	Chalons	H5201010						X	X	X
		H5201013					X			
		H5201014				X				
	Noisiel	H5841010					X			
		H5841011				X				
Gournay	H5841020						X	X	X	
	H5841025									
Blaise	Louvemont	H5083010					X	X	X	
	Louvemont / Pont-Varin	H5083050								
	Colombey	H5083020				X	X	X		
Saulx	Vitry en Perthois	H5172010			X	X	X	X	X	
Grand-Morin	Pommeuse	H5732010				X	X	X	X	
	Montry	H5752020				X				
	Crécy-la-Chapelle	H5752030					X	X	X	

BV Yonne									
Yonne	Corancy	H2001020					X	X	X
	Montigny	H2021010			X	X	X	X	X
	Gurgy	H2221010			X	X	X	X	X
	Joigny	H2501010					X		
		H2501020						X	X
Courlon	H2721010			X	X	X	X	X	
Armançon	Brianny	H2402010				X	X	X	X
	Quincy	H2412010				X	X	X	X
	Brienon	H2482010			X	X	X	X	X
Serein	Bierre-les-Sèmur	H2322010				X	X	X	X
	Guillon	H2322020			X	X			
	Chablis	H2342010			X	X	X	X	
		H2342020							
Beaumont	H2342030					X	X	X	
Cure	Marigny	H2122010				X			
		H2122020					X	X	X
	Domecy	H2142010		X	X	X	X	P	
	Foissy-lès-Vézelay	H2142030					X	X	X
	Saint-Père	H2142020					X	X	X
Arcy	H2182010					X	X	X	
Vanne	Paisy	H2602010				X			
	Pont-sur-Vanne	H2622010				X	X	X	X
Cousin	Cussy	H2172310			X				
	Avallon	H2172320					X	X	X
Brenne	Seigny	H2442330				X			
	Montbard	H2442340					X	X	X
Chaloux	Saint-Martin-du-Puy	H2133010			X	X			

			Crue								
			nov-10	janv-19	nov-44	janv-59	févr-80	mars-99	déc-99	mars-01	
			24/10/1910	24/11/1918	09/10/1944	09/12/1958	15/01/1980	11/02/1999	01/12/1999	26/02/2001	
			au								
			31/01/1911	04/02/1919	20/01/1945	01/03/1959	05/03/1980	12/04/1999	30/01/2000	13/06/2001	
BV Seine											
Seine	Bar-sur-Seine	H0400010				X	X	X	X	X	
	Troyes	H0800010				X	X	X	X	X	
	Troyes (Foicy)	H0800011						X	X	X	
	Troyes (Fauxelles)	H0800012						X	X	X	
	Troyes	H0800013						X	X	X	
	Méry-sur-Seine	H0810010					X	X	X	X	
		H0810011				X					
	Pont-sur-Seine	H1700010					X	X	X	X	
	Bazoches-les-Brayes	H1940010									
		H1940020						X	X	X	
	Sainte-Assise	H3930020							X	X	
	Villeneuve-St-G	H4340010					X				
		H4340011									
	Alfortville	H4340020						X	X	X	
	Paris	H5920010					X	X	X	X	
		H5920011	X	X	X	X					
Poissy	H7900010					X	X	X	X		
Méricourt	H7940012										
Poses	H8110010					X	X	X	X		
	H8110011				X						
Aube	L'Aube [totale] à Longchamp-sur-Aujon	H1051030					X	X	X		
	Bar-sur-Aube	H1201010						X	X	X	
	Blaincourt	H1231010				X	X	X	X	X	
		H1231011				X	X				
Arcis	H1501010					X	X	X	X		
Voire	Droyes	H1302010						X	X	X	
	Lassicourt	H1362010					X				
Loing	Châlette-sur-Loing	H3201010					X	X	X	X	
	Episy	H3621010				X	X	X	X	X	
Essonne	Boulancourt	H4022030						X	X	X	
	Ballaincourt	H4042010					X	X	X	X	
Orge	Epinay	H4232040						X	X	X	
	Morsang	H4252010					X	X	X	X	
Yerres	CouRtomer	H4322010					X	X	X	X	
	Paradis	H4322030									

Cours d'eau secondaires										
Soude	Soudron	H5213310					X	X	P	
Surmelin	Saint-Eugène	H5302010					X	X	X	X
Ourcq	Chouy	H5522010						X	X	X
Thérouanne	Gué à Tresmes	H5613020					X	X	X	X
Beuvronne	Compans	H5813010					X			
Gondaire	Deuil	H5833010					X	X	X	P
Barbuise	Pouan	H1513210					X	X	X	X
Superbe	Saint-Saturnin	H1603010					X	X	X	X
Ardusson	Saint-aubin	H1713010					X	X	X	X
Voulzie	Jutigny	H1932020					X	X	X	X
Tholon	Champvallon	H2513110					X	X	X	X
Vrin	Précy	H2513410					X			

3.3.2.2 Pas de temps variable (QTVAR)

Les données de débit au pas de temps variable récupérées sont représentées avec une croix dans le tableau donné ci-après. Le 'P' indique des données présentement partiellement.

			Crue						
			nov-10	janv-19	janv-59	févr-80	mars-99	déc-99	mars-01
			24/10/1910	24/11/1918	09/12/1958	15/01/1980	11/02/1999	01/12/1999	26/02/2001
			au						
			31/01/1911	04/02/1919	01/03/1959	05/03/1980	12/04/1999	30/01/2000	13/06/2001
Bv Marne									
Marne	Saint-Dizier	H5071010					X	X	X
	Frignicourt	H5091010					X	X	X
		H5091011							
	Chalons	H5201010					X	X	X
		H5201013							
		H5201014							
	Noisiel	H5841010							
		H5841011							
Gournay	H5841020					X	X	X	
	H5841025								
Blaise	Louvemont	H5083010					X	X	X
	Louvemont / Pont-Varin	H5083050							
	Colombey	H5083020				X	X	X	
Saulx	Vitry en Perthois	H5172010				X	X	X	
Grand-Morin	Pommeuse	H5732010					X	X	X
	Montry	H5752020							
	Crécy-la-Chapelle	H5752030					X	X	X
BV Yonne									
Yonne	Corancy	H2001020					X	X	X
	Montigny	H2021010					X	X	X
	Gurgy	H2221010				X	X	X	X
	Joigny	H2501010							
		H2501020					X	X	X
Courlon	H2721010					X	X	X	
Armançon	Brianny	H2402010				X	X	X	X
	Quincy	H2412010				X	X	X	X
	Brienon	H2482010		X		X	X	X	X
Serein	Bierre-les-Sémur	H2322010				X	X	X	X
	Guillon	H2322020							
	Chablis	H2342010		X		X	X	X	
		H2342020							X
Beaumont	H2342030					X	X	X	
Cure	Marigny	H2122010				X			
		H2122020					X	X	X
	Domecy	H2142010							
	Foissy-lès-Vézelay	H2142030					X	X	X
	Saint-Père	H2142020					X	X	X
Arcy	H2182010					X	X	X	
Vanne	Paisy	H2602010				X			
	Pont-sur-Vanne	H2622010					X	X	X
Cousin	Cussy	H2172310							
	Avallon	H2172320					X	X	X
Brenne	Seigny	H2442330							
	Montbard	H2442340					X	X	X
Chaloux	Saint-Martin-du-Puy	H2133010							

			Crue						
			nov-10	janv-19	janv-59	févr-80	mars-99	déc-99	mars-01
			24/10/1910	24/11/1918	09/12/1958	15/01/1980	11/02/1999	01/12/1999	26/02/2001
			au						
			31/01/1911	04/02/1919	01/03/1959	05/03/1980	12/04/1999	30/01/2000	13/06/2001
BV Seine									
Seine	Bar-sur-Seine	H0400010					X		
	Troyes	H0800010							
	Troyes (Foicy)	H0800011					X	X	X
	Troyes (Fauxelles)	H0800012					X	X	X
	Troyes	H0800013							
	Méry-sur-Seine	H0810010					X	X	X
		H0810011							
	Pont-sur-Seine	H1700010					X	X	X
	Bazoches-les-Brayes	H1940010							
		H1940020					X	X	X
	Sainte-Assise	H3930020						X	X
	Villeneuve-St-G	H4340010							
		H4340011							
	Alfortville	H4340020					X	X	X
	Paris	H5920010							
		H5920011	X	X	X				
Poissy	H7900010					X	X	X	
Méricourt	H7940012					X	X	X	
Poses	H8110010						X	X	
	H8110011								
Aube	L'Aube [totale] à Longchamp-sur-Aujon	H1051030							
	Bar-sur-Aube	H1201010					X	X	X
	Blaincourt	H1231010					X	X	X
		H1231011							
Arcis	H1501010					X	X	X	
Voire	Droyes	H1302010					X	X	X
	Lassicourt	H1362010				X			
Loing	Châlette-sur-Loing	H3201010					X	X	X
	Episy	H3621010					X	X	X
Essonne	Boulancourt	H4022030					X	X	X
	Ballaincourt	H4042010					X	X	X
Orge	Épinay	H4232040					X	X	X
	Morsang	H4252010					X	X	X
Yerres	CouRtomer	H4322010				X	X	X	X
	Paradis	H4322030							

Cours d'eau secondaires									
Soude	Soudron	H5213310				X	X	X	
Surmelin	Saint-Eugène	H5302010					X	X	X
Ourcq	Chouy	H5522010					X	X	X
Barbuise	Pouan	H1513210				X	X	X	X
Superbe	Saint-Saturnin	H1603010				X	X	X	X
Ardusson	Saint-aubin	H1713010				X	X	X	X
Voulzie	Jutigny	H1932020				X	X	X	X
Tholon	Champvallon	H2513110				X	X	X	X
Vrin	Précy	H2513410				X			

3.4 MODELES DE PRODUCTION PLUIE-DEBIT

Trois modules de production ont été exploités :

- le module HYDRA-BV : s'appliquant plutôt à des sols peu perméables,
- le module RSVL-BV : s'appliquant à des sols perméables,
- le module RAT-BV : correspondant à des bassins versants urbanisés.

3.4.1 Hydra-BV

Le schéma de ce modèle est présenté dans la figure donnée page suivante.

Dans ce modèle, le sol est décomposé en deux couches superposées :

- la Réserve Facilement Utilisable (RFU),
- la couche de sol intermédiaire (J),

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute et qui se vidange par évapotranspiration. En cas de saturation, l'excédent rejoint la couche de sol intermédiaire.

La couche de sol intermédiaire, alimenté par l'excédent de la couche RFU, se vidange par ressuyage et par ruissellement. De plus, cette couche peut aussi se vider par pertes (faibles en général) vers les couches profondes. Dans le cas de la Seine en amont de Paris ces pertes ont été considérées comme étant nulles.

