



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

Phase 1 - Etude hydrologique

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 : janvier 2011
Version V9

Sommaire

1	INTRODUCTION	3
2	DONNEES DE BASE.....	4
2.1	DONNEES PLUVIOMETRIQUES	4
2.2	TEMPERATURE.....	8
2.3	DEBITS	10
2.4	CARTES DE PRESSION AU SOL	12
2.5	DEBITS JOURNALIERS DE LA LOIRE A BLOIS/GIVRY ET MONTJEAN	12
2.6	BULLETIN METEOROLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE DU SERVICE HYDROMETRIQUE DU BASSIN DE LA SEINE	12
3	CHOIX DES CRUES D'ETUDES.....	13
4	PARAMETRES ANALYSES POUR L'ETUDE DES CRUES.....	15
4.1	TYPE D'EVENEMENT METEOROLOGIQUE.....	15
4.2	EPISODE PLUVIEUX PREPARATOIRE	17
4.3	EPISODE PLUVIEUX INTENSE	19
4.4	TEMPERATURE, NEIGE ET GEL.....	19
4.5	DEBITS DANS LES COURS D'EAU	20
5	SYNTHESE	22
5.1	CARACTERISTIQUES GENERALES	22
5.2	TABLEAU DE SYNTHESE	23
6	SELECTION D'UN PANEL DE CRUES HISTORIQUES	35
6.1	CRITERES DE SELECTION	35
6.2	CLASSIFICATION DES CRUES.....	36
6.3	LISTE DES CRUES PAR FAMILLE D'EVENEMENTS METEOROLOGIQUES	38
6.3.1	<i>Crue d'automne</i>	40
6.3.2	<i>Crues d'hiver</i>	41
6.3.3	<i>Crue de Printemps</i>	44
6.4	SELECTION DU PANEL DE CRUES HISTORIQUES ET JUSTIFICATION.....	45
7	BASE METHODOLOGIQUE POUR LA CONSTRUCTION DE CRUES SYNTHETIQUES.....	49
7.1	OBJECTIFS	49
7.2	LES MECANISMES SOUS JACENTS DE FORMATION DES CRUES DU BASSIN DE LA SEINE A PARIS	49
7.2.1	<i>Episode de crue simple</i>	49
7.2.2	<i>Episode de crue multiple</i>	52
7.2.3	<i>Durées caractéristiques des séquences pluvieuses</i>	53
7.3	SELECTION DES VARIABLES EXPLICATIVES	55
7.4	ANALYSE DES PROPRIETES STATISTIQUES DES VARIABLES PRIMAIRES	56

7.4.1	<i>Variables H1 et H3</i>	56
7.4.2	<i>Rang d'apparition de l'épisode H1</i>	62
7.4.3	<i>Caractérisation de la variable Q_0</i>	63
7.4.4	<i>Analyse de corrélation entre les variables H1 et H3</i>	66
7.4.5	<i>Homogénéité spatiale des perturbations pluviométriques</i>	67
7.5	CONSTITUTION D'UNE FAMILLE D'ÉVÉNEMENTS DE CRUES SYNTHÉTIQUES	70
7.5.1	<i>Sélection d'un jeu minimal de paramètres primaires</i>	70
7.5.2	<i>Construction d'événements hydrologiques équiprobables : méthode des courbes enveloppes</i>	72
7.6	CONCLUSIONS.....	75
8	SYNTHÈSE	75

Annexe jointe :

Descriptif succinct des crues historiques retenues pour l'étude de gestion de la Bassée

Annexes (documents séparés) :

Annexe 1 : typologies des crues

Annexe 2 : données de précipitations

Annexe 3 : données de température

Annexe 4 : hydrogrammes sur le bassin de la Seine

Annexe 5 : hydrogrammes sur le bassin de l'Yonne

Annexe 6: hydrogrammes sur le bassin de la Loire

1 INTRODUCTION

Le présent rapport regroupe les résultats de la phase 1 de l'étude complémentaire pour l'optimisation de la gestion de l'ouvrage de la Bassée, consacrée à l'analyse hydrologique.

La phase 1 repose sur un examen détaillé des caractéristiques hydrométéorologiques des crues historiques marquantes du bassin de la Seine sur la période 1866 – 2010, comprenant :

- Une analyse météorologique et pluviométrique : signature de la perturbation atmosphérique à l'origine des crues, conditions de sols en début de crue, structure spatio-temporelle des événements pluvieux, influence de la neige et du gel sur le ruissellement.
- Une analyse des caractéristiques des hydrogrammes générés : réponse des bassins aux épisodes pluvieux, temps de réponse et de propagation, concomitance des ondes de crues en provenance des principaux sous bassins d'apport.

Cet examen vise à établir une typologie des crues du bassin de la Seine, afin de déboucher sur la sélection d'un panel d'une vingtaine de crues reflétant la diversité des situations hydrologiques des crues du bassin de la Seine. Ces crues seront ensuite reconstituées et exploitées dans la phase 2 consacrée à l'étude de gestion des ouvrages.

Les chapitres 2 à 5 sont consacrés à une analyse détaillée des crues historiques et à la caractérisation des paramètres servant à les qualifier. Celle-ci débouche au chapitre 6 sur la sélection argumentée d'un panel de crues historiques de typologie contrastée pour nourrir les tests de gestion prévus en phase 2,

Le chapitre 7 exploite les paramètres constitutifs de chaque crue afin de préciser les propriétés statistiques des principaux facteurs explicatifs de la genèse des crues du bassin de la Seine et des aléas qui en découlent. On bâtit dans ce chapitre un cadre théorique pour générer et qualifier statistiquement des événements hydrologiques synthétiques, en complément du panel de crues historiques sélectionnées.

2 DONNEES DE BASE

2.1 DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès de plusieurs sources :

➤ ACRI

Le bureau d'études ACRI a réalisé l'« Etude des phénomènes météorologiques océaniques et méditerranéens interagissant sur la génération des crues exceptionnelles du bassin de la Seine en amont de Paris ».

Dans le cadre de cette étude des données de pluie journalière ont été recueillies sur le bassin de la Seine, et ce sur 21 postes du réseau Météo France.

Dans le cadre de la présente étude, ces données ont été réutilisées. La date de disponibilité de ces stations est récapitulée ci-après.

Nom de la station	Département	Début de la série	Code INSEE	Périodes disponibles
Ampilly le sec	Côte d'or	1863	21012001	1925 à 2004
Baigneux Les Juifs	Côte d'or	1858	21043001	1877 - 1880 + 1921 à 2004
Bar s/Seine	Aube	1891	10034001 +2+3+4	1875 - 1930 + 1943 - 1948 + 1950 à 2004
Château Chinon	Nièvre	1936	58062001+2	1872 - 1936 + 1945 à 2004
Chateauvillain	Haute Marne	1933	52114001	1933 - 1939 + 1942 à 2004
Chatillon-Coligny	Loiret	1894	45085001	1921 - 1922 + 1928 - 1939 + 1946 à 2004
Châtillon s/Marne	Marne	1930	51136001	1931 - 1934 + 1950 à 2004
Clamecy	Nièvre	1851	58079001+3+4	1872 - 1926 + 1928 - 1933 + 1935 - 1939 + 1949 - 1951 + 1954 à 2004
Corbigny	Nièvre	1893	58083001	1950 - 1994
Fagnières	Marne	1931	51242001	1950 - 1952 + 1954 à 2004
Grobois	Côte d'or	1850	2131001	1872 à 2004
Joigny	Yonne	1853	89206001+4	1872 - 1922 + 1924 - 1939 + 1941 à 2004
Langres	Haute Marne	1937	52269001+2+3+4	1872 - 1881 + 1889 - 1914 + 1921 - 1939 + 1946 à 2004
Montbard	Côte d'or	1876	21425001	1873 à 2004
Saint Maur des Fossés	Val de Marne	1874	94068001+2	1872 - 1921 + 1936 - 1940 + 1950 à 2004
Receys/Ource	Côte d'or	1872	21519001	1921 à 2004
Romillys/Seine	Aube	1881	10323001+2	1882 - 1884 + 1889 - 1939 + 1945 à 2004
Saint Dizier	Haute Marne	1921	52448001+2+3	1872 - 1875 + 1929 - 1930 + 1933 - 1939 + 1954 à 2004
Saulieu	Côte d'or	1850	21584001	1872 à 2004
St Mards en Othe	Aube	1958	10035001	1934 - 1935 + 1958 à 2004
Vendreuve s/Barse	Aube	1891	10401001+2+3	1873 à 2004

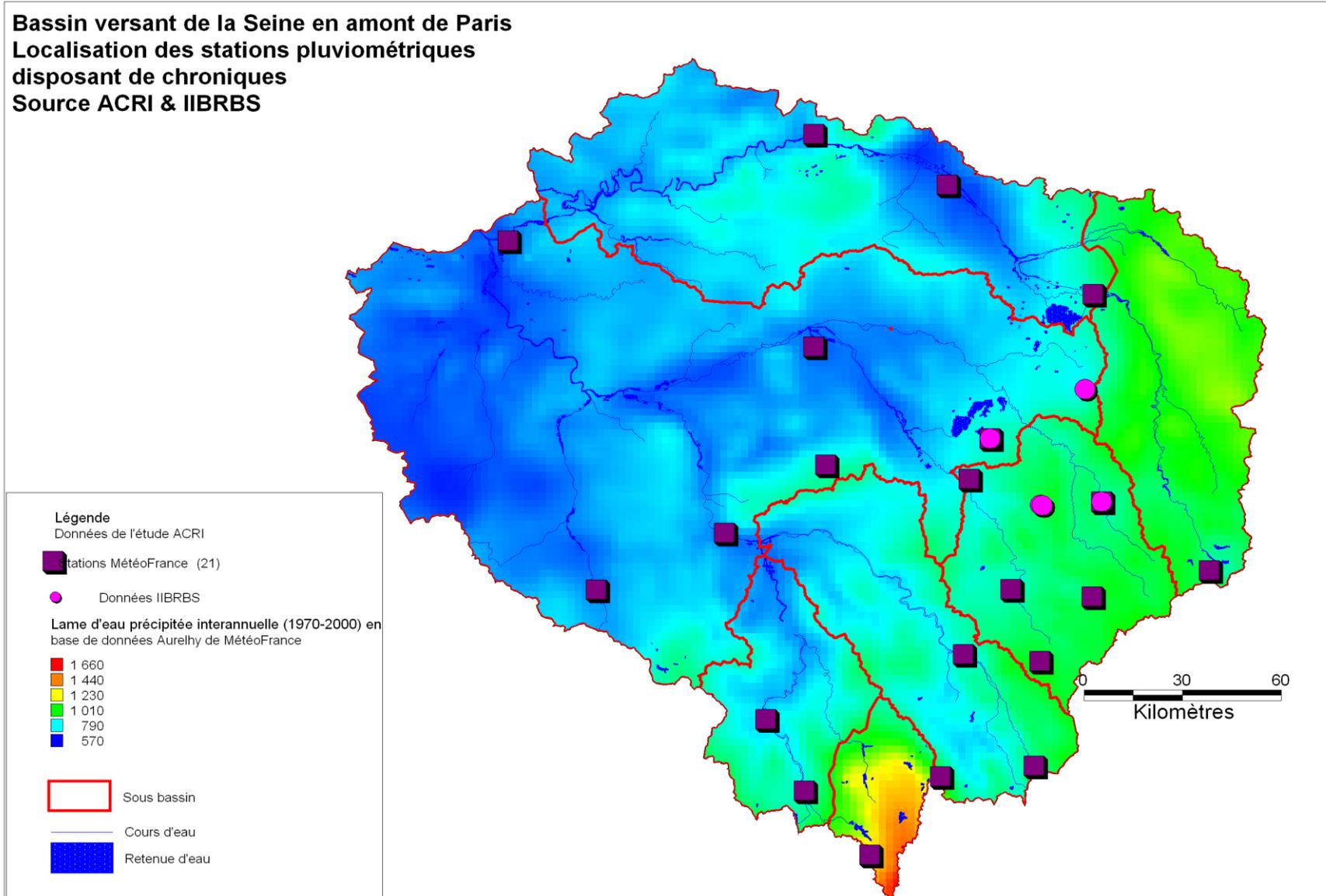
➤ IIBRBS

L'IIBRBS a recueilli des chroniques de pluies journalières sur 4 postes, à savoir :

Code	Nom	Périodes disponibles
52057001	Blumeray	1950 - 2003
52114001	Chateauvillain	1933 - 2003
10119001 + 2	Cunfin	1908 - 2003
10401001	Vendeuvre/Barse	1891 - 2003

La localisation des stations disposant de données continues (ACRI et IIBRBS) est donnée sur la carte présentée ci-après.

Figure 2-1 : Localisation des stations pluviométriques disposant de chroniques – Source ACRI & IIBRBS



LA carte ci-dessus 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).