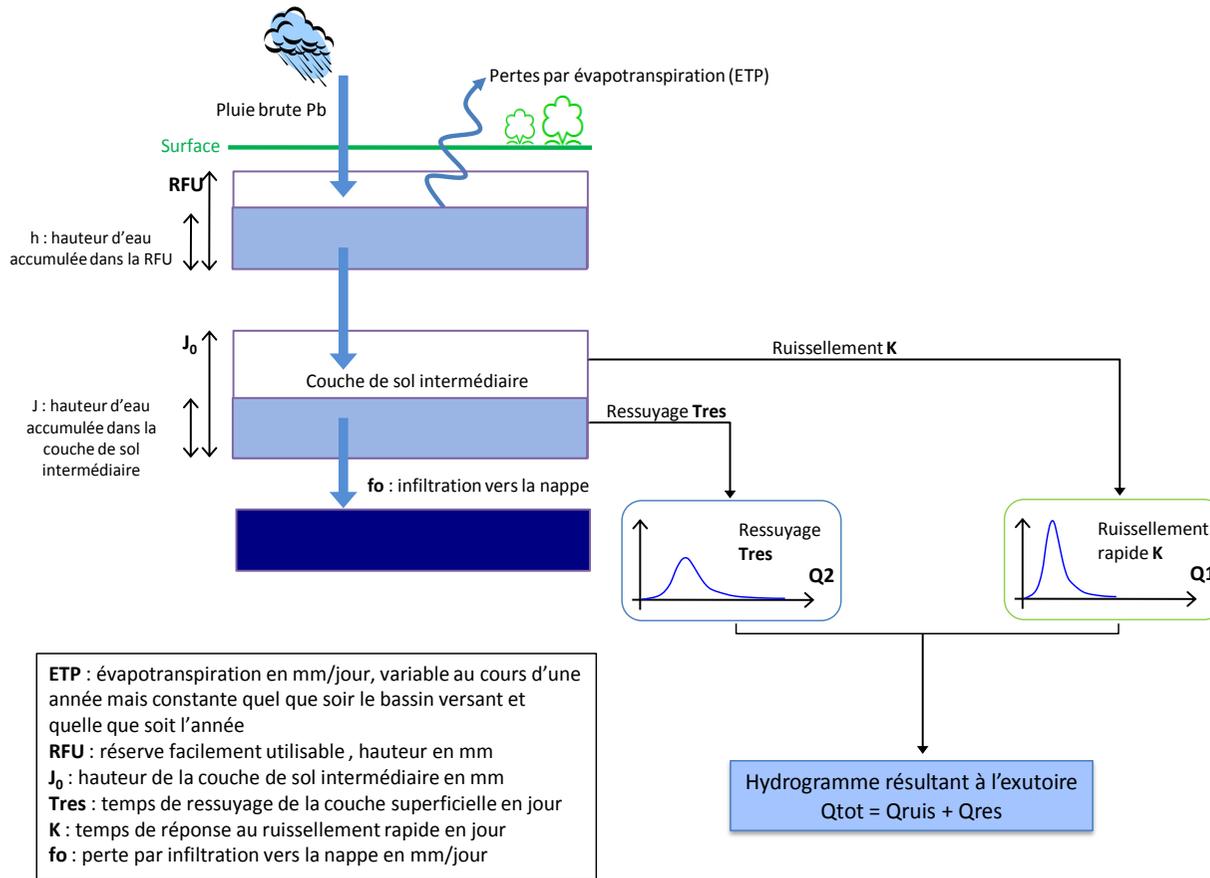
L'hypothèse fondamentale consiste à supposer que la couche de sol intermédiaire se comporte comme une éponge dont le taux d'absorption varie en sens inverse du niveau d'imbibition : la partie non absorbée ruisselle. Par ailleurs, en l'absence de précipitation, le sol se ressuie lentement, le débit de ressuyage étant supposé proportionnel à la hauteur de lame d'eau accumulée dans le sol.

Ce modèle très simple dans sa conception, est défini par 5 paramètres :

- RFU : Hauteur de la Réserve Facilement Utilisable exprimée en mm.
- J : La hauteur d'interception potentielle du sol en mm.
- K : Le temps de réponse du bassin au ruissellement rapide, en jours.
- Tr : Le temps de réponse du bassin au ressuyage, en jours.
- f_0 : Perte par infiltration vers les couches profondes en mm/j.

Rappel : Ce modèle convient plutôt pour des sols peu perméables.

Figure 3-4 : Schéma conceptuel du module HYDRA-BV



3.4.2 Schéma conceptuel du modèle à réservoir linéaire - RSVL-BV

Le schéma de ce modèle est présenté dans la figure donnée page suivante.

La RFU est la couche de sol directement alimentée par la pluie brute et qui se vidange par évapotranspiration. En cas de saturation, l'excédent rejoint le réservoir de nappe.

Le réservoir de nappe, alimenté par l'excédent de la couche RFU, se vidange ici **uniquement par ressuyage**.

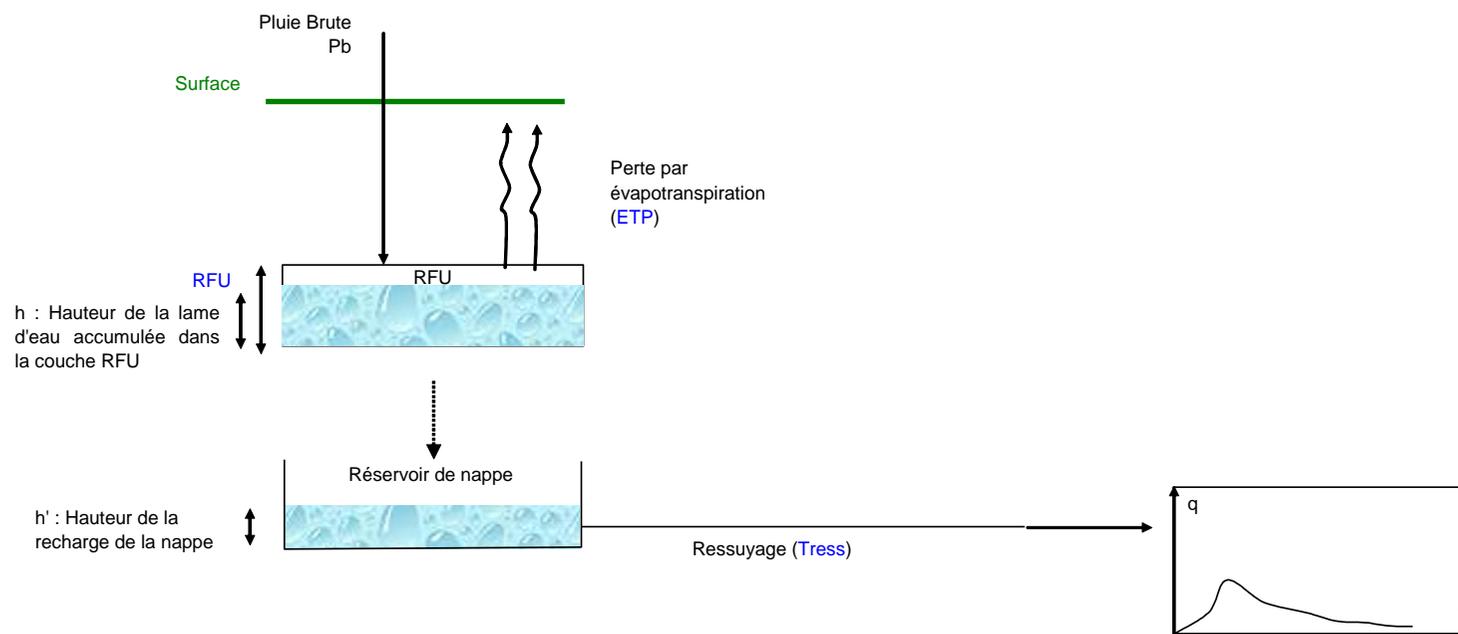
Le débit vers la rivière est fonction de la recharge de la nappe.

Ce modèle est défini par 2 paramètres :

- RFU : capacité de la RFU en mm.
- Tress : Temps de ressuyage - réponse de la nappe en jours.

Rappel : Ce modèle convient pour des écoulements de type « nappe ».

Figure 3-5 : Schéma conceptuel du modèle à réservoir linéaire - RSVL



Les paramètres de calage du modèle sont :

ETP : Evapotranspiration exprimée en mm/j. Considérée comme variable au cours d'une année mais constante quelle que soit le bassin versant et quelle que soit l'année considérée.

RFU : Hauteur de la RFU exprimée en mm

T_{ress} : Temps de ressuyage - réponse de la nappe en jour

3.4.3 Schéma conceptuel du modèle - RAT-BV

Ce module est utilisé pour les bassins versants urbanisés (partie aval du bassin versant d'étude, située à proximité de Paris), pour lesquels les temps de réponse sont rapides (méthode rationnelle). Le débit à l'exutoire est alors déduit de la pluie tombée, et du coefficient de ruissellement (considéré ici comme constant au cours de la crue).

3.4.4 Conditions initiales des sols en début de crue

En début de crue, les niveaux dans les réservoirs des modules hydrologiques HYDRA-BV et RSVL-BV doivent être estimés. Ils ont été déduits directement du débit de base mesuré en début d'événement.

4 CONSTITUTION DES APPORTS DU BASSIN DE L'YONNE

4.1 INTRODUCTION

L'hydrologie du sous système « Yonne » revêt une importance particulière dans cette étude car sa bonne compréhension conditionne l'efficacité de la gestion attendue de l'aménagement « Bassée ». L'analyse hydrologique du bassin de l'Yonne vise deux objectifs :

1. Reconstituer l'hydrologie des 20 crues historiques sur le bassin de l'Yonne,
2. Disposer de modules de production pluie-débit fiables. Ces modules constituent le socle du modèle de prévision des apports de l'Yonne, qui doit être couplé à l'étude de gestion de la Bassée.

En pratique ces deux aspects présentent une forte interdépendance car le recours à des modules de production s'avère nécessaire pour reconstituer ou affiner les hydrogrammes d'apports des crues historiques anciennes pour lesquelles on ne dispose d'aucune donnée hydrométrique.

La méthodologie adoptée pour le bassin de l'Yonne est déclinée en trois étapes :

- Les crues récentes de décembre 1993, janvier 1995, mars 1999, décembre 1999 et mars 2001 possèdent des données de mesures relativement riches sur ce bassin versant, elles sont en conséquence analysées en détails dans un premier temps. Elles conduisent à un découpage adapté du bassin versant, ainsi qu'au choix de la méthode de reconstitution hydrologique apparaissant le plus pertinent. Enfin les données disponibles pour ces événements sont utilisées pour le calage des modèles Pluie-Débit.
- Les modèles pluie-débits calés sur les crues récentes sont testés pour les crues plus anciennes, pour lesquelles on dispose de données hydrométriques aux stations aval des vallées de l'Yonne, du Serein et de l'Armançon.