En plus de ces chroniques de pluies journalières, des données sur de nombreux postes des départements 10, 45, 52, 58, 77, 89 sont disponibles ponctuellement sur les périodes :

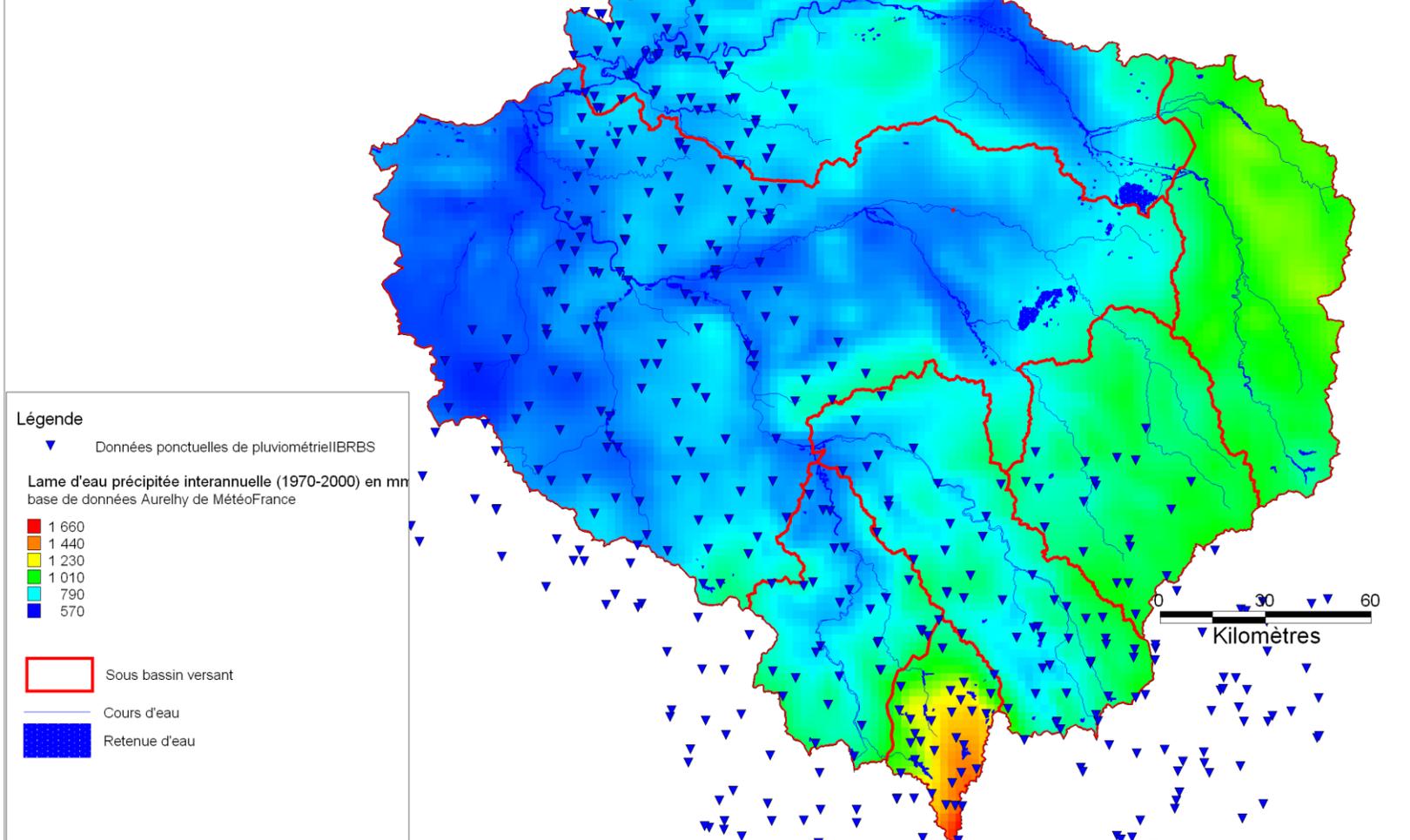
- 01/09/1977 au 30/04/1978
- 01/09/1981 au 31/01/1982
- 01/09/1982 au 30/01/1983
- 01/09/1993 au 30/04/1994
- 01/09/1994 au 31/09/1995
- 01/09/2000 au 30/04/2001.

Ces stations sont localisées sur la figure 2.

Ponctuellement, des données complémentaires ont pu être recueillies. C'est le cas de la crue de février 1941. Des données de pluie journalière ont été commandées pour cette crue auprès de Météo France sur les postes de Montsauche (58180001) situé sur la zone Yonne amont et l'Isle sur le Serein (89204001) situé sur la zone Armançon/Serein, à proximité de la zone Yonne moyenne. En effet il n'y avait pas de données de pluie disponibles pour cette crue sur la zone Yonne amont à partir des stations présentes dans la base de données ACRI et IIBRBS.

Figure 2-2 : Localisation des stations pluviométriques disposant de données ponctuelles – Source IIBRBS

**Bassin versant de la Seine en amont de Paris
Localisation des stations pluviométriques
disposant de données ponctuelles de pluviométries
toutes années confondues
Source IIBRBS**



2.2 TEMPERATURE

Des données de température minimales et maximales journalières sont disponibles auprès de l'ECA&D (European Climate Assessment & Dataset) sur le poste de Paris et ce sur la période 1900 à 2010.

Afin de compléter ces informations sur le bassin de l'Yonne, des données de température (minimales et maximales) ont aussi été recueillies auprès de Météo France. Suivant la disponibilité des données, les stations où des données de température ont été recueillies sont :

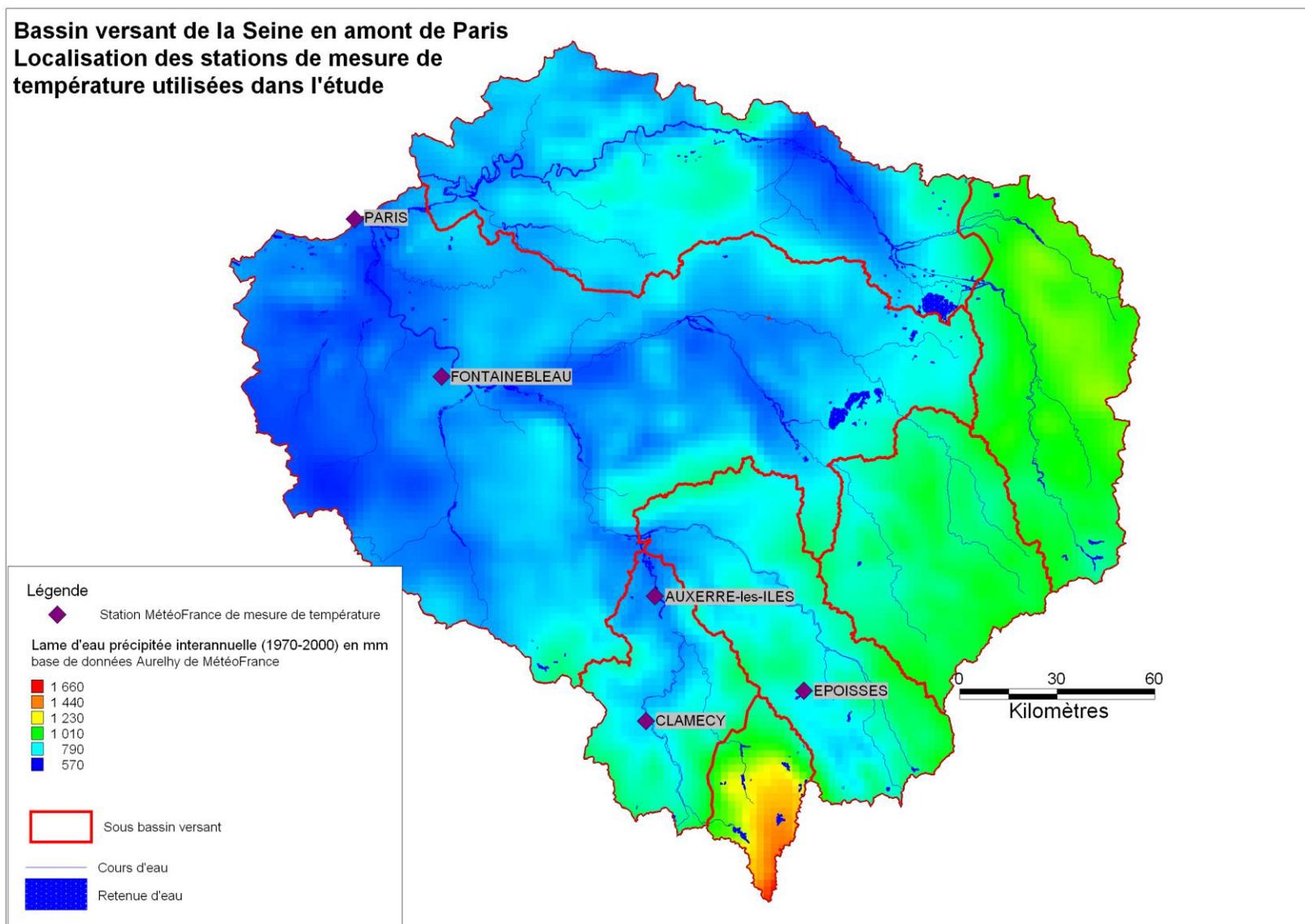
- Epoisses (21247001) de 1912 à 1923.
- Auxerre-les-Iles (8902404) de 1945 à 1951.
- Fontainebleau (77186001) de 1945 à 1961.
- Clamecy (58079001) de 1961 à nos jours.

Pour les événements historiques, le plus souvent, seules les températures à Paris sont disponibles (Paris est située à l'aval du bassin versant).

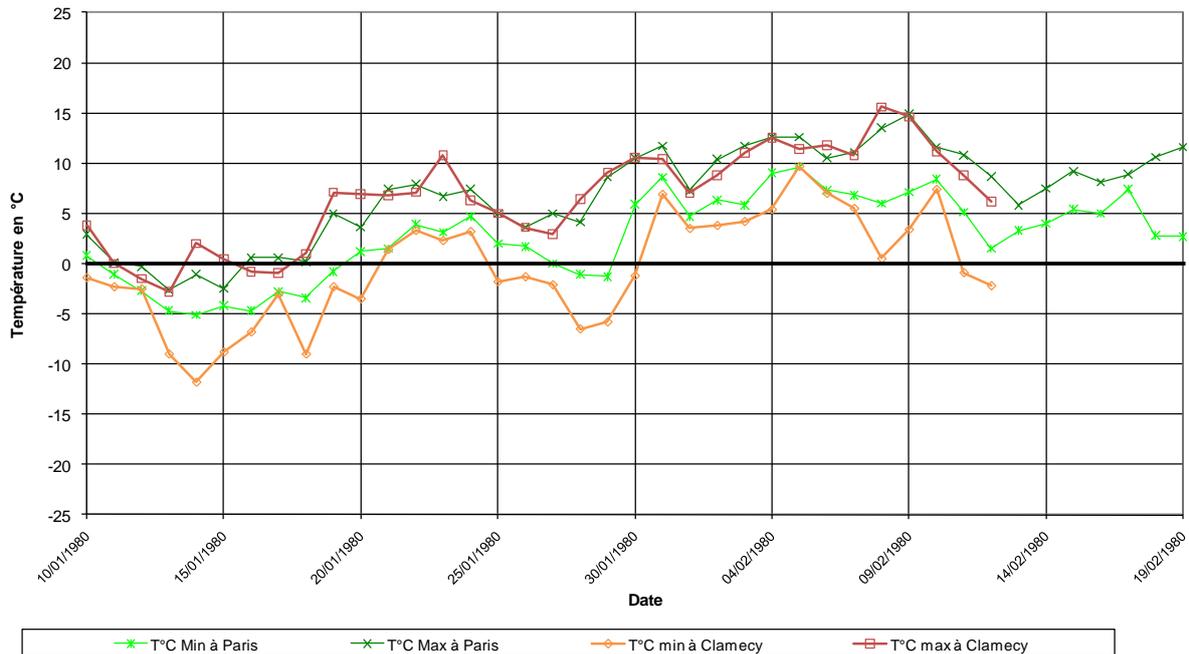
D'après l'analyse des courbes de température des événements récents (où des mesures sont disponibles sur l'amont du bassin de l'Yonne), il apparaît que les tendances (réchauffement, refroidissement) des températures mesurées à Paris sont les mêmes que celles constatées plus à l'amont sur le bassin versant. Les températures minimales à l'amont sont quasi-systématiquement inférieures de quelques degrés à celles enregistrées à Paris.

Un exemple de courbe de température est donné ci-après.

Figure 2-3 : location des stations Météo France de mesure de température utilisées pour l'étude



Températures - crue de février 1980



Les tendances de température (réchauffement, refroidissement) à Paris et Clamecy sont les mêmes. Les températures minimales à Clamecy sont quasi-systématiquement inférieures à celles de Paris de quelques degrés.

2.3 DEBITS

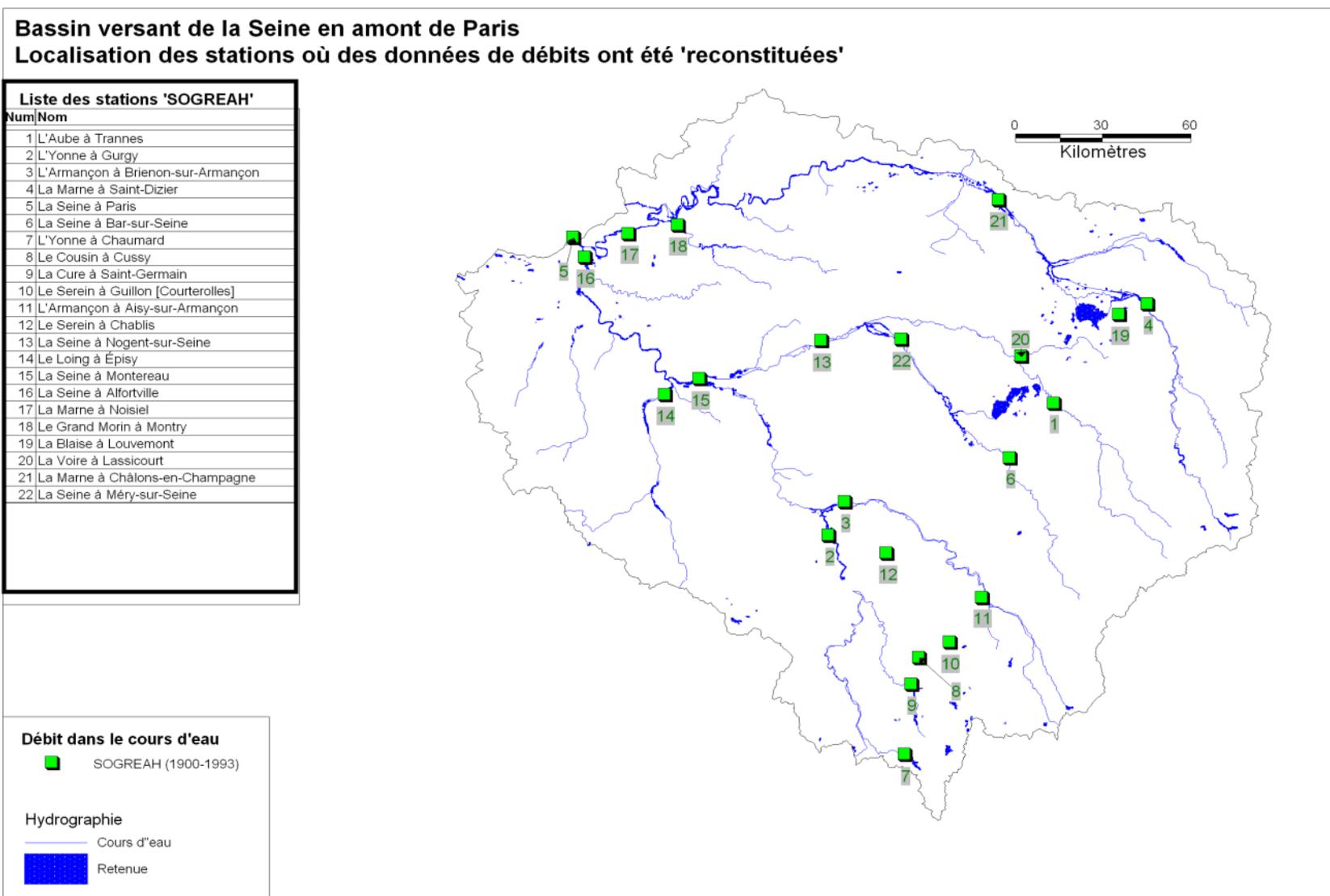
Des chroniques de débits journaliers non influencés ont été réalisées par SOGREAH dans le cadre de l'étude « Outil d'aide à la programmation des barrages-réservoirs du bassin de la Seine ». Ces données sont disponibles de 1900 à 1993.