- Enfin l'hydrologie des 20 crues historiques est reconstituée en adaptant pour chaque cas la méthode de reconstitution tout en privilégiant l'exploitation des données hydrométriques disponibles.

4.2 ETUDE DE CINQ CRUES RECENTES : D93, J95, N99, D99, M01

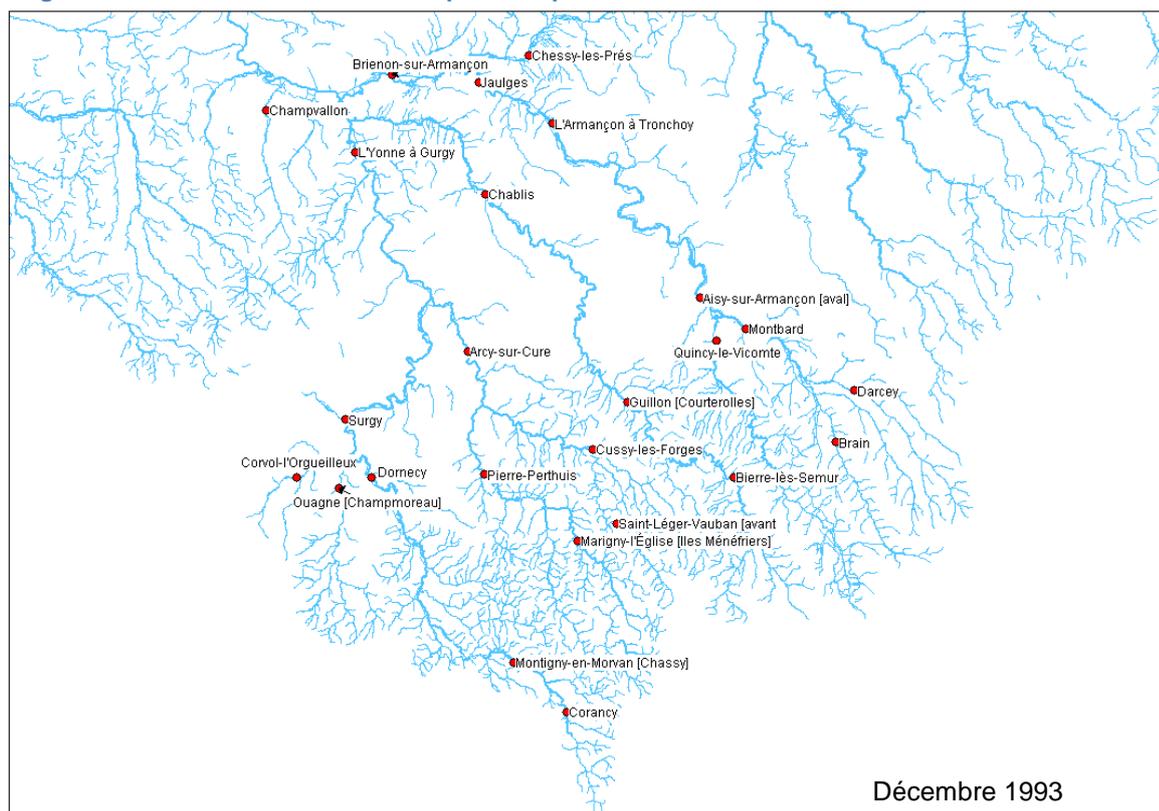
4.2.1 Données disponibles

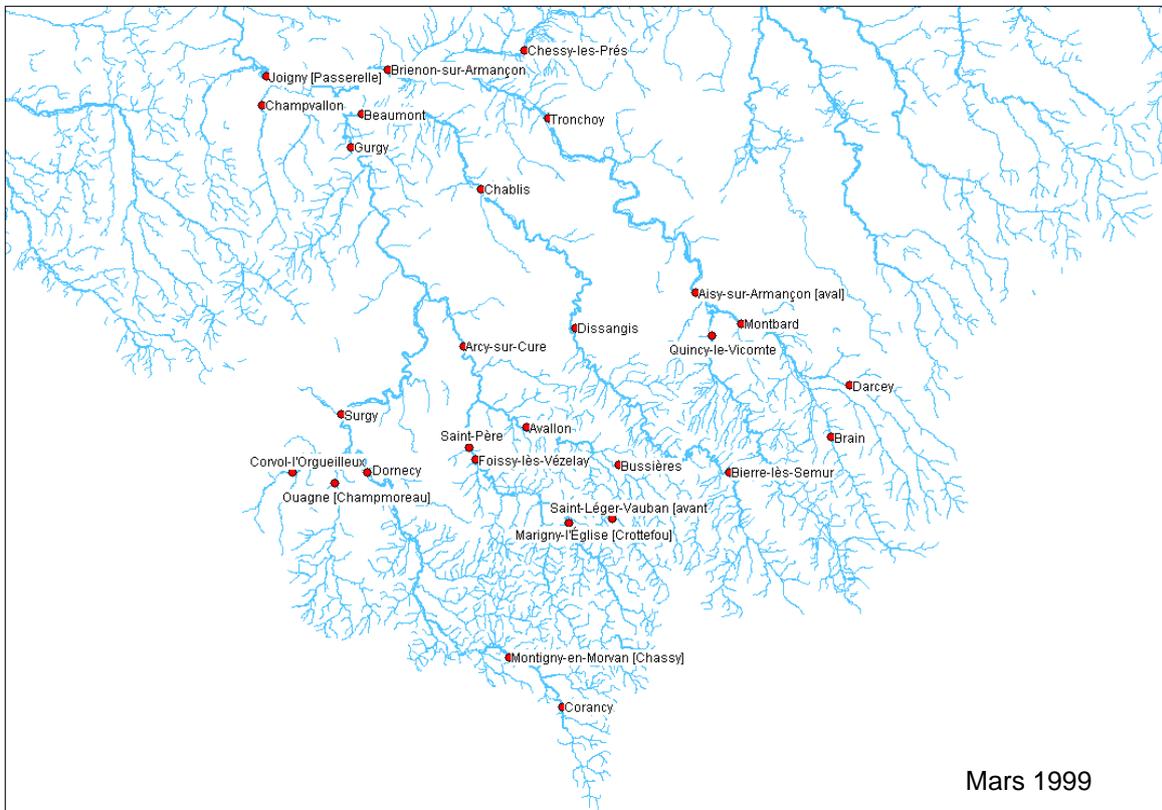
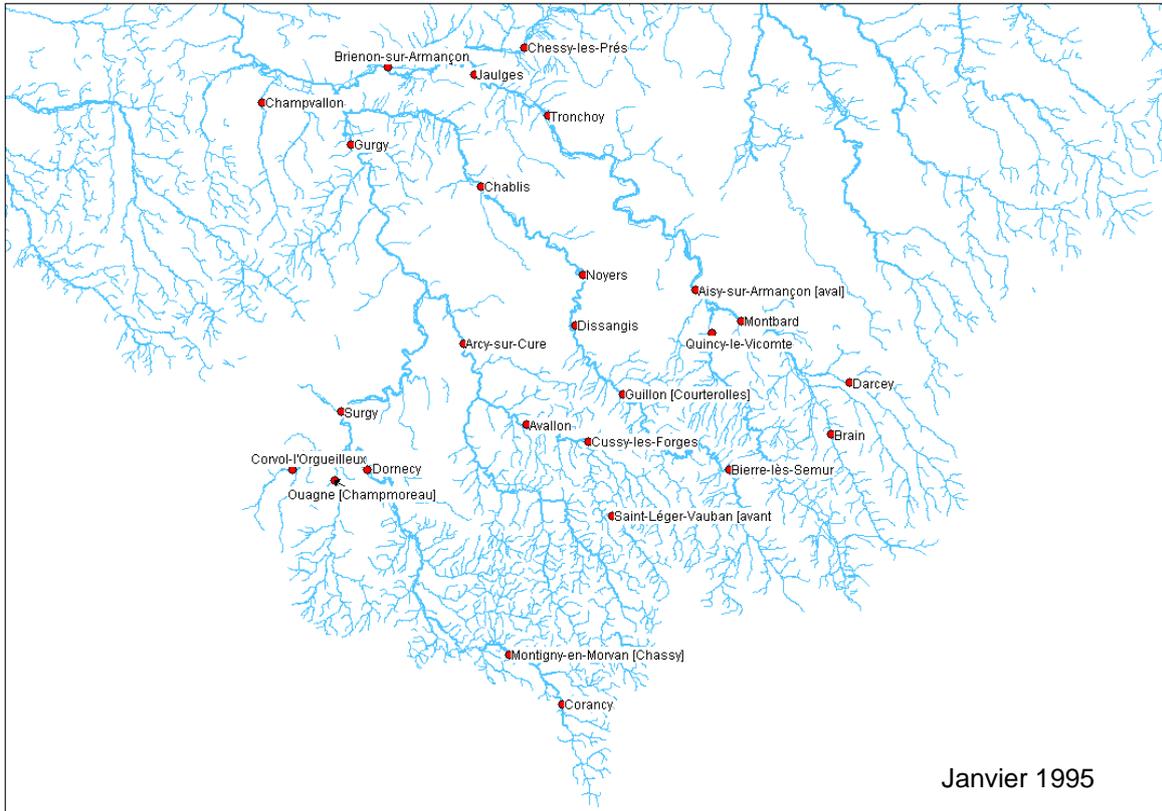
□ Débits

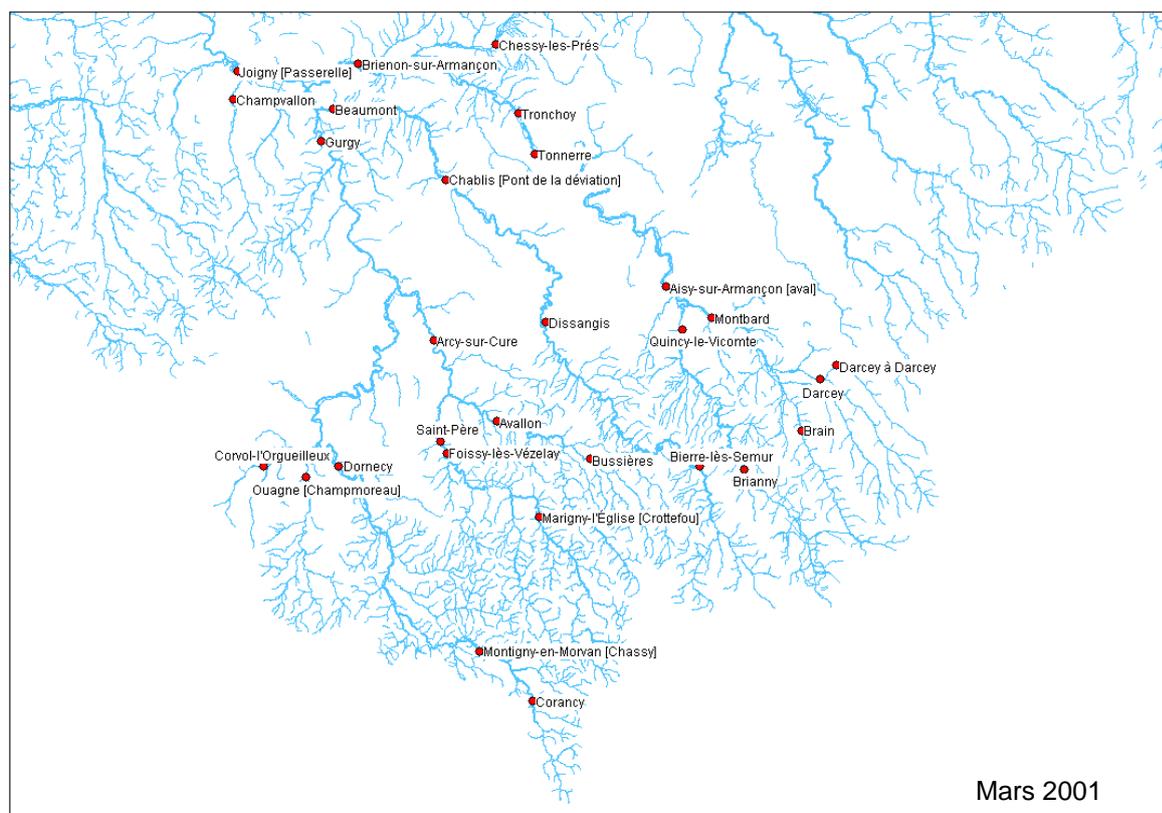
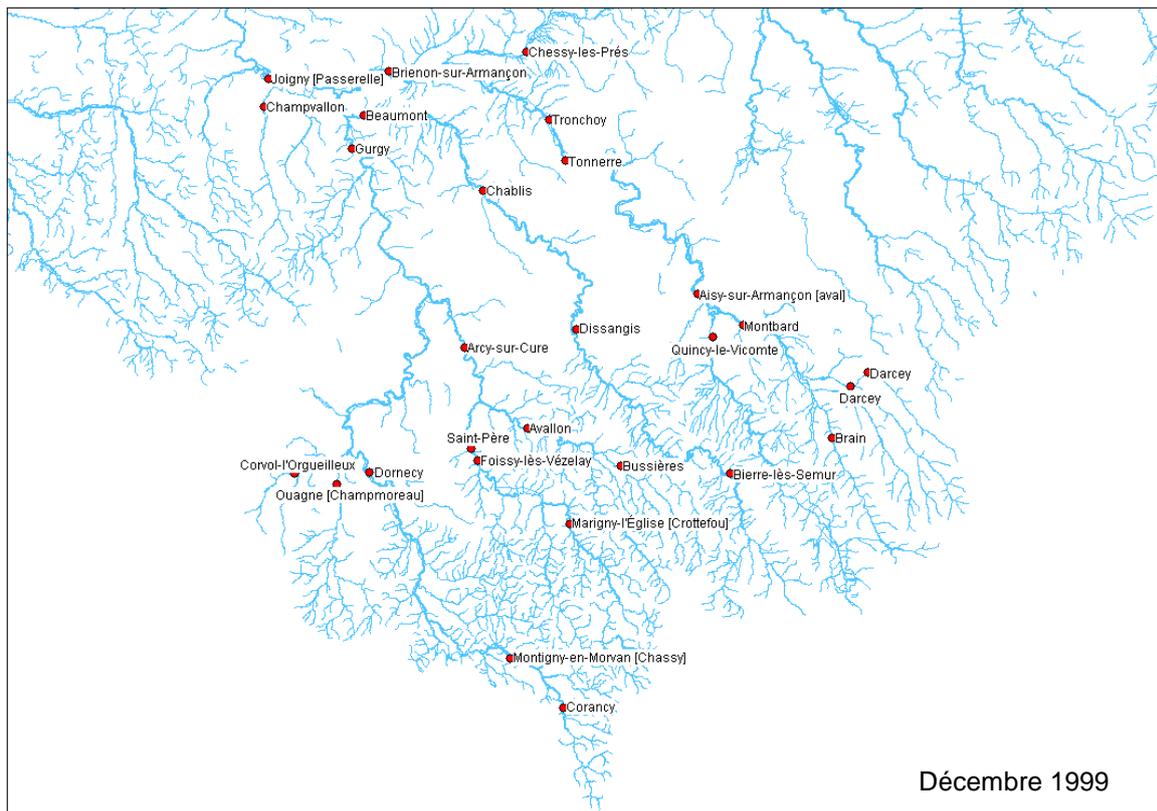
L'ensemble des données hydrométriques disponibles sur la banque hydro sur le bassin versant de l'Yonne amont ont été collectées pour les crues de décembre 1993, janvier 1995, mars 1999, décembre 1999 et mars 2001. Ce sont des données de débits à pas de temps variable. Les stations disponibles varient selon la crue étudiée.

Voici un récapitulatif cartographique des stations disponibles pour chacun de ces événements :

Figure 4-1 : Stations aux données disponibles pour les crues récentes







□ Pluviométrie

Les données de pluie exploitées sont décrites au §3.2. Ces données sont reconstituées au pas de temps journalier pour toutes les crues. Elles conduisent à dégrader légèrement la précision des modèles de production sur les sous bassin versants amont compte tenu des faibles temps de réaction de ces bassins, mais elles conviennent pour caler les modèles de production sur les stations aval de Gurgy, Bieno et Chablis/Beaumont, ce qui nous importe dans la présente étude.

4.2.2 Décomposition du bassin de l'Yonne amont en sous-bassins versants

Le découpage du bassin de l'Yonne amont en sous-bassins versants doit rendre compte de l'hétérogénéité de cette zone géographique vis-à-vis de sa réaction hydrologique et hydraulique, mais aussi de l'hétérogénéité de ses apports météorologiques.

Le découpage s'est donc appuyé sur les zones d'apports pluviométriques définies au §3.2, sur la morphologie des cours d'eau (confluence, zone de méandre), sur le type de sols rencontrés (zone karstique, zone granitique), et aussi sur les stations hydrométriques disponibles, et en particulier celles utilisées par le SPC.

La carte ci dessous présente le découpage en sous-bassins versants retenu en amont de Sens :

Figure 4-2 : Découpage en sous-bassins versants du bassin de l'Yonne amont



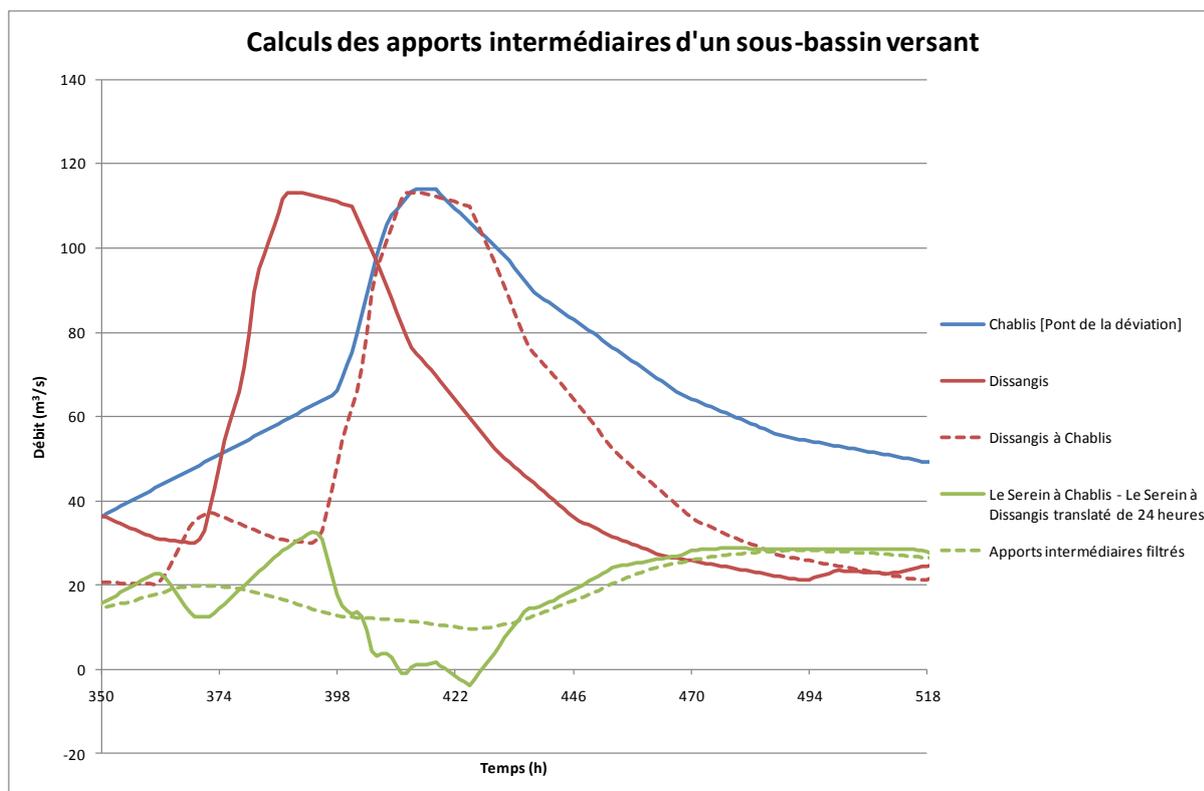
Ce découpage met en évidence trois groupes de sous bassins versants :

- Les sous bassins de l'amont, caractérisés par des sols imperméables et donc très productifs ; ils sont facilement repérables par le fort développement du chevelu hydrographique. A noter que le sous bassin « YONN.CORRANCY » est contrôlé par le barrage de Pannecièrre : les apports de crue sont totalement laminés par l'action de cet ouvrage. Le bassin « CURE.CRESCENT » est également contrôlé par trois barrages : Settons, Chaumeçon et Crescent. Néanmoins les apports de crue sont peu laminés par ces ouvrages avec le mode de gestion actuel.
- Les sous bassins intermédiaires : YONNE.MAILLY, CURE.ARCY, SER.CHABLIS, ARM.TRONCHOY, occupés par des sols karstiques : ces bassins sont peu productifs pour les crues faibles et moyennes, mais ils peuvent engendrer un ruissellement important pour les fortes crues en raison de la saturation des sols karstiques. La modélisation de ces sous bassins a nécessité une adaptation des modèles de production, elle est décrite plus loin.
- Les sous bassins aval occupés par des sols de nature plutôt imperméables, ils ont tendance à réagir comme les sous bassins versants de la zone amont.