La carte présentée ci-après localise les stations pour lesquelles ces données de débit sont disponibles. Pour la période la plus récente les données de débits journaliers ont été recueillies auprès de la Banque Hydro.

Il est aussi à noter que des débits de la Seine à Paris ont été recueillis auprès de la Banque Hydro sur la période 1885-1900.

Remarque importante : les débits reconstitués par Sogréah présentent une cohérence spatiale satisfaisante lorsqu'ils sont moyennés sur plusieurs jours. Ils accusent cependant des écarts par fois importants avec les débits de pointe journaliers reconstitués par des méthodes plus précises : les débits de crues indiqués par cette chronique fournissent donc un ordre de grandeur mais ils ne peuvent être exploités en l'état pour des analyses spécifiques de phénomènes de crues.

Figure 2-4 : Localisation des stations où des débits journaliers ont été reconstitués



2.4 CARTES DE PRESSION AU SOL

Sur le site internet www.wetterzentrale.de , les cartes de pression au sol journalière sont disponibles depuis 1880.

Ces cartes permettent d'analyser la situation météorologique à l'origine de l'événement de crue.

2.5 DEBITS JOURNALIERS DE LA LOIRE A BLOIS/GIVRY ET MONTJEAN

Les débits journaliers de la Loire amont à Blois/Givry et de la Loire aval à Montjean ont été tracés sur la période 1863 à 2009. Ces débits ont été récupérés par Hydratec dans le cadre de « l'Etude de l'aléa hydraulique sur les lignes d'eau de l'estuaire de la Loire » - 2010

Avec les cartes de pression, ces données permettent d'analyser la situation météorologique à l'origine de l'événement de crue.

2.6 BULLETIN METEOROLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE DU SERVICE HYDROMETRIQUE DU BASSIN DE LA SEINE

Sur la période 1868 à 1913 des bulletins météorologiques et hydrométriques sur le bassin de la Seine étaient tenus à jour. Ces bulletins disposent de données assez détaillées sur les conditions météorologiques à l'origine des crues et sur les niveaux atteints dans les cours d'eau. Ces documents font aussi mention de courbes de tarage qui étaient utilisées à l'époque. Cers dernières ont été utilisées pour transformer les données de hauteurs d'eau en débit. C'est la seule source d'informations hydrométriques qui a été utilisées pour les crues antérieures à 1900.

Pour les crues comprises entre 1900 et 1913, ces bulletins ont été consultés afin de préciser les éléments obtenus par ailleurs.

3 CHOIX DES CRUES D'ETUDES

Le tableau page suivante récapitule les événements de crues caractéristiques recensés sur le bassin de la Seine en amont de Paris entre 1876 et 2009, couvrant une période historique de plus de 130 ans. Ces événements ont été sélectionnés comme suit :

- Recensement des débits naturels maxima annuels reconstitués sur les cours d'eau de l'Yonne aval (Courçon), Seine moyenne (Melun), Marne aval (Noisiel) et Seine aval (Paris), à partir du travail réalisé dans l'étude « d'évaluation des dommages liés aux crues en région Ile de France » - Hydratec – 1998 (appelée ci-après étude MRIF), et des données complémentaires de la Banque Hydro pour la période récente 1996-2009. La Petite Seine a été écartée de ce premier recensement car la série de données disponibles reconstituée présentait des lacunes sur la période considérée (elle est toutefois incluse implicitement par la double prise en compte de la Seine moyenne et de l'Yonne aval)
- Application d'un filtre bas sur les débits de façon à ne conserver que les années pour lesquels la période de retour annuel du débit de crue est supérieur à 3 ans pour au moins une des stations ci-dessus.

On dispose ainsi d'une première sélection de 74 années hydrologiques caractérisées par au moins un événement de crue marquant sur une des vallées. L'indice « cumuls » du tableau 2.1 permet de préciser que :

- 32 années hydrologiques ont connu des événements marquants sur les 4 vallées,
- 13 années hydrologiques ont connu des événements marquants sur 3 vallées,
- 11 années hydrologiques ont connu des événements marquants sur 2 vallées,
- 18 années hydrologiques ont connu des événements marquants sur une seule vallée.

Cette classification fournit une première liste d'années hydrologiques qu'il est intéressant de considérer comme base d'analyse. On propose de restreindre l'analyse à une cinquantaine d'années hydrologiques, comprenant les années avec des indices de cumuls 4 et 3, en ajoutant à cette liste :

- 4 années postérieures à 1900 avec des indices de cumul 2, dont 3 sont associées à des crues du bassin de l'Yonne, à savoir : janvier 1912, Avril 1922, novembre 1924 (pas de crue sur l'Yonne), et Décembre 1966.
- 4 années postérieures à 1900 avec des indices de cumul 1, dont 3 associées à des crues du bassin de l'Yonne, à savoir : Avril 1915, Janvier 1948 (pas de crue sur l'Yonne), Janvier 1962 et Décembre 1968.

Au total, ce sont 68 crues (une année hydrologique peut contenir plusieurs crues) qui seront analysées pour réaliser la typologie des crues.

Figure 3-1 : Sélection des années de crues significatives sur le bassin de la Seine en amont de Paris sur la période 1876 à 2009

Année hydrologique (novembre à avril)	Mois	Indice cumuls	Courlon (Q>500 m ³ /s)	Noisiel (Q>450 m ³ /s)	Melun (Q>850 m ³ /s)	Paris (Q>1200 m ³ /s)
1876	M76	4	770	717	1230	1808
1883	D82-J83	4	720	683	1166	1686
1886	S85-D85	4	629	550	1142	1493
1897	N86	4	822	588	1190	1493
1910	J10	4	1100	850	1600	2400
1916	F16	4	622	476	866	1238
1919	J19	4	786	599	1200	1647
1920	J20	4	679	742	1190	1810
1923	M23	4	607	498	1021	1409
1924	J24	4	800	745	1350	2100
1926	D25	4	698	776	1013	1654
1931	N30-M31	4	629	640	1184	1685
1940	N39	4	732	454	1182	1437
1941	F41	4	613	629	1226	1630
1945	F45	4	735	766	1332	1990
1955	J55	4	800	830	1350	2120
1958	D57-F58	4	533	667	1029	1500
1959	J59	4	568	565	1230	1700
1966	D65-J66	4	709	510	860	1430
1968	J68	4	678	575	905	1580
1970	F70	4	685	600	1140	1700
1977	F77	4	560	480	1010	1480
1978	F78-M78	4	520	550	1110	1700
1980	F80	4	574	590	1000	1450
1981	J81	4	508	464	935	1330
1982	J82	4	751	520	1300	1800
1983	D82-A83	4	678	650	1105	1680
1988	F88	4	520	548	1160	1600
1994	D93-J94	4	587	608	960	1500
1995	J95	4	576	604	910	1500
2000	D99	4	543	505	1030	1480
2001	M01	4	692	545	1050	1510
1877	M77	3	707	546	839	1373
1879	F79	3	607	373	977	1500
1889	F89	3	754	507	760	1548
1906	M06	3	660	461	925	1141
1911	N10	3	851	417	1180	1605
1914	M14	3	594	420	985	1267
1917	J17	3	559	418	941	1241
1928	F28	3	522	463	898	1151
1936	J36	3	462	470	898	1231
1937	F37	3	500	564	965	1448
1953	D52	3	637	520	850	1346
1957	F57	3	773	373	1114	1300
1999	M99	3	601	428	963	1300
1880	J80	2	481	465	744	1493
1881	J81	2	481	578	791	1307
1896	M96	2	534	498	775	1132
1912	J12	2	635	417	1021	1181
1922	A22	2	512	293	862	1024
1925	N24	2	346	750	827	1230
1967	D66	2	513	515	645	1040
1979	F79	2	434	546	836	1275
1984	F84	2	485	564	880	1190
1991	N90-J91	2	334	550	639	1220
2002	J02	2	451	498	856	1190
1885	M85	1	500	391	854	1072
1887	J87	1	519	325	748	892
1888	M88	1	456	381	929	1012
1892	F92	1	597	388	756	1042
1901	A01	1	522	300	659	952
1904	F04	1	503	376	803	1072
1908	M08	1	437	359	874	1084
1915	A15	1	666	395	850	1012
1948	J48	1	368	603	620	1118
1961	F61	1	569	404	791	1050
1962	J62	1	621	350	752	865
1969	D68	1	621	258	575	760
1989	D88-A89	1	361	481	478	834
1990	F90	1	334	540	434	732
1998	M98	1	589	351	833	1030
2003	J03	1	475	383	885	1200
2004	J04	1	540	330	767	1090
2006	M06	1	572	250	829	1010

4 PARAMETRES ANALYSES POUR L'ETUDE DES CRUES

Pour chacune des années hydrologiques retenues, on a identifié les événements de crue significatifs (une année hydrologique peut en effet être marquée par plusieurs événements distincts) et une analyse par crue a été menée. Cette analyse repose sur les paramètres décrits ci-après.

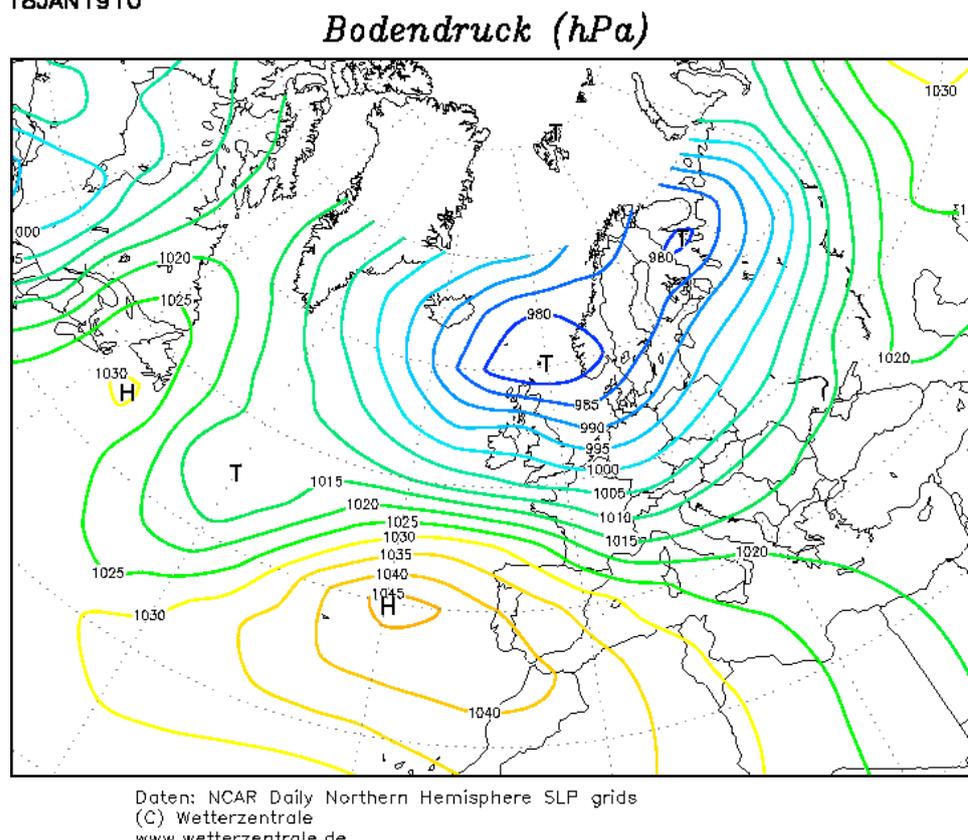
4.1 TYPE D'EVENEMENT METEOROLOGIQUE

Le type d'événement météorologique à l'origine de la crue est étudié à partir des cartes de pression aux sols et de l'allure deshydrogrammes de la Loire amont et aval.

- Cartes de pression au sol

Un exemple de carte de pression au sol est donné ci-après.

18JAN1910



Les symboles « T » mentionnés sur la carte localisent les zones de dépression et les symboles « H » les anticyclones.

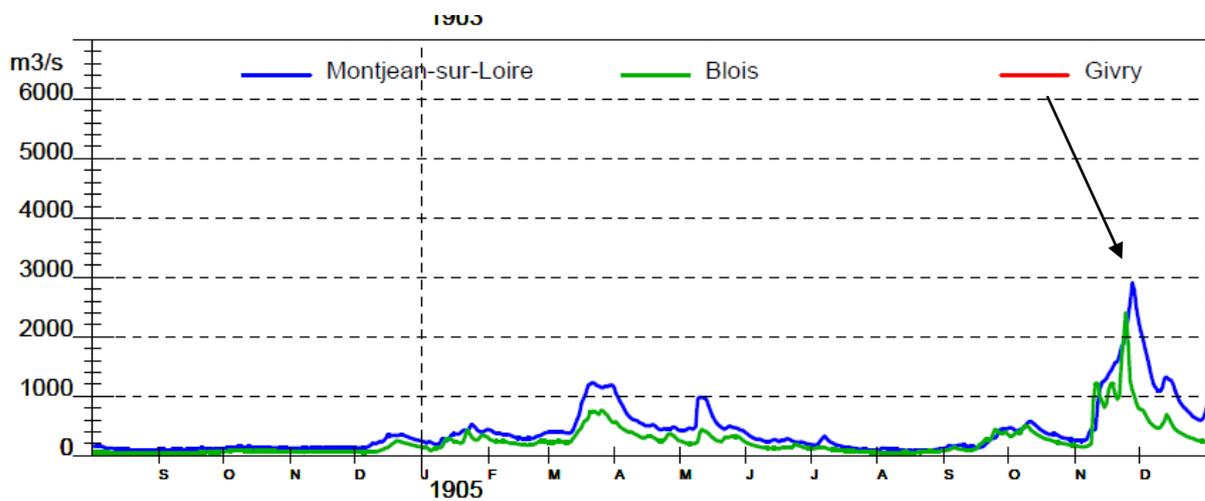
La lecture de ces cartes permet de déterminer si la dépression à l'origine de la crue est plutôt d'origine océanique (comme c'est le cas sur la carte donnée en exemple), méditerranéenne (dépression centrée sur l'Espagne) ou Est-européenne.

- Tracé des débits de la Loire amont/aval

Pour certaines crues, il est possible d'observer des intrusions méditerranéennes qui se caractérisent par :

- Un pic de crue de faible durée mais très prononcé sur la Loire amont à Givry ou Blois,
- Un débit de crue de même ordre de grandeur à Blois et sur la Loire aval à Montjean.

Un exemple est donné ci-dessous pour la crue de novembre 1905 : Le débit de la Loire amont est ponctuellement plus important que le débit aval.