4.2.3 Traitement des données

L'objectif de cette étape de traitement est de calculer, à partir des mesures disponibles, les hydrogrammes d'apport sur chacun des sous-bassins versants pour les 5 crues récentes. Les stations hydrométriques n'étant pas disponibles systématiquement à leur exutoire, des opérations de transfert, sommation et affinité ont été réalisées sur les données disponibles. Pour chaque sous-bassin versant, les hydrogrammes sont déterminés à l'amont et l'aval du sous-bassin. Puis l'hydrogramme amont est translaté jusqu'à l'exutoire du sous-bassin versant, l'apport de ce sous-bassin versant est alors obtenu par différence entre l'hydrogramme aval et celui de l'amont translaté.

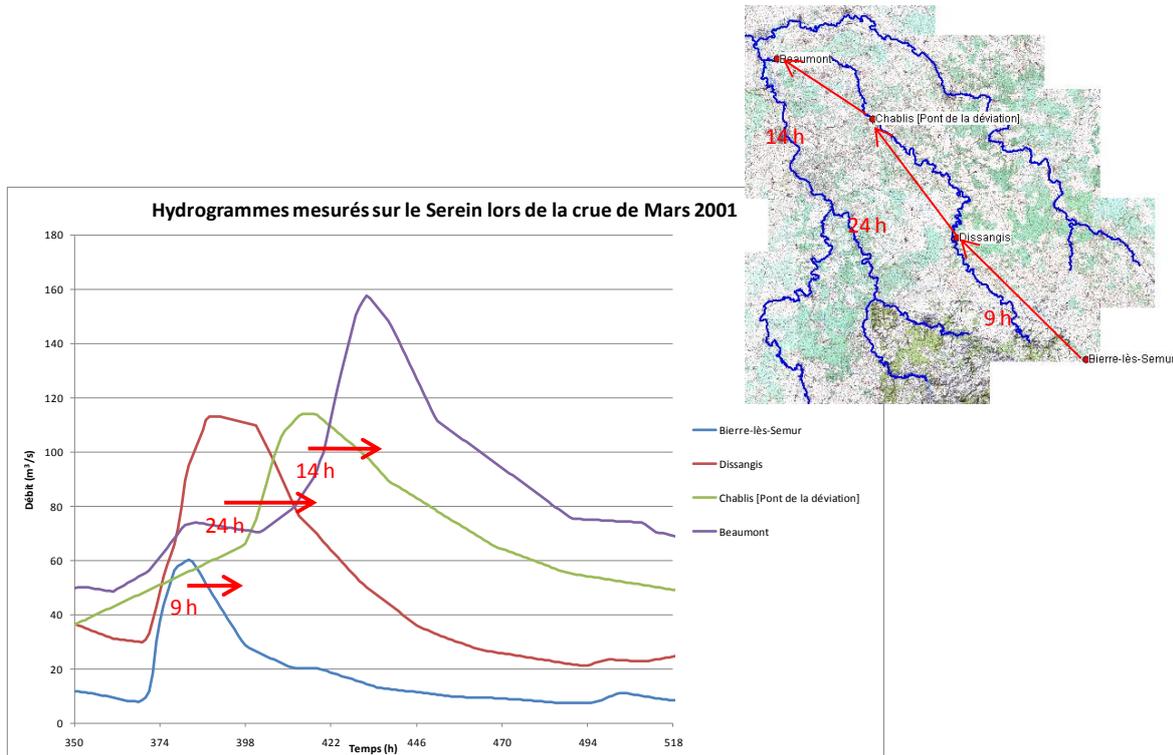
Figure 4-3 : Procédure de calcul d'un apport intermédiaire



Transfert des hydrogrammes

Le calcul de transfert de l'onde de crue le long de chaque tronçon de vallée a été effectué en translatant l'hydrogramme amont vers l'aval et en calculant pour chaque temps de translation le coefficient de corrélation entre l'hydrogramme aval et l'hydrogramme amont translaté. Le temps de transfert est alors défini par le temps de translation donnant le coefficient de corrélation le plus élevé.

Figure 4-4 : Calcul des temps de transfert par tronçon de rivière



Sur chaque tronçon de rivière on a ainsi calculé des temps de transfert moyens pour les 5 crues d'étude.

□ Sommations d'hydrogrammes

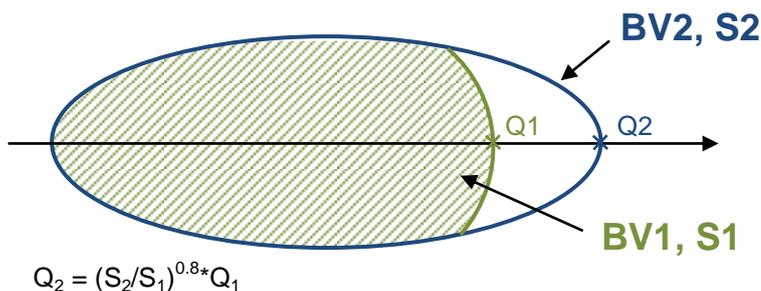
Des opérations de sommations ou différences d'hydrogrammes ont été réalisées pour calculer respectivement l'hydrogramme à l'aval d'une confluence et l'apport spécifique à un sous-bassin versant.

• Affinités d'hydrogrammes

Lorsqu'une station hydrométrique fournit des données en un point différent de l'exutoire du sous-bassin versant, une opération d'affinité de l'hydrogramme est réalisée au prorata des surfaces à la puissance 0,8.

La figure suivante illustre cette procédure :

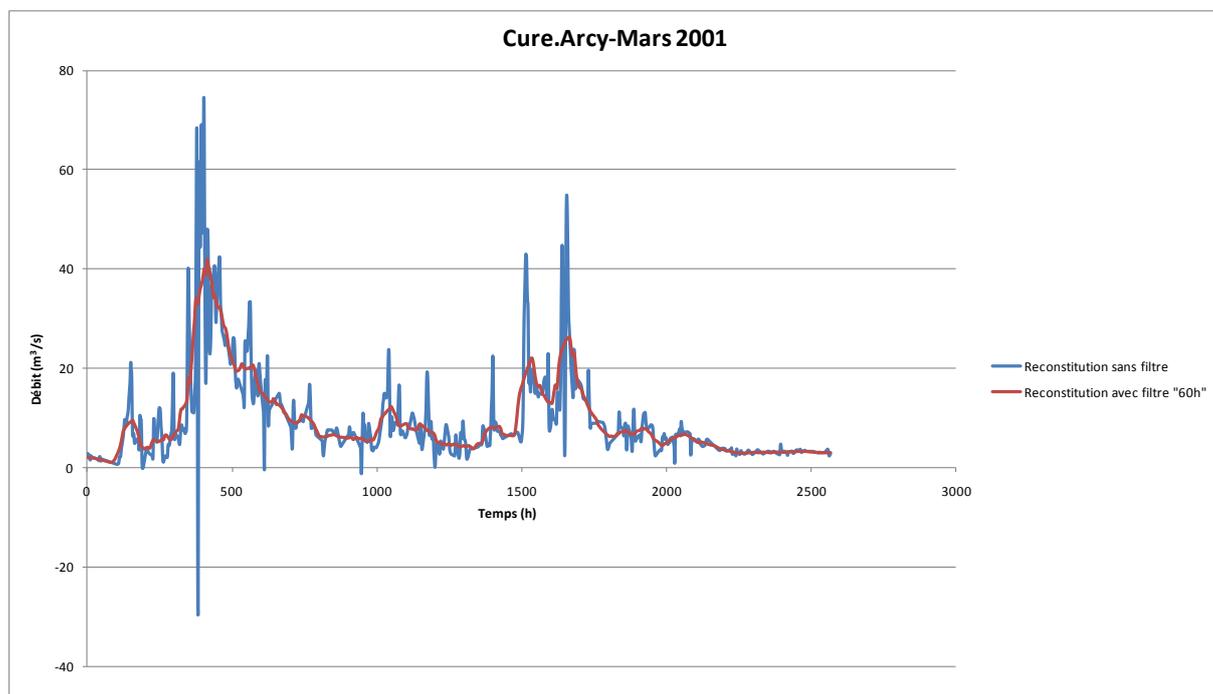
Figure 4-5 : Principe des calculs d'apports par « affinité »



La prise en compte d'un temps de transfert moyen sur les cinq événements, mais aussi la non-homogénéité de comportement des différents sous-bassins versants ont fait apparaître ponctuellement, lors du calcul de différence d'hydrogrammes, des valeurs négatives de débit. Ces valeurs négatives sont des perturbations du signal et des artefacts de la méthode choisie ici. Ils sont principalement dus au décalage du temps de début de montée de crue entre les deux hydrogrammes, ainsi qu'à la vitesse de celle-ci.

Pour palier ce problème, un filtre passe-bas a été appliqué. Son objectif est de lisser au maximum ces imperfections tout en conservant le volume d'apport de la crue.

Figure 4-6 : Exemple d'application du filtre en fréquence de type « passe-bas »



L'application de cette méthode a permis de reconstituer tous les apports par sous-bassin versant pour les trois crues de mars 1999, décembre 1999 et mars 2001. Pour les crues de décembre 1993 et janvier 1995, pour lesquelles les données hydrométriques étaient plus limitées, les apports ont été localement complétés par corrélation avec les bassins versants voisins au prorata des surfaces de contribution.

4.2.4 Caractéristiques hydrologiques du bassin amont de l'Yonne

A l'issue de ce travail sur les crues récentes, nous disposons :

- de données servant au calage des modèles Pluie-Débit d'entrée du modèle hydraulique,
- de données permettant de vérifier et éventuellement d'ajuster la qualité de propagation de l'onde de crue du modèle hydraulique,
- d'une connaissance plus précise du comportement du bassin versant. Deux propriétés importantes se dégagent en particulier de cette première analyse : elles concernent les temps de réponse et les coefficients de ruissellement :

□ Temps de montée :

Le temps de montée en un point du réseau est défini par la durée moyenne séparant un pic pluvieux et le pic de débit en ce point.

La carte ci après synthétise les temps de montée des sous bassins amont et les temps moyens de propagation des ondes de crues le long des différents tronçons de vallée :

Figure 4-7 : temps de réponse et temps de propagation en heures :



Le cumul des ces quantités donne les temps de montée moyens suivants :

- Station de Gurgy : 45 h
- Station de Beaumont : 45 h
- Station de Briennon : 55 h

Le temps de montée moyen obtenu par inspection directe des hydrogrammes observés à ces trois stations fournit l'estimation suivante :

- Station de Gurgy : 40 h
- Station de Beaumont : 45 h
- Station de Briennon : 60 h

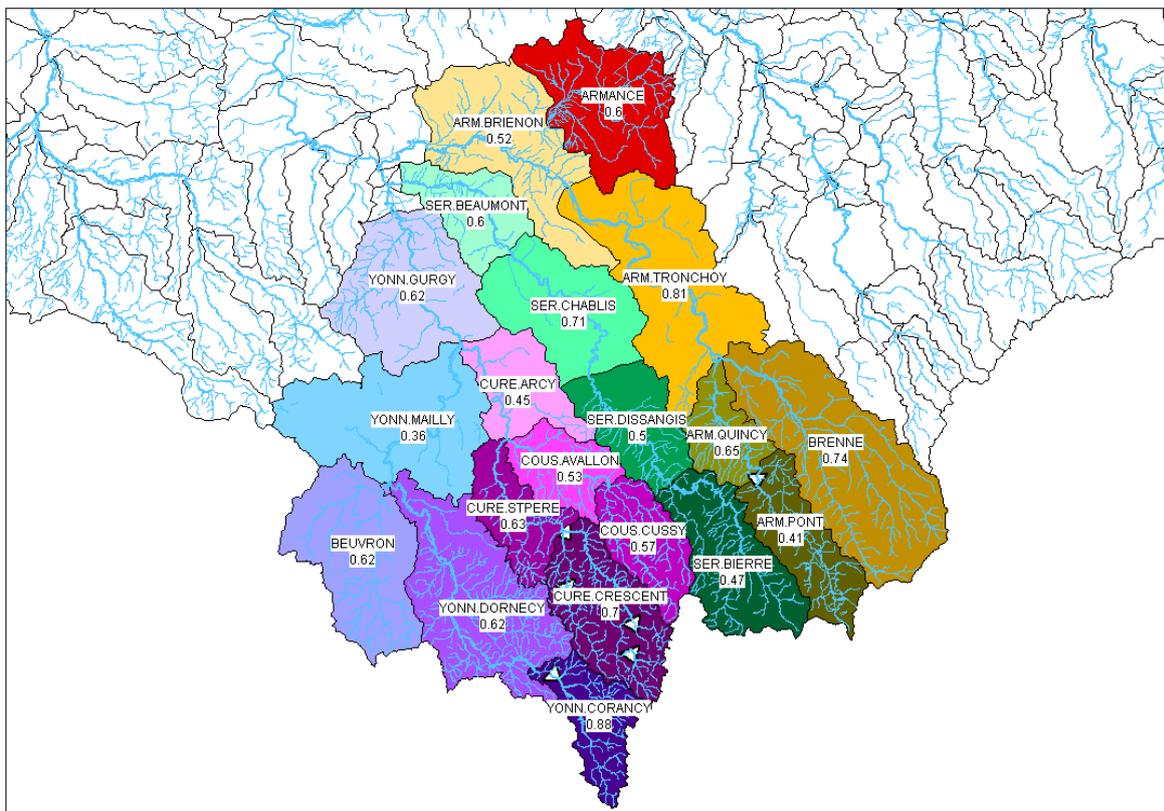
Les deux approches donnent des valeurs cohérentes. Par ailleurs le temps de propagation moyen de l'onde de crue entre Gurgy et Coulon est 24 h.

On obtient donc un temps de montée global de la crue à Courlon compris entre 64h et 69h, soit un peu moins de 3 jours ; cet ordre de grandeur est une donnée très importante à exploiter dans l'analyse à venir de gestion de l'aménagement Bassée.

□ Coefficients de ruissellement

Les coefficients de ruissellement moyen obtenus avec les trois crues de mars 1999, décembre 1999 et mars 1999 :

Figure 4-8 : Coefficients de ruissellement par sous-bassin versant estimés avec les crues de mars 1999, décembre 1999 et mars 2001



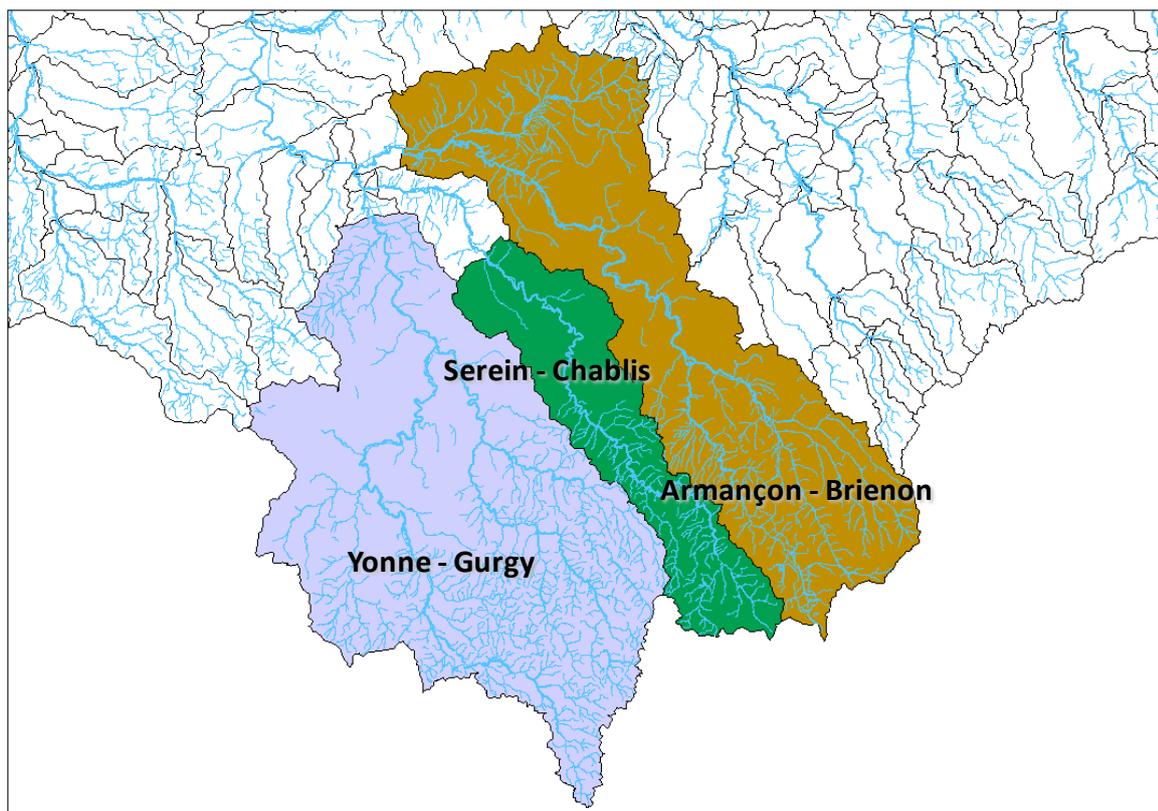
Les coefficients de ruissellement observés ci-dessus montrent que globalement le bassin versant de l'Yonne amont est très productif en ruissellement, en particulier, la partie extrême amont de l'Yonne. Par ailleurs, la production de la zone karstique intermédiaire apparaît importante pour ces trois crues. Elle ne peut être négligée, ce qui confirme la remarque faite au § 4.22.

4.3 CONSTRUCTION ET CALAGE DES MODELES PLUIE-DEBIT GLOBAUX

4.3.1 Méthode de construction retenue

La précision des données pluviométriques (journalières) couplée à la taille faible du bassin versant de l'Yonne amont nous incite à mettre en place des modèles Pluie-Débit à l'échelle globale de chaque vallée : Armançon à Brienon, Serein à Chablis, Yonne à Gurgy. La figure ci-dessous montre le découpage du bassin versant de l'Yonne amont en trois sous-bassins pour lesquels des modèles Pluie-Débit sont recherchés ; ces modèles sont baptisés : modèles globaux.

Figure 4-9 : Bassins versants globaux supports de modèles Pluie-Débit



La réponse de chacun de ces bassins à la pluie est très hétérogène de part les hétérogénéités spatiales des précipitations, mais aussi en raison de la présence d'une zone karstique conséquente au milieu du bassin versant, celle-ci ayant une réponse à la pluie différente de celle de la zone granitique.

Afin de tenir compte au mieux de cette double structure géologique, il a été choisi de décrire chaque sous bassin par deux modèles réservoirs de type Hydra-BV ayant des propriétés de réponse différentes. L'un des modèles permet de retranscrire le côté réactif et producteur de ruissellement de la zone granitique et l'autre permet de représenter les apports plus progressifs de la zone karstique. Chacun des deux modèles est associé à la surface de la zone caractéristique qu'il représente.

4.3.2 Résultats obtenus pour les crues postérieures à 1955

On dispose pour ces crues des données hydrométriques aux stations de Gurgy, Chablis et Briennon. L'annexe 1 regroupe les hydrogrammes observés et calculés à partir des données de pluie à ces trois stations. Pour chaque crue les niveaux initiaux dans les réservoirs de sols ont été déduits à partir du débit mesuré en début de crue.

L'analyse des courbes de l'annexe 1 montre généralement un bon accord entre les modèles de production et les observations aussi bien pour les débits de pointe de crues que pour les temps de montée. Plus spécifiquement :

- l'accord est excellent pour les trois crues récentes qui ont servi à caler les modèles de production, à savoir : M99, D99, M01,
- l'accord reste bon pour les crues D93, et J95.
- crue A83 : le volume de crue calculé est sous estimé à Gurgy,
- crue D82 : bon accord entre calcul et observations.
- crue J82 : le volume de crue et le débit de pointe apparaissent sous estimés à Briennon,
- crue F80 : bon accord entre calcul et observations, à noter le problème de mesures pour la station de Gurgy entre les temps 100 et 200 heures.
- Crue A78 : la première pointe est bien reproduite par le modèles, mais la seconde pointe de crue est sous estimée aux stations de Gurgy et Briennon,
- Crue F77 : le volume ruisselé apparait surestimé entre les pointes de crues principales ; par ailleurs les pointes de crues calculées et observée sont décalées pour la station de Briennon,
- Crue F70 : bon accord global, mais le modèle de production met en évidence une 4^{ème} pointe de crue vers t=1000 heures, ce que l'hydrogramme reconstitué ne montre pas. Cette pointe coïncide avec l'arrivée des ondes de crue de la petite Seine et de la Marne : elle pourrait expliquer la double pointe de l'hydrogramme observé à Paris, ce que ne montre pas l'hydrogramme propagé à partir des données reconstituées sur l'Yonne. Ce point, déjà soulevé dans le rapport d'étape 2.1, est approfondi plus loin.
- Crue J59 : accord global, mais problèmes de mesures pour la station de Briennon,

En conclusion les modèles de production construits et calés sur les trois stations aval du bassin de l'Yonne fournissent des résultats en accord avec les hydrogrammes reconstitués. On note néanmoins des écarts pour certaines crues, les stations concernées étant différentes d'une crue à l'autre. Les raisons de ces écarts peuvent être multiples : mauvaise appréciation des lames d'eau précipitées, problèmes de mesures, mauvaise appréciation des conditions initiales de sols, non prise en compte

de facteurs particuliers telles que les précipitations neigeuses ou à l'inverse le relargage du manteau neigeux, informations erronées fournies par les pluviographes.