4.2 EPISODE PLUVIEUX PREPARATOIRE

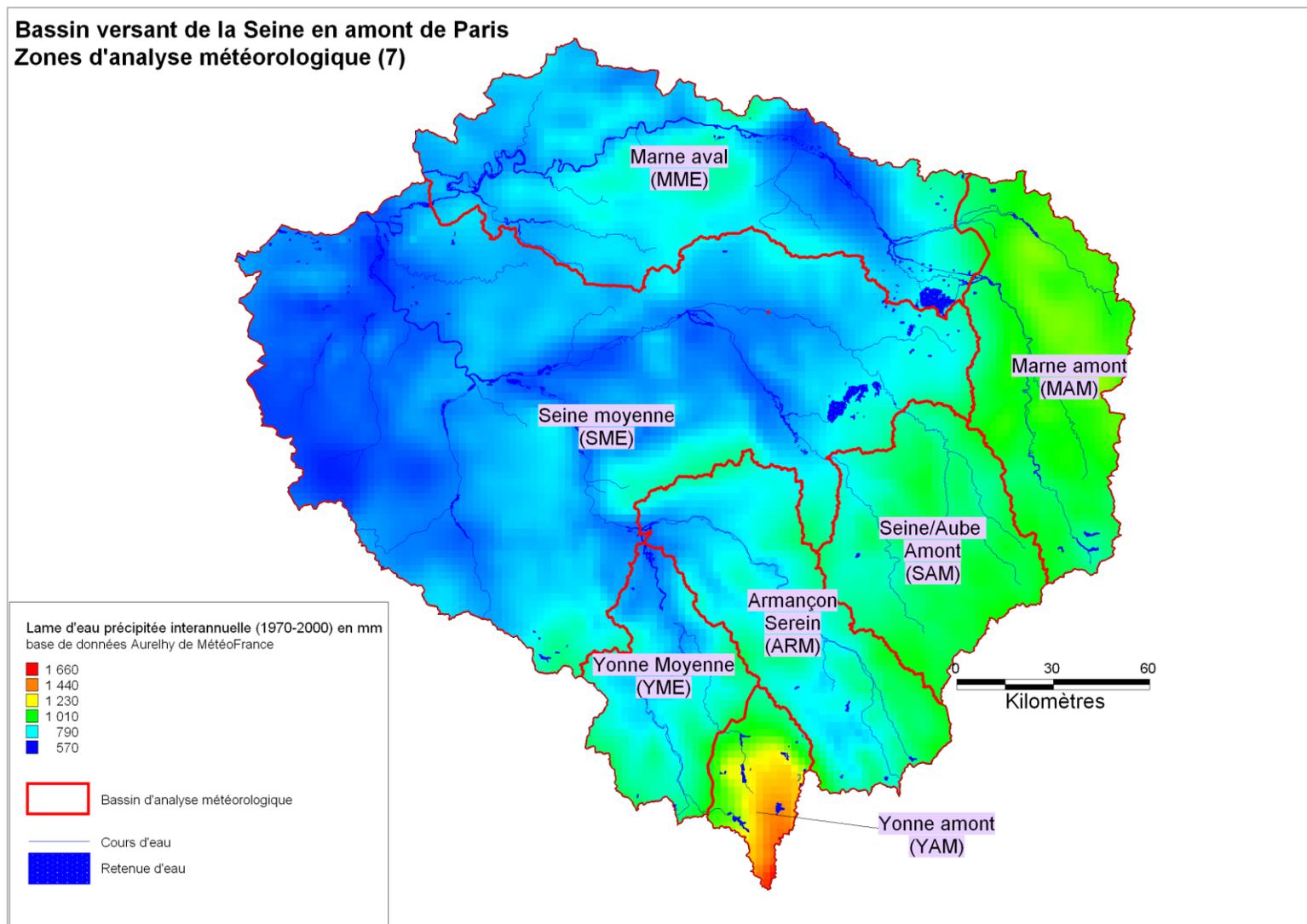
Le cumul de la pluviométrie est calculé sur 7 sous bassins versants de la Seine en amont de Paris, Depuis le 1^{er} septembre précédent jusqu'au jour du début de la période de crue, Ces 7 zones sont localisées sur la carte présentée ci-après. Elles ont été découpées en fonction du gradient pluviométrique interannuelle et de la topologie des cours d'eau.

La pluviométrie cumulée calculée sur ces sous-bassins versants pour chaque crue est comparée à l'ETP moyenne interannuelle suivante :

Temps relatif / 1 ^{er} janvier (en jours)	ETP (mm/j)
1	0.4
32	0.4
60	1.0
81	1.45
137	3.2
186	3.6
245	3.2
289	1.45
325	0.4
365	0.4

Ces valeurs de (Pluviométrie – ETP), ainsi que les débits de base des cours d'eau en début de crue, permettent d'appréhender l'état d'humidité du sol en eau au moment où la crue débute.

Figure 4-1 : Zones d'analyse météorologique (7)



Le calcul de lame d'eau moyenne sur chaque sous bassin versant 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.

4.3 EPISODE PLUVIEUX INTENSE

Le plus souvent, sur le bassin de la Seine, ce sont des événements pluvieux multiples qui sont à l'origine des crues. Les différents épisodes pluvieux à l'origine des débits de crue observés sont différenciés, un épisode étant comptabilisé lorsqu'il est séparant du suivant par plus d'une journée sans pluie.

Les cumuls de pluie observés sur chacun des 7 sous bassins versants représentés dans la carte donnée ci-avant sont alors calculés à l'aide du programme PLUMAKE (comme décrit au chapitre précédent). Ceci permet d'appréhender le nombre d'épisode pluvieux intervenu durant la crue, le temps moyen séparant 2 épisodes, la hauteur totale de précipitation et la répartition entre chaque épisode.

La répartition géographique de l'événement pluvieux est aussi examinée et l'hydrogramme résultant est analysé.

Ces paramètres de pluviométrie couplés à la lecture des hydrogrammes permettent d'apprécier le déphasage ou la concomitance des débits de crue.

Le tracé des hyétogrammes pour chaque événement retenu est reproduit dans le document d'annexe 2.

4.4 TEMPERATURE, NEIGE ET GEL

Les conditions de température au moment de l'épisode de crue sont analysées afin de déterminer si la neige ou le gel ont pu modifier le déroulement de la crue.

Les courbes de température pour chacune des crues d'étude sont données dans le document d'annexe 3.

4.5 DEBITS DANS LES COURS D'EAU

Le tracé des hydrogrammes est donné, dans le document d'annexe 4, pour chacune des crues sur les stations de :

- L'Yonne à Courlon,
- La Seine amont (Nogent, ou Pont/Seine),
- La Marne aval (Noisiel ou Gournay),
- La Seine aval à Paris.

Pour la période allant de 1900 à 1993, le tracé des débits a été réalisé à partir de la base SOGREAH (ce sont des débits reconstitués, non influencés par les barrages réservoirs). La station de la Seine amont est alors celle de Nogent/Seine et celle de la Marne aval, Noisiel.

Nota : Dans le rapport « Etude des phénomènes météorologiques océaniques et méditerranéens interagissant sur la génération des crues exceptionnelles du bassin de la Seine en amont de Paris » - ACRI – juin 2006, il est indiqué que les débits de pointe de la base de données SOGREAH (débits journaliers) sont sous estimés dans des proportions de l'ordre de 5 à 10 %.

Pour certaines crues les écarts sont un peu plus importants et ils sont alors signalés.

Pour la période plus récente, le tracé des débits a été réalisé à partir des données de la Banque Hydro (ces débits sont influencés par l'action des barrages réservoirs). La station de la Seine amont est alors celle de Pont/Seine et celle de la Marne aval, Gournay.

Enfin, pour 3 crues antérieures à 1900 (décembre 1885, février 1889 et novembre 1896), les hydrogrammes de la Seine à Paris Austerlitz ont pu être tracés. Les données ont été récupérées auprès de la Banque Hydro.

Par ailleurs, pour les 20 crues retenues pour la bibliothèque des crues (on pourra se référer à la fin du rapport pour de plus amples détails) il est donné en plus les hydrogrammes aux stations amont de :

- Briénon sur l'Armançon,
- Chablis sur le Serein,
- Gurgy sur l'Yonne,

En plus de ces hydrogrammes, un tableau récapitule les différentes pointes de débits notables relevées sur les stations de la Seine amont et aval ainsi que sur l'Yonne à Courlon.

Pour les stations de l'Yonne à Courlon, la Seine à Bray et la Seine à Paris les maxima annuels de débits ont été ré-estimés dans le cadre de l'étude MRIF. Lorsque le débit étudié correspond au maxima annuel, le tableau récapitulatif des maximums fait mention des débits SOGREAH/Banque Hydro et MRIF.

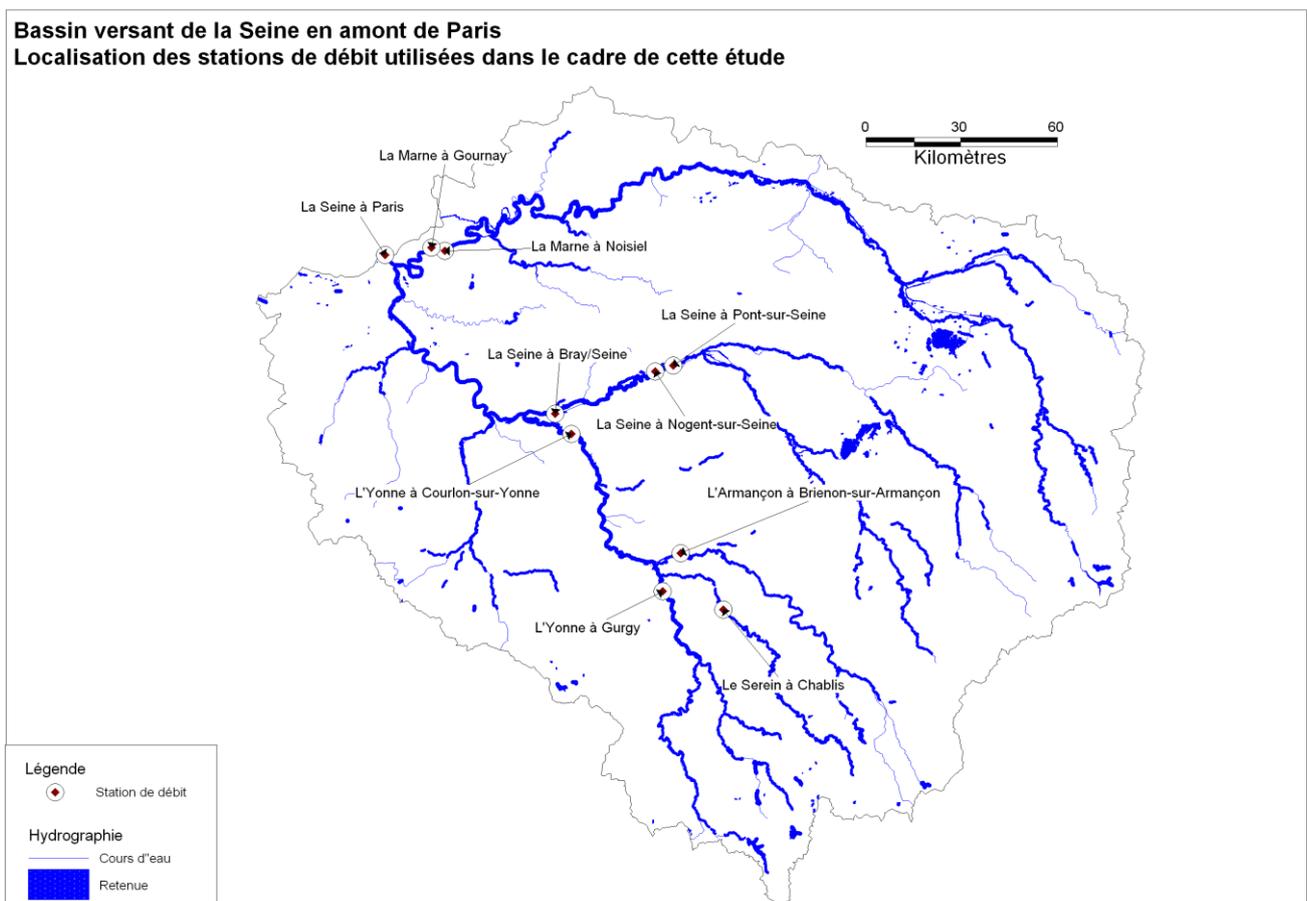
Nota : Le bassin versant contrôlé par la station de Pont/Seine est de 8 750 km², celui de Nogent/Seine est de 9 100 km², et celui de Bray/Seine est de 9 650 km². Les débits à ces stations sont donc peu différents et peuvent être comparés.

De la même façon la superficie du bassin versant contrôlé par la station de Noisiel, 12 500 km², est très proche de celle contrôlée par la station de Gournay, 12 660 km².

La durée de dépassement des débits journaliers seuils de période 2 à 3 ans est aussi donnée. Ces débits seuils considérés sont :

- 500 m³/s pour l'Yonne à Courlon,
- 240 m³/s pour la Seine amont,
- 1 200 m³/s pour la Seine à Paris.

La carte ci-après regroupe les stations utilisées dans le cadre de la présente étude :



5 SYNTHÈSE

Le détail de l'analyse effectuée pour chacune des crues d'étude, ainsi que les graphiques associés (hyétoigrammes, courbes de température, hydrogrammes) sont consignés dans le document d'annexe 1. Les principaux constats sont regroupés ci après :

5.1 CARACTERISTIQUES GÉNÉRALES

L'analyse réalisée fait ressortir les principales caractéristiques suivantes :

- 75 % des perturbations atmosphériques à l'origine des crues sont à dominante océanique. Sur les 69 crues étudiées, 2 seulement sont directement liées à une perturbation atmosphérique d'origine méditerranéenne. Pour les autres crues, elles sont liées à des phénomènes mixtes (océanique et méditerranéen), atypiques ou à des dépressions centrées sur l'Est de l'Europe.
- La majorité des pluies à l'origine des crues étudiées ont une répartition géographique qui suit celle des moyennes interannuelles (c'est le bassin de l'Yonne amont qui est le plus arrosé, les têtes amont des autres bassins versants présentent des cumuls un peu moins importants que celui de l'Yonne amont mais plus important qu'à l'aval). Dans les autres cas, la pluviométrie est le plus souvent assez soutenue sur les zones Marne amont et Yonne amont.
- Les crues de la Seine à Paris sont quasiment toujours générées par des événements pluvieux multiples. Ces derniers sont séparés le plus souvent de 4 à 8 jours. De plus, à la confluence Yonne/Seine, la pointe de la Seine amont arrive le plus souvent 5 jours après celle de l'Yonne. Ainsi pour plus de 75 % des crues les débits de la Seine amont et de l'Yonne sont quasi-concomitants ou concomitants.
- Pour générer une crue généralisée sur le bassin de la Seine en amont de Paris, les sols doivent au préalable être saturés en eau. Parmi les 68 crues étudiées, ce sont des crues d'hiver qui ont généré les niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.
- La neige a eu un rôle déterminant dans le déroulement de 25 % des crues ici étudiées. Ça été le cas pour des crues majeures telles que janvier 1910, janvier 1924, février 1945 ou décembre 1981 par exemple.
- Le gel a eu un rôle déterminant dans le déroulement de 15 % des crues ici étudiées. C'est le cas notamment pour les crues de mars 1906, février 1945 ou février 1958

5.2 TABLEAU DE SYNTHÈSE

Le tableau suivant synthétise les différents éléments détaillés en annexe. Il se compose des colonnes suivantes :

- **Crue :**

Nom de la crue (date).

- **Type d'événement météo :**

Type de signature de la perturbation atmosphérique à l'origine de la crue.

Océan : est le diminutif d'Océanique

Médit : Méditerranéen

- **Période préparatoire :**

Elle traduit les informations données au chapitre épisode pluvieux préparatoire. L'état de saturation des sols en eau est décliné en trois catégories : excès en eau, faible excès et déficit.

- **Répartition géographique :**

Informations concernant la répartition géographique des précipitations de l'événement météorologique à l'origine de la crue.

- **Influence Gel/Neige :**

L'influence du gel ou de la neige est qualifiée pour chaque crue et se décline comme suit : Oui, Faible, Modérée, et Non.

- **Nbre de pluies :**

Sont récapitulés :

- le nombre d'épisode pluvieux qui ont été distingués (sur l'ensemble de la crue),
- la durée totale de l'événement pluvieux,
- le cumul estimé sur l'Yonne à Courlon. Celui a été calculé à partir des données de pluviométrie agrégée sur l'Yonne amont, l'Yonne moyenne, l'Armançon/Serein, et la Seine moyenne rapportées à la surface de bassin versant concernée. Ce cumul a pour objet de donner un **ordre de grandeur** de la pluviométrie moyenne tombée sur ce bassin.

- **Débits max dans les cours d'eau :**

Débits maximums obtenus sur les stations de l'Yonne amont, de la Seine amont et aval.

- **Yonne amont :**

Fait référence à la station de Courlon sur l'Yonne.

- ✓ **Case du haut :**

- Pour les crues antérieures à 1900 : Les données de débits indiquées sont celles relevées dans le bulletin du SNS.
 - De 1900 à 1993 les données de débit indiquées proviennent de la base de données SOGREAH.
 - Après 1993, elles ont été extraites de la banque Hydro.
- ✓ *Case du bas :*
- Données de débit provenant de MRIF.
- **Seine amont :**
- ✓ *Case du haut :*
- De 1900 à 1993 : Fait référence à la station de Nogent/Seine (bassin versant contrôlé de 9 100 km²). Les débits donnés proviennent de la base de données SOGREAH.
 - Après 1993 : Données de débit issues de la banque hydro à la station de Pont/Seine (bv contrôlé de 8 750 km²).
- ✓ *Case du bas :*
- Données de débit provenant du rapport MRIF à la station de Bray/Seine (Bv contrôlé de 9 650 km²)
- **Seine aval :**
- Fait référence à la station de Paris
- ✓ *Case du haut :*
- Pour les crues antérieures à 1900 : Les données de débits indiquées sont celles relevées dans le bulletin du SNS (données de hauteur transformées en débit via les courbes de tarage utilisées à l'époque).
 - De 1900 à 1993 les données de débit indiquées proviennent de la base de données SOGREAH.
 - Après 1993, elles ont été extraites de la banque Hydro.
- ✓ *Case du bas :*
- Données de débit provenant de MRIF.

Nota : Pour les 3 crues de décembre 1885, février 1889 et novembre 1896, une case de plus a été ajoutée en bas pour renseigner le débit maximum journalier issu de la banque hydro.

- **Durée dépassement du débit seuil à Paris :**

Durée totale pendant laquelle le débit seuil de 1 200 m³/s a été dépassé sur la Seine à Paris.

- **Concomitance Yonne/Seine :**

Appréciation de la concomitance ou non des débits de l'Yonne et de la Seine amont. Cette concomitance est qualifiée suivant les termes : Oui, +/-, Non.

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Sep. 1866	Médit.	Léger Excès	Sud-ouest du bassin versant très arrosé (amont hors Marne)	Non	Non	1	4	100	-	-	~1 400 -	1	Non
Déc 1872	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	6	43	200	-	-	1 460 1 610	-	+/-
Mars 1876	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles sauf pour Yonne amont qui a été très arrosée	Oui	Oui	7	32	160	750 770	-	1 660 1 810	15	+/-
Mars 1877	Océan.	Excès	-	Non	Modérée	3	25	-	-	-	1 000 1 370	0	+/-
Janv. 1879	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles sauf pour Yonne amont qui a été très arrosée	Oui	Oui	4	11	60	-	-	1 300 610	3	+/-
Fév. 1879	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Modérée	3	11	50	-	--	1 200 -	1	+/-
Déc. 1882	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Modérée	3	32	200	-	-	1 500 720	10	+/-
Janv. 1883	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	2	14	90	-	-	1 550 -	8	+/-
Déc. 1885	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	2	16	130	-	-	1 350 630 -	6	+/-

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Fév. 1889	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	4	26	130	-	-	1 400	9	Oui
									750	-	1 550		
									-	-	1 710		
Nov. 1896	Océan	Déficit	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	2	21	180	-	-	1 250	6	+/-
									820	360	1 490		
									-	-	1 560		
Nov. 1905	Médit.	Déficit	Plus marquée sur l'Yonne et la Marne amont	Non	Oui	3	16	140	530	330	1 010	0	Oui
									-	-	-		
Mars 1906	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes avec cependant une tendance plus marquée à l'ouest	Oui	Oui	2	7	80	640	390	1 140	0	Non
									660	360	1 140		
Janv. 1910	Océan. + est Europe	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluie plus marquée sur l'Yonne et la Marne amont	Modérée	Oui	7	50	290	1 100	690	2 340	15+12+6	Oui
									1 100	740	2 400		
Nov. 1910	Océan. + est Europe	Déficit	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluie plus marquée sur l'Yonne et la Marne amont	Faible	Faible	8	60	350	840	500	1 670	12	+/-
									850	580	1 610		
Janv. 1912	Océan.	Excès	Plus marquée sur l'Yonne et la Marne amont	Non	Faible	2	7	70	630	360	1 080	0	Non
									640	340	1 180		

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Mars 1914	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Faible	Non	5	40	190	610	360	1 200	1	+/-
									590	360	1 270		
Avr. 1915	Océan.	Excès	Plus marquée sur l'Yonne amont et l'Armaçon/Serein	Faible	Non	1	11	60	690	330	970	0	Non
									670	310	1 010		
Fév. 1916	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Faible	Faible	5	27	140	740	400	1 300	7	Non
									620	370	1 240		
Janv. 1917	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Faible	Oui	5	31	120	550	260	1 090	0	+/-
									560	330	1 180		
Janv. 1919	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	7	56	260	710	350	1 640	10	Oui
									790	380	1 650		
Fév. 1919	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Modérée	Faible	4	32	130	580	290	1 240	2	+/-
									-	-	-		
Avr-Mai 1919	Océan. + est Europe	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Oui à Modérée	6	51	220	630	300	1 140	0	Non
									-	-	-		
Janv. 1920	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Faible	Non	3	26	140	670	470	1 630	8	+/-
									680	490	1 650		
Avr. 1922	Océan. + est Europe	Léger excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Faible	Faible	6	44	230	570	330	1 150	0	+/-
									510	340	1 020		
Mars 1923	Océan. + est Europe	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	5	24	120	650	280	1 360	8	Oui
									610	370	1 410		

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Janv. 1924	Est Europe	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles – Cumul sur l'amont des bv homogène pour l'épisode à l'origine des max	Modérée	Oui	3	16	150 ¹	820	470	2 050	16	Oui
									800	630	2 100		
Nov. 1924	Mixte	Déficit	Parties aval du bassin versant	Non	Non	3	13	90	360	340	1 330	5	Non
									350	430	1 230		
Déc 1925	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Oui	Modérée	4	21	120	830	350	1 530	12	Oui
									700	450	1 650		
Fév. 1928	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	2	17	80	660	290	1 240	2	Non
									520	350	1 150		
Nov. 1930	Océan.	Défaut	Plus marquée sur les bassins amont et l'ensemble du bassin Marne	Non	Faible	9	58	300	730	330	1 920	6+13	+/-
									-	530	-		
Mars 1931	Atypique	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Modérée	3	15	80	690	330	1 700	12	Avec la Marne uniquement
									630	-	1 690		
Nov. 1935	Océan.	Léger excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Oui	Non	2	14	110	600	330	1 020	0	Oui
									-	-	-		

1 : Le cumul de pluviométrie sur la zone Yonne amont du 3^{ème} épisode pluvieux semble suspect. Il est alors possible que le cumul ici indiqué soit dans les faits un peu plus faible.

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Janv. 1936	Océan.	Excès	Assez homogène sur l'ensemble du BV (hors zone Yonne amont plus arrosée)	Non	Faible	5	36	150	550	370	1 320	1 + 4	Oui
									-	360	-		
Fév. 1937	Océan.	Faible excès	Comparable aux moyennes interannuelles sauf zone Seine moyenne qui est autant arrosée que Seine/Aube amont	Non	Faible	17	110	370	600	400	1 570	14	+/-
									500	380	1 450		
Nov. 1939	Atypique	Déficit	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	10	74	380 ²	870	440	1 510	16 + 5	+/-
									730	460	1 440		
Janv. 1940	Atypique	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles sauf zone Yonne amont qui a des cumuls comparables aux autres bv amont	Oui	Oui	4	34	90	570	190	1 330	2	Non
									-	-	-		
Avr. 1940	Atypique	Excès	Est – sud-est du BV	Non	Non	5	33	130	360	350	1 400	3	Oui
									-	-	-		
Fév. 1941	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Oui	Oui	5	41	170	730	250	1 790	16	+/-
									610	420	1 630		
Nov. 1944	Océan.	Déficit	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	9	65	390	720	580	1 830	12	Non
									-	670	-		

2 : Valeur estimée. La station pluviométrique présente sur la zone Yonne amont a de nombreuses lacunes de données pour cette crue.

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amnt	Seine aval		
Fév. 1945	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Oui	Oui	4	22	110	690 740	480 -	2 020 1 990	16	Oui
Janv. 1948	Océan.	Léger excès	Plus marquée sur Yonne, Seine/Aube amont et Marne amont (cumuls comparables)	Non	Non	5	32	180	320 370	380 340	1 530 1 120	3	Non
Déc. 1952	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Modérée	Oui	7	42	210	590 640	400 360	1 410 1 350	8	Non
Janv. 1955	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Modérée	Modérée	5	40	260	910 800	720 750	2 000 2 120	13	+/-
Fév. 1957	Océan.	Léger excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	4	20	140	900 770	350 340	1 450 1 300	5	+/-
Fév. 1958	Est Europe	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + Zone Marne moyenne autant arrosée que Marne amont pour l'épisode à l'origine des max	Oui	Modérée	5	43	180	630 -	450 460	1 650 1500	2 + 10	Non
Janv. 1959	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + Uniformité de la pluviométrie sur les bassins amont pour l'épisode à l'origine des max	Modérée	Oui	7	49	270	690 570	500 600	1 910 1 700	2 + 18	+/-
Janv. 1962	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Non	2	20	90	640 620	330 300	940 870	0	Non

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb pluies	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Déc. 1965	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Modérée	Faible	8	57	330	510	350	1 490	7	Oui
									-	360	1 430		
Janv. 1966	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Oui	Modérée	5	41	170	730	330	1 200	0	Non
									710	360	-		
Déc. 1966	Océan.	Déficit	Comparable aux moyennes interannuelles + Cumul comparable sur Armançon/Serein et Yonne amont pour l'épisode à l'origine des max	Non	Modérée	4	41	200	530	390	1 330	3	Non
									510	280	1 040		
Janv. 1968	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluviométrie comparable sur Armançon/Serein et Yonne amont	Modérée	Oui	6	39	210	750	510	1 620	22	+/-
									680	380	1 580		
Déc. 1968	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Faible	Faible	3	20	100	680	160	920	0	Non
									620	-	760		
Fév 1970	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Oui	5	44	240	770	540	1 830	25	+/-
									690	440	1 700		
Fév. 1977	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	5	37	200	640	430	1 390	12	+/-
									560	320	1 460		

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb épisodes	Durée total (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Fév. 1978	Océan.	Léger excès	Comparable aux moyennes interannuelles sauf Marne amont peu arrosé proportionnellement	Non	Oui	7	49	200	640	430	1 340	8 + 3	+/-
									520	-	-		
Mars 1978	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluviométrie comparable sur Armançon/Serein et Yonne amont	Non	Faible	3	21	130	580	440	1 850	13	+/-
									-	380	1 700		
Fév. 1980	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Modérée	Faible	4	22	120	740	420	1 630	10	+/-
									570	280	1 450		
Janv. 1981	Atypique	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + pour 1 des 2 épisodes ayant provoqué le max la partie sud ouest du bv a été plus arrosée	Modérée	Oui	9	68	240	560	420	1 480	10	+/-
									510	230	1 330		
Déc. 1981	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Oui	8	65	280	780	500	1 880	38	+/-
									750	180	1 800		
Déc 1982	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	6	58	240	740	490	1 790	13	+/-
									680	-	1 680		

Crue	Type d'événement météo.	Période préparatoire	Répartition géographique	Influence		précipitations			Débits max dans les cours d'eau (m3/s)			Durée dépassement du débit seuil à Paris (j)	Concomitance Yonne/Seine
				Gel	Neige	Nb épisodes	Durée totale (j)	Cumul total Yonne (mm)	Yonne aval	Seine amont	Seine aval		
Avr. 1983	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	5	32	160	720	460	1 850	16	+/-
									-	380	-		
Fév. 1988	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	6	44	240	570	350	1 630	12	+/-
									520	-	1 600		
Mars 1988	Atypique	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluie localisée sur l'est – nord-est du bassin versant	Non	Non	3	18	90	440	430	1 120	4	+/-
									390	-	1 350		
Janv. 1994	Océan.	Léger Excès	Pluie surtout localisée sur le sud – sud-est du bassin versant	Non	Faible	5	41	200	570	240	1 380	14	+/-
									590	-	1 500		
Janv. 1995	Océan.	Léger Excès	Pluie surtout localisée sur le sud – sud-est du bassin versant	Non	Modérée	5	42	180	550	250	1 430	9	+/-
									580	-	1 500		
Mars 1999	Mixte	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles + pour l'épisode ayant provoqué les max pluviométrie plus prononcée sur Aube/Seine amont	Non	Modérée	3	23	130	610	290	1 290	5	+/-
									-	-	-		
Déc. 1999	Océan.	Léger Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	4	33	180	550	230	1 480	7	Oui
									-	-	-		
Mars 2001	Océan.	Excès	Comparable aux moyennes interannuelles	Non	Faible	5	28	170	690	270	1 510	16	+/-
									-	-	-		