4.3.3 Résultats obtenus pour les crues antérieures à 1950

On ne dispose pas de données hydrométriques aux stations de Gurgy, Briennon ou Chablis pour ces crues. Des hydrogrammes de crues ont été reconstitués à ces stations pour les crues analysées dans les études antérieures, mais ils ne constituent pas pour autant une référence totalement fiable en raison des approximations introduites par les méthodes de reconstitution utilisées. Chaque crue est analysée spécifiquement ci après :

- Crue J55 : la forme et la pointe de crue apparaît correctement reproduite par le modèle.
- Crue F45 : hydrologie reconstituée à partir de l'hydrogramme de Courlon dans les études antérieures. : le volume ruisselé obtenu avec le modèle de production est beaucoup plus faible que le volume reconstitué à partir des observations aux stations aval. Cet écart est imputable à la nature physique du phénomène, lié à un entrainement massif du manteau neigeux existant par suite du redoux et d'une précipitation de faible intensité mais généralisée. Le modèle de production mis en œuvre n'intègre pas ce phénomène physique, prépondérant pour cet épisode.
- Crue N44 : hydrologie reconstituée à partir de l'hydrogramme de Courlon dans les études antérieures. : les volumes ruisselés obtenus avec le modèle de production sont cohérents avec les hydrogrammes reconstitués mais ils apparaissent tout de même un peu forts ; ceci traduit peut être une estimation par excès des conditions initiales de sol en début de crue.
- Crue J24 : bon accord entre les hydrogrammes reconstitués dans les études antérieures et le modèle de production, sauf celui de Gurgy qui apparaît totalement décalé par rapport à ceux de Briennon et Chablis. Il y a là manifestement un problème de mesures pluviométriques qui a totalement faussé le calcul de production.
- Crue J19 et N10 : on ne dispose d'aucune donnée reconstituée pour ces crues. Les hydrogrammes calculés par le modèle de production sur le bassin de l'Yonne, sont reportés à l'annexe 1. Les conditions de sol ont été ajustées pour atteindre la meilleure adéquation possible avec l'hydrogramme reconstitué à la station d'Austerlitz.
- Crue J10 : les hydrogrammes calculés par le modèle de production et reconstitués dans le cadre d'études antérieures présentent certaines différences, avec notamment une différenciation beaucoup plus nette des pointes de crues avec le modèle de production. Il est difficile de savoir à ce stade quelle description est la plus proche de la réalité. Il faut pour cela propager ces hydrogrammes vers l'aval et sélectionner la solution donnant la meilleure adéquation avec les hydrogrammes reconstitués à Courlon et à Paris. Cet aspect est approfondi au chapitre 6.

De façon générale on note un bon accord entre les hydrogrammes des crues anciennes générés avec les modèles globaux de production pluie-débit et les hydrogrammes reconstitués dans les études antérieures. Ceci démontre que ces modèles, calés pour des crues récentes sont robustes et s'appliquent également aux crues majeures du 20ème siècle : J10, J24, J55. Les bons résultats obtenus montrent que le gel ou la neige ont joué un rôle secondaire dans la génération du ruissellement pour ces crues.

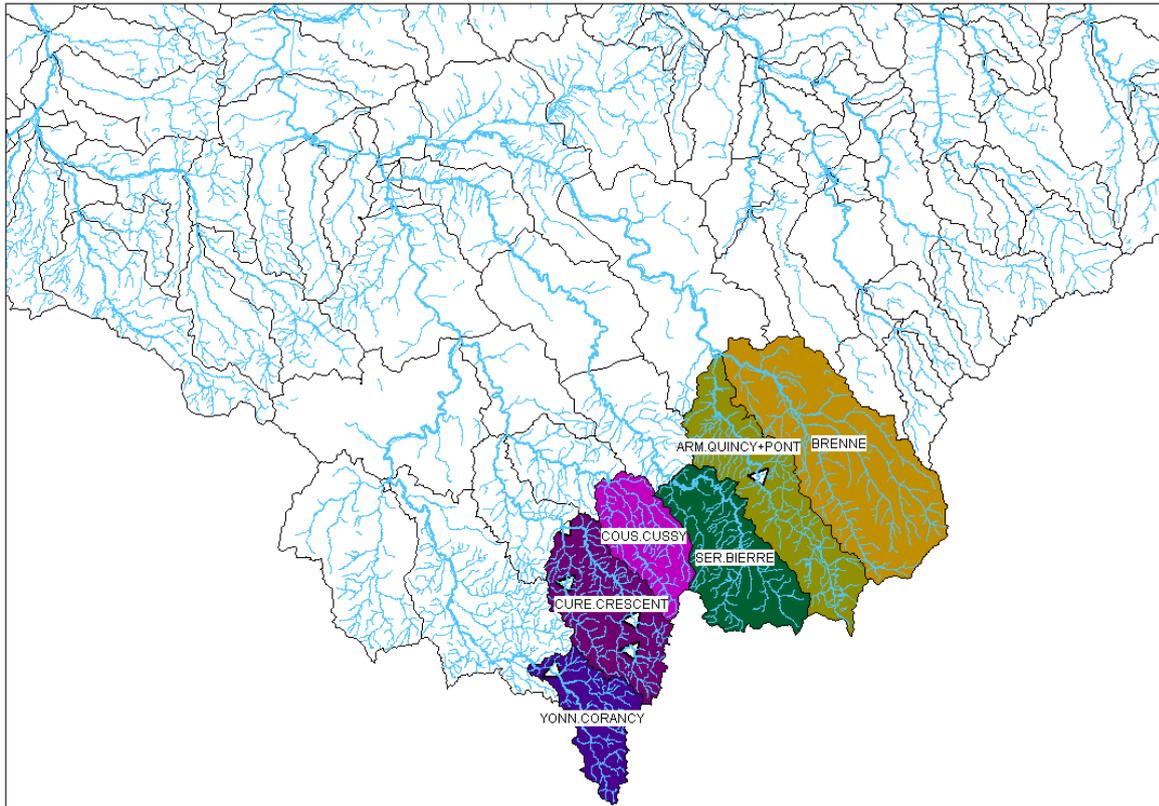
Par contre il est clair que ces modèles ne peuvent en l'état actuel simuler les effets d'entraînement du manteau neigeux (cas de la crue F45). Par ailleurs la connaissance de la nature de la précipitation (neige ou pluie) et donc de la température est indispensable pour calculer la lame d'eau moyenne précipitée.

Moyennant ces limitations les modèles de production développée sur le bassin de l'Yonne peuvent être jugés satisfaisants.

4.3.4 Modèles Pluie-Débit de tête

Des modèles Pluie-Débit ont été développés et calés en tête du bassin versant de l'Yonne afin surtout de faciliter la reconstitution de l'hydrologie des crues de l'Yonne pour les crues anciennes, pour lesquelles on ne dispose d'aucune donnée sur les bassins amont. Les BV pour lesquels des lois de production ont été calées sont délimités sur la carte ci dessous :

Figure 4-10 : Bassins versants de têtes supports de modèles Pluie-Débit



Les modèles utilisés pour ces bassins versants sont de type Hydra-BV.

Chaque modèle a été calé sur les crues récentes de M99, D99 et M01. Les résultats obtenus sont détaillés dans l'annexe 2. L'allure générale des hydrogrammes est plutôt bien reproduite mais on note également des distorsions notables sur les pointes de débits, imputables au fait que l'on a travaillé sur des lames d'eau moyennées sur 24 heures, et spatialement sur des zones pluviométriques excédant largement la taille de chacun des sous bassins. Néanmoins les ordres de grandeurs des débits calculés sont corrects et permettent de générer une hydrologie cohérente sur les secteurs amont de l'Yonne.

4.4 RECONSTITUTION DES APPORTS HYDROLOGIQUES SUR LE BASSIN DE L'YONNE POUR LES 20 CRUES HISTORIQUES

4.4.1 Démarche adoptée

Trois étapes sont nécessaires :

- Etape 1 : constitution des apports des sous bassins versants amont : les hydrogrammes sont calculés par corrélation avec des hydrogrammes mesurés à des stations voisines de l'exutoire du sous bassin ou, à défaut de mesures, avec les modèles pluie-débit décrits au § 4.3.4,
- Etape 2 : constitution des hydrogrammes aux stations aval de Gurgy, Briennon, Chablis : on sélectionne de préférence les hydrogrammes observés validés, ou les hydrogrammes des crues historiques déjà analysées et disponibles dans la bibliothèque MGLS. A défaut ces hydrogrammes sont générés à loi du modèle pluie débit. Lorsque plusieurs choix étaient possibles des simulations ont été effectuées pour analyser les hydrogrammes obtenus à Courlon et à Paris pour les crues les plus anciennes. Les hydrogrammes retenus à l'issue de cette analyse sont récapitulés ci-dessous :

Crue	Méthode de construction des hydrogrammes de Gurgy, Briennon, Chablis
J10	Modèle pluie-débit
N10	Modèle pluie-débit
J19	Modèle pluie-débit
J24	Modèle pluie-débit
N44	Bibliothèque MGLS
F45	Bibliothèque MGLS
J55	Modèle pluie-débit
J59	Modèle pluie-débit
F70	Modèle pluie-débit
F77	Données banque Hydro
A78	Données banque Hydro
F80	Données banque Hydro
J82	Données banque Hydro
D82	Données banque Hydro
A83	Données banque Hydro
D93	Données banque Hydro
J95	Données banque Hydro
M99	Données banque Hydro
D99	Données banque Hydro
M01	Données banque Hydro

Pour les hydrogrammes générés à l'aide de modèle pluie débit les conditions de sols en début d'événement ont été ajustées pour affiner la comparaison des hydrogrammes calculés et observés à la station de Paris Austerlitz. Concernant les données pluviométriques seule une correction substantielle a été apportée à la zone pluviométrique de l'Yonne pour la crue J24 pour tenir compte d'un défaut d'enregistrement de lame d'eau précipitée.

- Etape 3 : constitution des hydrogrammes des autres bassins versants intermédiaires appartenant soit à la zone karstique, soit à la zone granitique aval : le calcul des apports se fait par différence entre les hydrogrammes des stations aval et ceux des bassins versants amont globaux. La répartition de cette différence se fait au prorata des surfaces des sous-

bassins versants, en prenant en compte le temps de propagation des hydrogrammes (fonction du sous-bassin considéré). Les hydrogrammes obtenus sont lissés par filtrage.

5 RECONSTITUTION DES APPORTS DES AUTRES BASSINS

5.1 REGROUPEMENT DES APPORTS

Les apports aux modèles hydrauliques de la seine en amont de Paris (hors Yonne) sont schématisés sur la figure 5.1 ci après. Le regroupement des apports est conforme au travail réalisé dans l'étude « d'évaluation des dommages liés aux crues en région Ile de France » – août 1998. On distingue :

Le groupe des apports principaux

Ces apports figurent en couleur rouge sur le schéma. Ils sont contrôlés par une station hydrométrique DIREN ou IIBRBS. Ces stations sont récapitulées dans le tableau suivant :

Nom de l'hydrogramme	Définition
MARN.LOU	Blaise à Louvemont
MARN.SDI	Marne à Saint Dizier
SAUX.VIT	Saulx à Vitry
GDM.POM	Grand Morin à Pommeuse
AUBE.TRN	Aube à Trannes
VOIRE	Voire à Betignicourt
SEIN.BAR	Seine à Bar s/Seine
LOING	Loing à Episy
ESSONNE	Essonne à Ballancourt
ORGE	Orge à Morsang
YER.CTM	Yerres à Courtomer

□ Le groupe des apports latéraux

Ces apports figurent en couleur bleue et verte sur la figure 4.1. Les apports en couleur bleue foncée sont contrôlés par une station hydrométrique de la banque HYDRO. Pour chacun de ces apports un modèle pluie-débit (de type RSVL-BV – correspondant aux cours d'eau qui ont une réponse de type 'nappe' comme la Barbuise, la Superbe, l'Ardusson et Somme-Soude - ou SCS-BV) a été calé.

Il est à noter que pour les cas particuliers des apports intermédiaires dans la zone des lacs Seine, à savoir la Barse (station de contrôle à Montieramey) et l'Hozain (station de contrôle à Buchères), des modèles pluie-débit (de type SCS-BV) ont aussi été mis en œuvre. Ceux ci ont été calés à partir des mesures disponibles depuis 1993 sur la Barse et 1977 sur l'Hozain.

Les apports en couleur verte ne sont contrôlés par aucune station, ils sont calculés par corrélation avec un apport connu en aval d'un bassin présentant des caractéristiques similaires. Les apports en couleur bleue clair ne sont contrôlés par aucune station, ils sont calculés à l'aide du module Rat_BV (méthode rationnelle utilisée pour les bassins versants urbanisés).

Ces stations sont récapitulées ci-après.

5.2 CONSTRUCTION ET CALAGE DE MODELES DE PRODUCTION PLUIE –DEBIT

Des modèles pluie-débit ont été développés pour les apports principaux, avec un double objectif :

- reconstituer les apports des crues historiques pour lesquels aucune donnée hydrométrique n'est disponible,
- reconstituer les apports de crues synthétiques à partir des orientations de l'étude hydro climatique de phase 1.

Le tableau suivant récapitule les bassins d'apports pour lesquels une loi de production a été construite :

Sous système	Nom de l'hydrogramme	Définition
Marne	MARN.LOU	Blaise à Louvemont
	MARN.SDI	Marne à Saint Dizier
	SAUX.VIT	Saulx à Vitry
	BLAISE	Blaise à Louvemont
	GDM.POM	Grand Morin à Pommeuse
	SURMELIN	Surmelin à St Eugène
	SOUDE	Soude à Soudon
	Petite Seine	AUBE.TRN
VOIRE		Voire à Betignicourt
SEIN.BAR		Seine à Bar s/Seine
ARDUSSON		Ardusson à St Aubin
SUPERBE		Superbe à St Saturnin
BARBUISSÉ		Barbuisse à Pouan
BARSE		Barse à Montieramey
HOZAIN		Hozain à Buchères
Seine moyenne	LOING	Loing à Episy
	ESSONNE	Essonne à Ballancourt
	ORGE	Orge à Morsang
	YER.CTM	Yerres à Courtomer
Yonne aval	VANNE	Vanne à Pont

Pour chacun de ces apports un modèle pluie-débit (de type SCS-BV) a été calé à partir des mesures disponibles des crues supplémentaires listées dans les tableaux du §3.3, c'est-à-dire essentiellement les crues F80, M99, D99 et M01. Ce calage a ensuite été appliqué aux crues déjà étudiées dans le cadre de l'étude MGLS par comparaison des courbes calculées et de celles reconstituées alors.

Les comparaisons entre hydrogrammes calculés et observés/reconstitués sont détaillées dans les annexes 3, 4 et 5. Pour les crues où des mesures sont disponibles le critère de Nash (critère global d'évaluation de la qualité des débits reconstitués) est aussi précisé dans ces annexes. Quelques commentaires :

- de façon générale les calages réalisés sur les bassins Seine et Marne n'ont pas la même précision que ceux du bassin de l'Yonne, l'objectif étant pour ces bassins de compléter les hydrogrammes d'apports en l'absence de données d'observation. Plusieurs raisons expliquent la moindre qualité du calage :
 - o un modèle global production est appliqué par bassins versant. Il aurait probablement été plus pertinent de différencier les natures de sols comme pour l'Yonne,
 - o la couverture pluviométrique est beaucoup moins dense que pour l'Yonne, particulièrement sur les secteurs de la Marne amont et de la Saulx.

- les comparaisons pour juger de la qualité des modèles de production sont surtout pertinentes pour les crues de la période récente, postérieure à 1970, pour lesquelles on dispose de reconstitutions d'hydrogrammes issues d'observations. Pour la période antérieure à 1970 les hydrogrammes reconstitués sont issus des études antérieures : ils ont été généralement générés par corrélation avec d'autres hydrogrammes ou construits de façon à obtenir la meilleure adéquation possible avec les hydrogrammes mieux connus sur des stations de contrôle intermédiaires.

- Le commentaire apporté à la crue F45 sur le bassin de l'Yonne s'applique sur pratiquement tous les autres bassins : les modèles pluie débits élaborés dans la présente étude ne peuvent en aucun cas restituer les apports observés par suite du lessivage brutal du manteau neigeux, généré par la concomitance d'un fort redoux et d'un événement pluvieux.

5.3 RECONSTITUTION DES APPORTS DES SOUS BASSINS SEINE ET MARNE

Lorsque des mesures sont disponibles (et si elles sont jugées fiables) celles ci sont injectées en priorité dans le modèle (et non les apports calculés par un modèle pluie-débit).

Les apports estimés par corrélation débit-débit sont alors déduits de ces mesures. En cas d'absence de mesure, ce sont donc les valeurs calculées par le modèle pluie-débit qui sont injectées. Pour le cas particulier des apports principaux et pour les crues qui ont déjà fait l'objet d'une analyse dans l'étude MGLS, on a choisi au cas par cas d'injecter soit le calcul issu des modèles pluie-débit soit les débits reconstitués à l'époque.

6 VALIDATION DE L'HYDROLOGIE DES CRUES RECONSTITUEES

Pour chaque crue on a donc reconstitué une hydrologie complète, chacune d'elle étant définie par la connaissance de 67 hydrogrammes, répartis comme suit par sous système :

Sous système	Nombre d'hydrogrammes reconstitués
Petite Seine (PSE)	9
Yonne amont (YAM)	20
Yonne aval (YAV)	7
Seine moyenne (SME)	14
Marne (MAR)	17

Des contrôles de cohérence sont ensuite effectués sur les stations hydrométriques intermédiaires présentes sur les cours d'eau principaux et pour toutes les crues reconstituées. Ce contrôle est réalisé à l'aide des modèles hydrauliques englobant les sous systèmes YON, PSE, SME et MAR.

Pour chaque crue les règlements d'eau des lacs réservoirs ont été appliqués dans le modèle pour les ouvrages réalisés à une date antérieure à celle de la crue.

Si des divergences entre calcul et mesure sont observés, les débits injectés sont alors retravaillés, au cas par cas.

L'annexe 6 regroupe les hydrogrammes observés et calculés à la station de Paris Austerlitz, seule station pour laquelle on dispose de données hydrométriques reconstituées à partir des observations de hauteurs sur l'ensemble des 20 crues.

L'examen de ces graphes montre une bonne adéquation générale entre le calcul et l'observation. Plus précisément :

- Les comparaisons sont bonnes pour les trois grandes crues historiques du 20^{ème} siècle : J10, J24 et J55, tant sur la forme générale des hydrogrammes (temps de montée, décrue) que sur les écarts sur les débits (inférieurs à 50 m³/s) et sur le déphasage de la pointe de crue à Paris (inférieures à 20 heures) ; on rappelle que l'hydrogramme calculé à Paris résulte d'une hydrologie sur l'Yonne totalement générée à partir de la pluie, ce qui démontre à posteriori la validité du modèle de production élaboré pour le bassin de l'Yonne. Le tableau ci-dessus récapitule pour chaque crue les débits maxima obtenus par le calcul aux stations de contrôle intermédiaires de Bazoches, Courlon et Noisiel, plus Paris Austerlitz :

Débits de pointe calculés aux principales stations du bassin de la Seine (m³/s)				
Crue	Courlon (Yonne)	Bazoches (Petite Seine)	Noisiel (Marne)	Paris
J10	1040	670	770	2440
J24	760	680	700	2110
J55	790	680	770	2110

Ces valeurs diffèrent légèrement des débits trouvés dans les études antérieures (notamment l'étude des dommages liés aux crues en RIF) mais les écarts relatifs restent inférieurs à 5%. Elles sont cohérentes avec les reconstitutions de débits faites à partir des observations disponibles des hauteurs d'échelles ; On note en particulier que :

- La crue J10 a été exceptionnelle sur le bassin de l'Yonne,
- Les trois crues ont été d'importance comparable sur la partie aval de la Petite Seine ; dans le secteur de Troyes cependant les débits de crue de janvier 1910 ont été exceptionnels,
- Les crues J10 et J55 sont d'égale importance sur la Marne, la crue J24 a été un peu plus faible,
- A Paris, le débit de pointe trouvée pour J10 est 240 m³/s (contre 2000 m³/s dans les études antérieures), les débits maxima pour J24 et J55 sont équivalents et tournent autour de 2100 m³/s.

Cette nouvelle analyse, basée sur la reconstitution hydrologique des débits de crue de la Seine en amont de Paris confirme par ailleurs que le débit de crue de janvier 1910 n'a pas dépassé 2500 m³/s à Paris, il est estimé au mieux à 2450 m³/s avec une marge d'incertitude de plus ou moins 50 m³/s.

- Les comparaisons restent correctes pour les crues anciennes totalement générées à partir des lois de production pluie-débit : crues N10, J19, J59. Les crues J44 et F45 sont également bien reproduites, le débit calculé à Paris pour F95 est néanmoins un peu fort,
- On note enfin agrément généralement bon entre le calcul et les observations pour les crues postérieures à 1970. Des distorsions subsistent pour certaines crues, telles que : F70, F80, A83. Compte tenu de leur exploitation dans la suite de l'étude il n'a pas été jugé nécessaire d'affiner l'hydrologie pour ces crues. Notons par ailleurs que certaines distorsions sont imputables aux différences entre les règles de gestion théorique appliquées dans les simulations aux lacs réservoirs et le gestions en vigueur lors de la crue.

7 CONCLUSIONS

Le travail de reconstitution hydrologique présenté dans ce rapport permet maintenant de disposer d'une base de référence hydrologique solide et représentative de la diversité typologique des crues susceptibles de toucher le bassin de la Seine.

Ce panel de crues doit servir dans la phase 2.3 à mettre au point une gestion de référence de l'aménagement Bassée et préciser les gains que l'on peut escompter selon la typologie de la crue testée.