6 SELECTION D'UN PANEL DE CRUES HISTORIQUES

6.1 CRITERES DE SELECTION

On souhaite extraire du recensement détaillé du chapitre précédent une bibliothèque d'une vingtaine de crues historiques, représentatives de la diversité des événements susceptibles d'être gérés par le futur ouvrage de la Bassée. Cette sélection est guidée par la prise en compte des critères suivants :

- Saisonnalité :
Les crues ont des caractéristiques et induisent des impacts distincts selon les saisons ; les crues automnales et printanières peuvent être particulièrement violentes sur le bassin de l'Yonne, les crues printanières sont par ailleurs moins écrêtées par l'action des lacs réservoirs avec les conséquences que cela impliquent sur l'efficacité de l'aménagement Bassée.
- Durée de la période perturbée :
L'analyse des crues historiques fait ressortir des épisodes perturbés de durées très variables, allant de 15 jours à plusieurs mois. Ces signatures contrastées d'événements perturbés vont agir différemment sur l'aménagement Bassée. En particulier les épisodes de crues multiples vont interférer avec le cycle de pompage –vidange des casiers et risquent donc d'affecter l'efficacité de l'aménagement.
- Importance de la crue :
L'ouvrage de la Bassée est susceptible de fonctionner sur une gamme relativement étendue de débits de crues de l'Yonne et de la Seine. Les crues sélectionnées doivent refléter cette diversité, à partir de seuils minimum de débits en deçà desquels il sera inutile de mobiliser cet ouvrage au regard de l'objectif de protection contre les inondations.
- Crues atypiques :
Certaines crues, en raison notamment des conditions de sols (sol gelé, couverture neigeuse) ou de la violence de certains épisodes pluvieux, peuvent réagir très différemment et engendrer des formes d'hydrogrammes particulières. C'est le cas notamment de la crue de fonte des neiges de Février 1945.
- Exploitation de la bibliothèque de crues issues d'études antérieures :
On dispose à ce jour d'une bibliothèque de crues (établie par l'IIBRBS) pour lesquels l'hydrologie a été reconstituée sur la totalité du bassin de la Seine amont. Le tableau ci après récapitule ces événements :

Nom de la crue	Date origine de la crue	Crue avec hydrologie connue sur l'Yonne amont
Janvier 1910	10/01/1910	X
Janvier 1924	20/12/1923	X
Février 1945	01/11/1944	X
Janvier 1955	03/01/1955	X
Février 1970	25/01/1970	-
Février 1977	22/01/1977	-
Avril 1978	10/03/1978	X
Janvier 1982	03/12/1981	X
Décembre 1982	23/12/1982	-
Avril 1983	31/03/1983	-
Janvier 1991	15/12/1990	-
Décembre 1993	08/12/1993	X
Janvier 1995	27/12/1994	X

Ces épisodes seront bien sûr privilégiés si leurs caractéristiques rentrent dans la grille des autres critères.

On sélectionnera par ailleurs de préférence les épisodes de crues du 20^{ème} siècle pour lesquelles on dispose de davantage de données d'observations que pour les crues du siècle précédent, afin de faciliter la reconstitution de l'hydrologie.

6.2 CLASSIFICATION DES CRUES

Une première classification est faite ci après par rapport aux critères de saisonnalité et de durée :

➤ Les crues automnales (septembre à novembre)

A l'intérieur de cette famille on distingue les crues courtes (générées par des épisodes pluvieux de moins de 30 jours) et les crues longues (crues générées par une succession d'épisodes pluvieux de durée totale supérieure à 30 jours). Ces crues arrivent tôt dans la saison hydrologique, les sols sont alors peu saturés en eau.

D'un point de vue pluviométrique, les intensités moyennes peuvent être importantes. Cependant, les réactions dans les cours d'eau sont atténuées dû fait de la non saturation des sols. Ces crues produisent le plus souvent des pointes de débits marquées sur les bassins amont et notamment l'Yonne. L'effet plus en aval, sur la Seine à Paris notamment, est le plus souvent limité (sauf pour les crues longues).

Les crues les plus remarquables de cette famille sont celle de septembre 1866, novembre 1910, novembre 1930, novembre 1939 et novembre 1944.

13 % des crues ici référencées sont considérées comme automnales (2/3 de crues courtes et 1/3 de crues longues).

➤ **Les crues d'hiver (décembre à mars)**

A l'intérieur de cette famille on distingue les crues courtes (générées par des épisodes pluvieux de moins de 30 jours) et les crues longues (crues générées par une succession d'épisodes pluvieux de durée totale supérieure à 30 jours). D'un point de vue pluviométrique les intensités moyennes sont le plus souvent moins importantes que pour les crues automnales. Cependant, comme elles interviennent en majorité sur un sol déjà saturé en eau, elles provoquent les ruissellements les plus forts.

Les crues courtes de cette famille peuvent potentiellement générer des niveaux très importants à l'amont comme à l'aval du réseau hydrographique. En effet, parmi les 68 crues étudiées, c'est dans cette famille que l'on retrouve celles pour lesquelles les niveaux d'eau les plus importants ont été observés (que ce soit sur l'Yonne amont où la Seine à Paris) : crues de janvier 1910, janvier 1920, janvier 1924, février 1945, et janvier 1955.

Les crues longues de cette famille ne font pas partie de celles qui ont entraîné les niveaux les plus importants constatés. Cependant, elles peuvent provoquer des durées de submersion particulièrement importantes et surtout elles sont de nature à alourdir les contraintes de gestion l'aménagement de la Bassée en raison de la structure complexe des signaux de crues. Les crues marquantes de cette catégorie sont celles de janvier 1959, janvier 1966, février 1970 et décembre 1981 ; pour cette dernière crue le débit de période de retour 2 à 3 ans sur la Seine à Paris a été dépassé durant environ 40 jours.

70 % des crues ici référencées sont considérées comme hivernales (2/3 de crues courtes et 1/3 de crues longues).

➤ **Les crues de printemps (à partir de fin mars).**

Cette catégorie est importante du point de vue de la gestion des ouvrages de stockage présents sur le bassin amont. En effet en période de printemps, la capacité de stockage en eau des barrages amont est réduite (période de remplissage des ouvrages).

La durée de ces crues correspond globalement à une moyenne entre crue courte et moyenne. Ces crues sont le plus souvent généralisées (la pluviométrie intervient sur un sol saturé). Aucune de ces crues ne fait partie de celles qui ont engendré les niveaux les plus forts constatés que ce soit sur l'amont où l'aval du bassin versant d'étude. Les crues les plus remarquables de cette catégorie sont celle de mars 1876, mars 1978 et avril 1983.

17 % des crues ici référencées sont considérées comme printanières.

6.3 LISTE DES CRUES PAR FAMILLE D'ÉVÉNEMENTS MÉTÉOROLOGIQUES

Les tableaux ci-après présentent pour chaque famille, les caractéristiques des crues correspondantes des crues. Ces tableaux regroupent les informations suivantes :

- **Crue :**

Nom de la crue (date).

- **Période intense pluvieuse :**

Les indicateurs fournis sont :

- le nombre d'épisode pluvieux à l'origine des maximums observés. Ce nombre d'événement est inférieur ou égal à celui donné précédemment qui concernait l'ensemble de la période de crue.
- la durée totale de l'événement pluvieux (à l'origine des maximums observés)
- le cumul pluviométrique estimé sur l'Yonne à Courlon, calculé à partir des données de pluviométrie agrégée sur l'Yonne amont, l'Yonne moyenne, l'Armançon/Serein, et la Seine moyenne rapportées à la surface de bassin versant concernée. Ce cumul a pour objet de donner un **ordre de grandeur** de la pluviométrie moyenne tombée sur ce bassin.

- **Débits max dans les cours d'eau :**

- **Yonne amont :**

Fait référence à la station de Courlon sur l'Yonne.

- ✓ *Case du haut :*

- Pour les crues antérieures à 1900 : Les données de débits indiquées sont celles relevées dans le bulletin du SNS.
- De 1900 à 1993 les données de débit indiquées proviennent de la base de données SOGREAH.
- Après 1993, elles ont été extraites de la Banque Hydro.

- ✓ *Case du bas :*

- Données de débit provenant de MRIF.

- **Seine aval :**

Fait référence à la station de Paris

- ✓ *Case du haut :*

- Pour les crues antérieures à 1900 : Les données de débits indiquées sont celles relevées dans le bulletin du SNS (données de hauteur transformées en débit via les courbes de tarage utilisées à l'époque).

- De 1900 à 1993 les données de débit indiquées proviennent de la base de données SOGREAH.
 - Après 1993, elles ont été extraites de la banque Hydro.
- ✓ *Case du bas :*
- Données de débit provenant de MRIF.

Nota : Pour les 3 crues de décembre 1885, février 1889 et novembre 1896, une case de plus a été ajoutée en bas dans laquelle est donnée la valeur de débit maximal issue de la banque hydro.

· **Durée dépassement du débit seuil à Paris :**

Durée totale pendant laquelle le débit seuil de 1 200 m³/s a été dépassé sur la Seine à Paris.

6.3.1 Crue d'automne

6.3.1.1 Crues courtes

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Sep. 1866	1	4	100	25	-	~1 400 -	1
Déc. 1885	2	16	130	8	- 630	1 350 1 490	3
Nov. 1896	2	21	180	8.6	- 820 -	1 250 1 490 1 560	6
Nov. 1905	3	16	140	8.7	530 -	1 010 -	0
Nov. 1910	4	23	180	7.8	840 850	1 670 1 610	12
Nov. 1924	3	13	90	6.9	360 350	1 330 1 230	5
Nov. 1935	2	14	110	7.8	600 -	1 020 -	0

Les intensités moyennes de pluviométrie sont assez élevés (>7 mm/j). Les maximums de débits sont surtout notables sur l'amont du bassin versant.

6.3.1.2 Crues longues

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Nov. 1930	9	58	300	5.2	730 -	1 920 -	6+13
Nov. 1939	4	31	210 ?	6.9 ?	870 -	1 510 -	16+5
Nov. 1944	8	61	370	6.1	720 -	1 830 -	12

? : Valeur estimée. Il y a de nombreuses lacunes de données pluviométriques pour cette crue sur la zone Yonne amont.

La durée de la période intense pluvieuse est assez longue (de l'ordre de 60 jours). Les premiers événements pluviométriques permettent de saturer les sols en eau. Les maximums dans les cours d'eau sont le plus souvent constatés en fin d'événement. La crue peut alors être généralisée (amont et aval du bassin versant).

6.3.2 Crues d'hiver

6.3.2.1 Crues courtes

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Janv. 1879	4	11	60	5.5	-	1 300	3
					610	1 500	
Fév 1879	3	11	50	4.5	-	1 200	1
					-	-	
Déc 1882	3	32	200	6.3	-	1 500	10
					720	1 690	
Janv. 1883	2	14	90	6.4	-	1 550	8
					-	-	
Déc 1885	2	16	120	7.5	-	1 350	6
					-	1 490	
					-	1 630	
Fév 1889	4	26	130	5	-	1 400	9
					750	1 550	
					-	1 710	
Mars 1906	2	7	80	11.4	640	1 140	0
					660	1 140	
Janv. 1910	4	20	160	8	1 100	2 340	15+12+6
					1 100	2 400	
Janv. 1912	2	7	70	10	630	1 080	0
					640	1 180	
Fév. 1916	4	21	110	5.2	740	1 300	7
					620	1 240	
Fév 1919	3	23	100	4.3	580	1 240	2
					-	-	
Janv. 1920	2	14	90	6.4	670	1 630	8
					680	1 650	
Mars 1923	5	24	120	5	650	1 360	8
					610	1 410	

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Janv 1924	3	16	150 ?	9.4 ?	820	2 050	16
					800	2 100	
Déc. 1925	4	21	120	5.7	830	1 530	12
					700	1 650	
Fév. 1928	2	17	80	4.7	660	1 240	2
					-	-	
Mars 1931	3	15	80	5.3	690	1 700	12
					630	1 690	
Janv. 1936	2	15	70	4.7	550	1 320	1+4
					-	-	
Janv. 1940	3	20	60	3	570	1 330	2
					-	-	
Fév 1941	3	22	120	5.5	730	1 790	16
					610	1 630	
Fév 1945	4	22	110	5	690	2 020	16
					740	1 990	
Janv. 1948	4	26	140	5.4	320	1 530	3
					370	1 120	
Janv. 1955	3	19	170	8.9	910	2 000	13
					800	2 120	
Fév 1957	4	20	140	7	900	1 450	5
					770	1 300	
Fév 1958	4	22	140	6.5	630	1 650	2+10
						1 300	
Janv. 1962	2	20	90	4.5	640	940	0
					620	870	
Janv. 1966	2	16	70	4.4	730	1 200	0
					710	-	
Déc 1966	3	28	150	5.4	530	1 330	3
					-	-	
Déc 1968	3	20	100	5	680	920	0
					-	-	
Fév 1978	4	24	120	5.0	640	1 390	12
					520	1 460	
Fév 1980	4	22	120	5.5	740	1 630	10
					570	1 450	
Déc. 1982	3	18	140	7.8	740	1 790	13
					680	1 680	
Mars 1999	3	23	130	5.7	610	1 290	5

La pluviométrie enregistrée arrive sur un sol qui est le plus souvent saturé en eau. Ainsi, les crues sont le plus souvent généralisées. Le nombre d'événement pluviométrique à l'origine des crues est ici en moyenne de 3. C'est ce type de crue qui a généré les débits les plus importants constatés.

6.3.2.2 Crues longues

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Déc 1872	6	43	200	4.7	-	1 460	?
					-	1 610	
Janv. 1917	5	31	120	3.9	550	1 090	0
					560	1 180	
Janv. 1919	6	41	210	5.1	710	1 640	10
					790	1 650	
Fév 1937	10	59	210	3.6	600	1 570	14
					-	-	
Déc. 1952	7	42	210	5	590	1 410	8
					640	1 350	
Janv. 1959	6	41	240	5.9	690	1 910	2+18
					570	1 700	
Déc. 1965	7	48	310	6.5	510	1 490	7
					-	1 430	
Janv. 1968	5	31	200	6.3	750	1 620	22
					680	1 580	
Fév. 1970	5	44	240	5.5	770	1 830	25
					690	1 700	
Fév 1977	5	37	200	5.4	640	1 390	12
					560	1 460	
Janv 1981	8	51	210	4.2	560	1 480	10
					510	1 330	
Déc 1981	7	46	240	5.2	780	1 880	38
					750	1 800	
Fév. 1988	6	44	240	5.5	570	1 630	12
					520	1 600	
Janv. 1994	5	41	200	4.9	570	1 380	14
					590	1 500	

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Janv. 1995	5	42	180	4.3	550	1 430	9
					580	1 500	
Déc. 1999	4	33	180	5.5	550	1 480	7
					-	-	

6.3.3 Crue de Printemps

Crue	Période intense pluvieuse				Débit max dans les cours d'eau en m3/s		Durée dépassement du débit seuil à Paris
	Nb. Episode pour les max	Durée total (j)	Cumul Yonne à Courlon (mm)	Intensité moyenne en mm/j	Yonne à Courlon	Seine à Paris	
Mars 1876	7	32	160	5	750	1 660	15
					770	1 810	
Mars 1877	3	25	-	-	-	1 000	-
					710	1 370	
Mars 1914	5	40	190	4.8	610	1 200	1
					590	1 270	
Avr. 1915	1	11	60	5.5	690	970	0
					670	1 010	
Avr. 1919	3	25	110	4.4	630	1 140	0
					-	-	
Avr. 1922	6	44	230	5.2	570	1 150	0
					510	1 030	
					-	-	
Avril 1940	5	40	190	4.8	610	1 200	1
					590	1 270	
Mars 1978	3	21	130	6.2	580	1 850	13
					-	1 700	
Avr. 1983	4	23	130	5.7	720	1 850	16
					-	-	
Mars 1988	3	18	90	5	440	1 120	4
					-	-	
Mars 1999	3	23	130	5.7	610	1 290	5
Mars 2001	5	28	170	6.1	690	1 510	16
					-	-	

Comparativement aux autres familles, les durées de pluie sont dans la moyenne des durées des épisodes d'automne et de printemps. La plupart de ces crues sont généralisées. Parmi ces crues, aucune ne correspond à celle pour lesquelles les débits les plus forts ont été constatés.

6.4 SELECTION DU PANEL DE CRUES HISTORIQUES ET JUSTIFICATION

Le panel de 20 crues à sélectionner doit respecter les proportions d'événements de chaque catégorie à savoir :

- 2 à 3 crues d'automne,
- une quinzaine de crues d'hiver réparties à peu près également entre les crues longues et les crues courtes,
- 3 à 4 crues de printemps.

Afin d'affiner la sélection il est intéressant d'avoir à l'esprit les ajustements de débits de crues réalisés dans l'étude MRIF pour les stations de Courlon (Yonne) et Paris. Les tableaux récapitulatifs sont reproduits ci-dessous :

Figure 6-1 : débits maxima annuels de l'Yonne à Courlon et de la Seine à Paris.

Station de Courlon			Station de Paris Austerlitz		
DATE	DEBITS (m ³ /s)	T (années)	DATE	DEBITS (m ³ /s)	T (années)
		IC 70% T IC 70%			
26/02/70	685	8	1889	1548	
30/12/25	698	9	1968	1580	
22/03/1877	707	10	1988	1600 **	
26/01/66	709	8/ 10 /13	1911	1605	
29/12/1882	720	10	1873	1612	
01/11/39	732	11	1941	1630	
08/02/45	735	12	1919	1647	
12/01/82	751	13	1926	1654	
17/02/1889	754	13	dec 1982	1680 **	
15/03/1876	770	15	1931	1685	10 ans
27/02/57	773	15	1883	1686	10 ans
07/01/19	786	16	1970	1700 **	
01/01/24	800	13/ 18 /24	1959	1700	
17/01/55	800	13/ 18 /24	1978	1700 **	
01/11/1896	822	21	janv-82	1800 **	15 ans
11/11/10	851	17/ 25 /35	1876	1808	15 ans
22/01/10	1100	85/ 139 /224	1920	1810	15 ans
			1945	1990	30 ans
			1924	2100	40 ans
			1955	2120	40 ans
			1910	2400	110 ans

** débit naturel reconstitué

Quelques commentaires :

- Les débits de crues reportés ci-dessus sont les débits naturels reconstitués dans l'étude MRIF. Ils peuvent donc différer des débits influencés pour certains de la banque HYDRO ou des débits naturels de la série chronologique de Sogréah.
- Le tableau ci-dessus couvre la période 1876-1998. Il convient d'ajouter l'événement de crue très violent de mars 2001 sur l'Yonne dont le débit de pointe instantanée a atteint 800 m³/s (700 m³/s en moyenne su 24h) : la période de retour de cette crue a atteint 100 ans en amont du bassin versant de l'Yonne, elle a dépassé 20 ans à Courlon.

- L'année hydrologique 1944-1945 a été marquée par deux crues d'égale importance sur l'Yonne : la crue de novembre 1944 et celle de février 1945. A Paris le débit de la crue de novembre 1944 a atteint 1800 m³/s, soit un débit analogue à celui de 1982. C'est donc un épisode à intégrer dans le panel de crues.
- Les crues surlignées en couleur sont celles citées aux deux stations de Courlon et Paris : ce sont des crues significatives, à la fois pour l'Yonne et la Seine à Paris.

Toutes ces considérations conduisent à proposer le panel de crues suivant :

Figure 6-2 : sélection du panel de crues.

Nom de la crue	Typologie				
	Automne		Hiver		Printemps
	Courte	Longue	Courte	Longue	
janv-10	-	-	1	-	-
nov-10	1	-	-	-	-
janv-19	-	-	-	1	-
janv-24	-	-	1	-	-
nov-44	-	1	-	-	-
févr-45	-	-	1	-	-
janv-55	-	-	1	-	-
Jan-59	-	-	-	1	-
févr-70	-	-	-	1	-
févr-77	-	-	-	1	-
avr-78	-	-	-	-	1
févr-80	-	-	1	-	-
janv-82	-	-	-	1	-
déc-82	-	-	1	-	-
avr-83	-	-	-	-	1
déc-93	-	-	-	1	-
janv-95	-	-	-	1	-
mars-99	-	-	1	-	-
déc-99	-	-	-	1	-
mars-01	-	-	-	-	1
Total	1	1	7	8	3
%	5	5	35	40	15

Cette sélection respecte la répartition fréquentielle des crues par saison et par durée.

Les crues d'automne sont représentées par les événements de novembre 1910 et novembre 1944 : ce sont les deux crues les plus importantes enregistrées sur le bassin de l'Yonne et les débits restent significatifs à Paris. A noter que la crue de novembre 1939 est également intéressante. Mais ses caractéristiques sont proches de celles de novembre 1944 et elle est un peu plus faible. Elle n'a donc pas été retenue.

Les crues hivernales courtes comprennent les épisodes majeurs de Janvier 1910, janvier 1924, février 1945, janvier 1955 et dans une moindre mesure décembre 1982. La crue de Février 1945 se

démarque de toutes les autres crues par sa forme ventrue sur l'Yonne et un coefficient de ruissellement élevé du à l'entraînement du manteau neigeux qui recouvrait le bassin de la Seine et plus spécialement celui de l'Yonne en début de crue.

Elles sont complétées par deux épisodes de crues de moindre importance :

- janvier 1919 est caractérisé par trois pics de crues de plus de 500 m³/s sur l'Yonne aval, se succédant à intervalles de temps rapprochés (4-5 jours),

Deux crues d'importance moyenne complètent cette famille :

- la crue de février 1980 dont le débit a atteint 750 m³/s sur l'Yonne aval et 1650 m³/s à Paris.
- La crue de mars 1999, caractérisé par deux pics de crues avoisinant 600 m³/s sur l'Yonne aval et un débit de pointe de 1300 m³/s. Cet épisode a été surtout retenu pour reconstituer une hydrologie précise sur le bassin de l'Yonne et servir de calage aux modèles de production pluie-débit.

Les crues hivernales longues ont été sélectionnées de façon à disposer d'événements les plus contrastés possibles quant à la séquence des vagues successives de perturbations pluvieuses. On a pour cela sélectionné 7 crues qui peuvent être décomposées en deux sous familles :

- Une suite de perturbations relativement homogènes qui provoquent une montée progressive et relativement régulière du débit de crue à Paris : épisodes de janvier 1919, février 1977, décembre 1993, janvier 1995, décembre 1999 ; à noter que les débits de crues des épisodes postérieures à 1993 sont issus de la banque HYDRO dont les débits observés intègrent l'action des lacs réservoirs. La crue plus ancienne de janvier 1919 est intéressante car elle est caractérisée par trois pics de crues de plus de 500 m³/s sur l'Yonne aval, se succédant à intervalles de temps rapprochés (4-5 jours), ce qui va créer des contraintes de gestion pour l'ouvrage de la Bassée,
- Une première série de perturbations provoquant un débit un Paris de l'ordre de 1200 m³/s, suivies d'un plateau de débit entretenu par des pluies intermittentes, puis d'un passage dépressionnaire responsable de la pointe de crue à Paris. C'est le cas des crues de janvier 1959, janvier 1982, et février 1970. La crue de janvier 1966 présente des caractéristiques proches de celles de janvier 1959 mais son importance est moindre : cette dernière lui a été préférée.

Trois crues de printemps complètent ce panel de crues : mars-avril 1978, avril 1983 et mars 2001 qui a été d'une importance exceptionnelle sur l'Yonne amont. Ces trois crues printanières sont les plus fortes enregistrées sur la période analysée.

A noter que toutes les crues faisant partie de la bibliothèque MRIF se retrouvent dans le panel ci-dessus, à l'exception de la petite crue de janvier 1991, d'importance trop faible vis-à-vis des enjeux.

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques globales de chaque crue :

Figure 6-3 : caractéristiques des crues du panel sélectionné.

Crue	Période intense pluvieuse					Débit max dans les cours		Durée de 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	2 340	15+12+6		1	Oui
						1 100	2 400				
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	1 670	12			+/-
						850	1 610				
janv-19	Comparable aux moyennes interannuelles	6	41	210	5.1	710	1 640	10			Oui
						790	1 650				
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	2 050	16		1	Oui
						800	2 100				
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	2 020	16	1	1	Oui
						740	1 990				
janv-55	Comparable aux moyennes interannuelles	3	19	170	8.9	910	2 000	13			+/-
						800	2 120				
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	1 910	2+18		1	+/-
						570	1 700				
févr-70	Comparable aux moyennes interannuelles	5	44	240	5.5	770	1 830	25		1	+/-
						690	1 700				
févr-77	Comparable aux moyennes interannuelles	5	37	200	5.4	640	1 390	12			+/-
						560	1 460				
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	13			+/-
						-	1 700				
févr-80	Comparable aux moyennes interannuelles	4	22	120	5.5	740	1 630	10			+/-
						570	1 450				
janv-82	Comparable aux moyennes interannuelles	8	65	280	4.3	780	1 880	38		1	+/-
						750	1 800				
déc-82	Comparable aux moyennes interannuelles	3	18	140	7.8	740	1 790	13			+/-
						680	1 680				
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	1 380	14			+/-
						590	1 500				
janv-95	Pluie surtout localisée sur le sud – sud-est du bassin versant	5	42	180	4.3	550	1 430	9			+/-
						580	1 500				
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			+/-
						-	-				

L'annexe ci jointe présente les caractéristiques plus détaillées de chacune des crues du panel.

Il reste à construire l'hydrologie de chacune de ces crues, ce travail fait l'objet d'un rapport spécifique à venir.

7 BASE METHODOLOGIQUE POUR LA CONSTRUCTION DE CRUES SYNTHETIQUES

7.1 OBJECTIFS

Tous les éléments réunis à ce stade de l'analyse sont factuels et traduisent des tendances issues d'une première classification des paramètres hydro climatiques ayant une influence sur la formation des crues. On souhaite à ce stade approfondir l'analyse et tirer de l'ensemble des données collectées des lois statistiques permettant de caractériser plus finement les crues du bassin de la Seine.

Ces lois seront en phase 2 utilisées pour générer et tester des crues synthétiques en complément du panel de crues historiques, justifier le choix de ces épisodes et qualifier les probabilités conjointes d'occurrence des principaux paramètres interagissant pour générer les crues et les aléas qui en découlent.

La démarche ci après est articulée autour des étapes suivantes :

- analyse physique des mécanismes sous jacents de formation des crues de la Seine,
- sélection d'un jeu limité de variables explicative de la genèse des crues,
- analyse des propriétés statistiques des variables sélectionnées : ajustements statistique de valeurs extrêmes, recherche de lois de corrélation entre paramètres,
- élaboration d'une méthode de constitution d'une famille d'événements synthétiques.

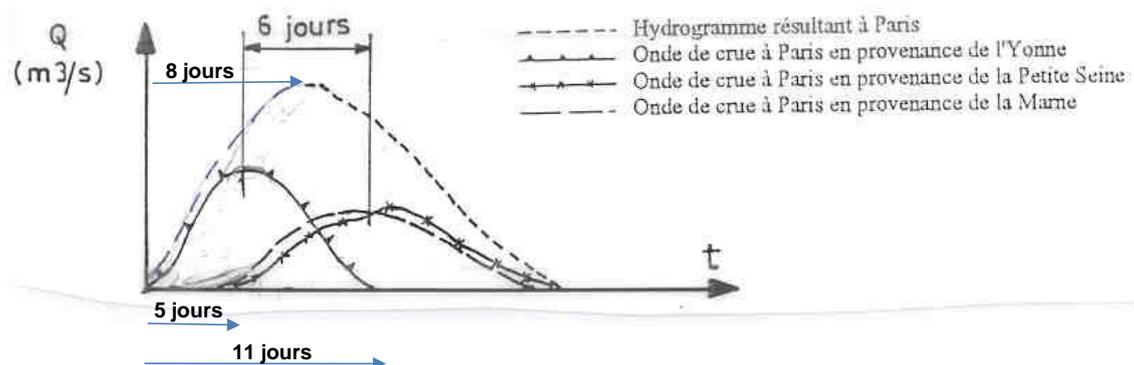
7.2 LES MECANISMES SOUS JACENTS DE FORMATION DES CRUES DU BASSIN DE LA SEINE A PARIS

Une crue de la Seine passant à Paris résulte principalement de la superposition de trois ondes de crues en provenance des bassins versants producteurs de l'Yonne à Auxerre, de la Haute Seine et de l'Aube en amont des lacs réservoirs, et de la Haute Marne à St Dizier. Ces bassins couvrent 30% de la superficie du bassin hydrographique à Paris, mais contribuent à 70% du volume total des crues en moyenne. Les autres bassins versants jouent un rôle secondaire, leur contribution complète celles des sous bassins principaux.

7.2.1 *Episode de crue simple*

Le mécanisme de base de formation d'une crue à Paris est illustré par le schéma suivant dans le cas d'un épisode pluviométrique isolé :

Figure 7-1 : ondes de crues générées par un épisode pluvieux isolé



Les temps ci-dessus sont comptés relativement à la date d'occurrence de la pointe pluvieuse. La pointe de la crue de l'Yonne passe à Courlon avec environ cinq jours d'avance sur celle de la Petite Seine à Marolle et de la Marne à Noisiel, ces deux dernières étant généralement concomitantes à ces stations ou présentant un décalage d'un jour ou deux au maximum.

La date du maximum à Paris-Austerlitz se situe entre deux et cinq jours après celle de l'Yonne à Courlon, suivant l'importance relative des apports de l'Yonne d'une part, de la Marne et de la Seine d'autre part.

Les échelles de temps ci-dessus sont à rattacher aux temps de réponse et temps de transfert connus sur le bassin de la Seine :

Les temps moyens séparant la pointe pluvieuse d'une séquence dépressionnaire et l'arrivée de la pointe de l'onde de crue à Paris sont contrastés suivant les cours d'eau :

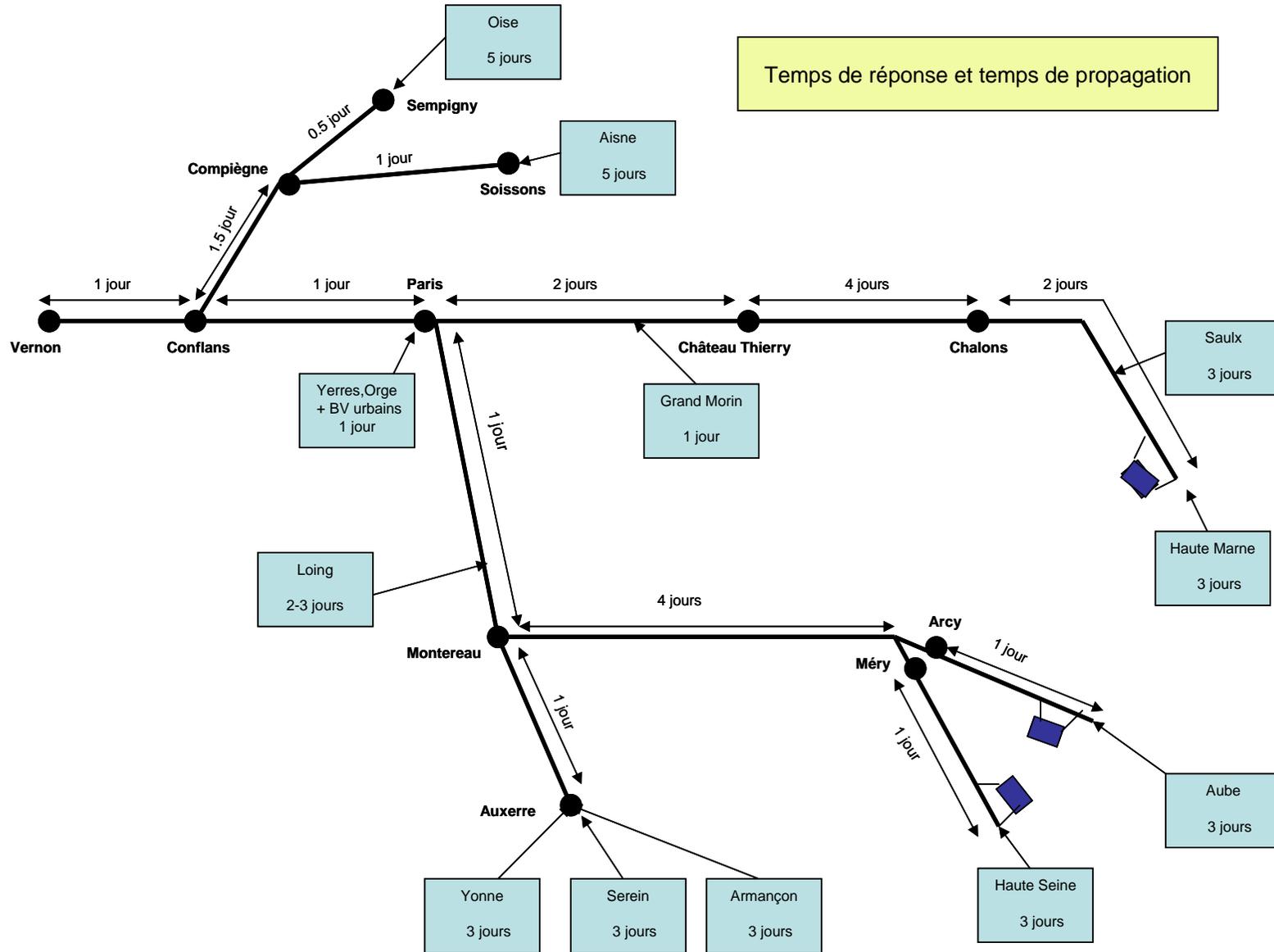
- Haute Seine, Aube et Marne amont : 9 – 11 jours,
- Yonne : 4 - 5 jours,
- Loing : 3 - 4 jours,
- Les Morins, Yerres : 1-2 jour,

Le diagramme page suivante détaille les temps de réponse des principaux bassins versants à la pluie ainsi que les temps de transfert moyens le long des principaux cours d'eau, pour des crues débordantes.

La réaction des différents bassins à la pluviométrie fait ainsi apparaître trois échelles de temps différentes :

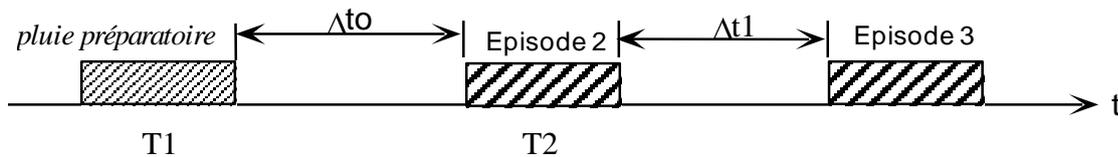
- Les petits bassins à temps de réponse de l'ordre de 24 h : Yerres, les Morins, l'Orge et autres petits bassins latéraux
- Les bassins producteurs en amont du bassin de la Seine dont le temps de réponse est de l'ordre de 3 - 4 jours : l'Yonne à Courlon, les bassins de la Haute Seine et de la Haute Marne en amont des lacs réservoirs.
- Les temps de réponse de l'onde de crue à Paris, de l'ordre de 10 à 12 jours.

Figure 7-2 : temps de réponse et temps de propagation moyens sur le bassin de la Seine.



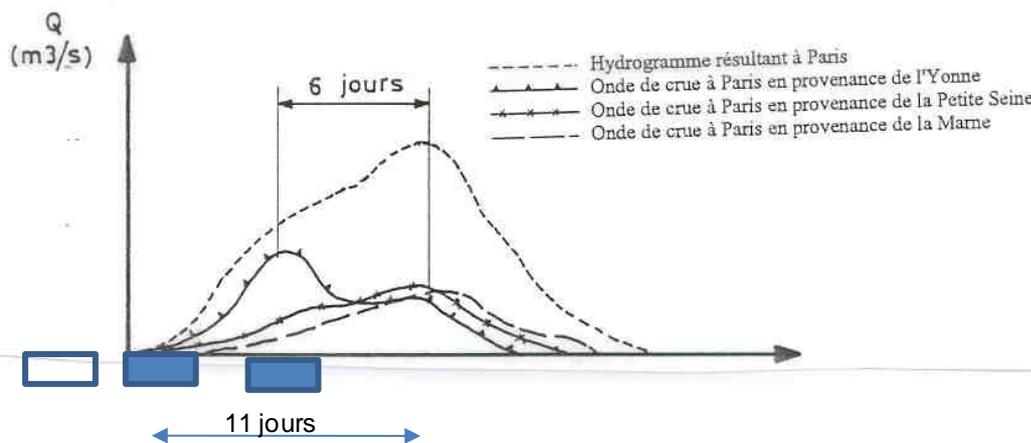
7.2.2 Episode de crue multiple

En pratique une perturbation pluvieuse est rarement isolée, elle se compose d'une succession de plusieurs épisodes pluvieux générant chacun un ensemble d'ondes de crues structurées selon le schéma de la figure 7.1. Un cas particulièrement intéressant en pratique est l'épisode pluvieux triple, à savoir trois épisodes pluvieux dont les pointes sont séparées par un intervalle de temps de 6 jours environ :



- Le premier épisode pluvieux est un épisode préparatoire de la crue, il contribue à saturer les terrains mais il ne génère pas d'onde de crue marquée,
- Le second épisode génère une onde de crue de l'Yonne qui atteint Paris 5 jours plus tard,
- Le troisième épisode génère une seconde onde de crue sur l'Yonne qui est susceptible d'interférer avec les ondes de crues de la Seine et de la Marne générées par l'épisode 2.

L'hydrogramme de crue résultant à Paris a l'allure suivante :

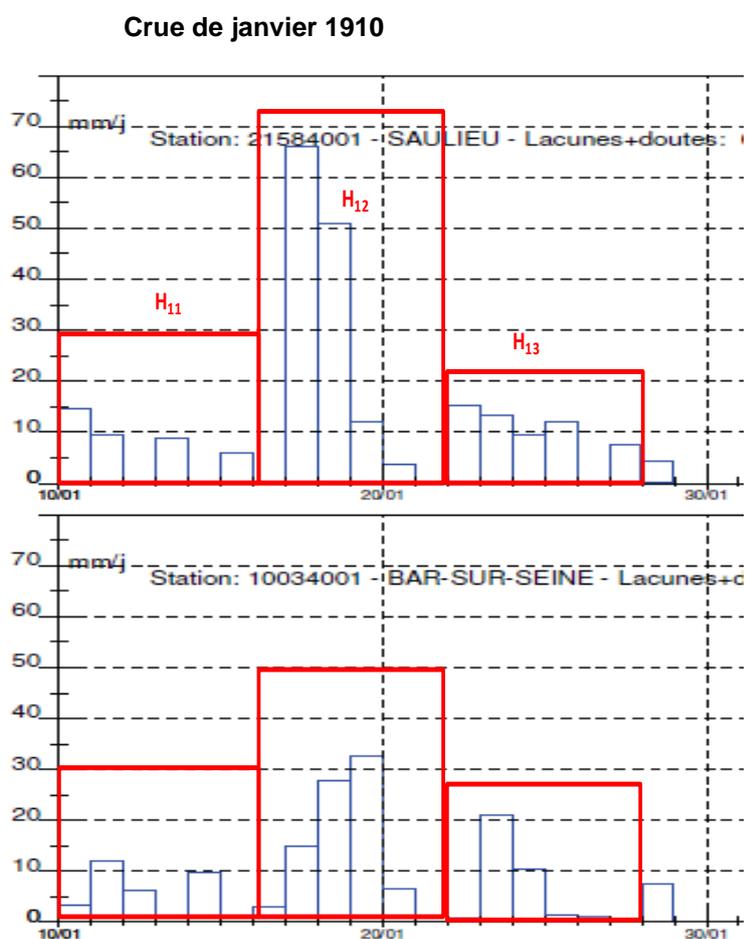


L'intervalle de temps séparant le début du second épisode de pluie et le passage de la pointe de crue à Paris est en moyenne égal à 11 jours.

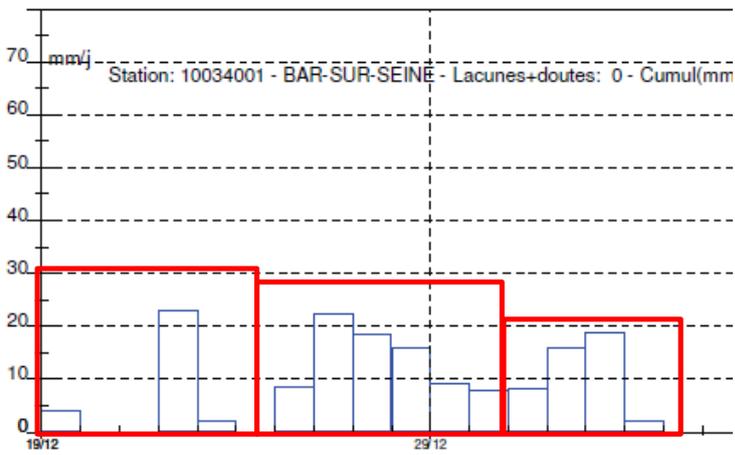
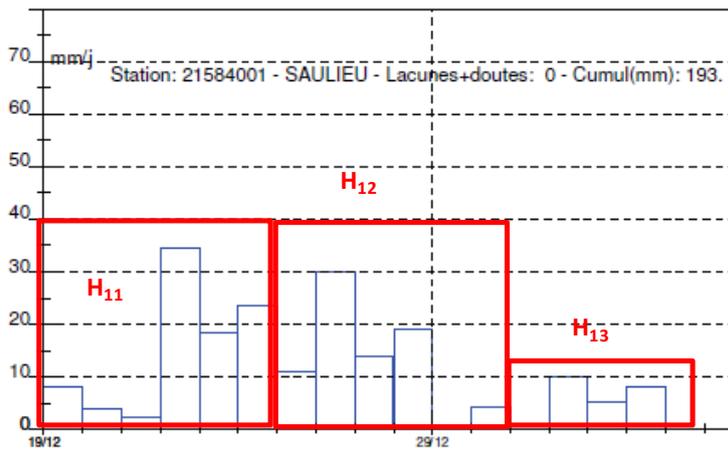
7.2.3 Durées caractéristiques des séquences pluvieuses

L'analyse des événements pluvieux associés aux crues historiques montre que chaque crue est généralement provoquée par une succession d'épisodes de quelques jours chacun. La durée de temps moyen séparant deux pics successifs est de 6 jours (avec un écart type de 1 jour) comme l'illustrent les hyétogrammes de pluies journalières relevés aux postes pluviométriques de Saulieu (Yonne) et Bar S/Seine pour les trois crues les plus importantes du 20^{ème} siècle :

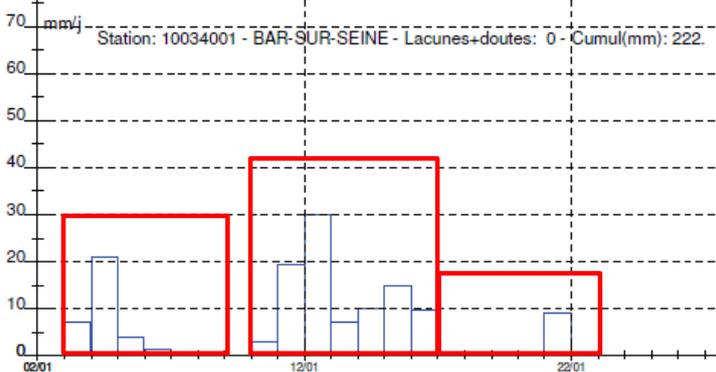
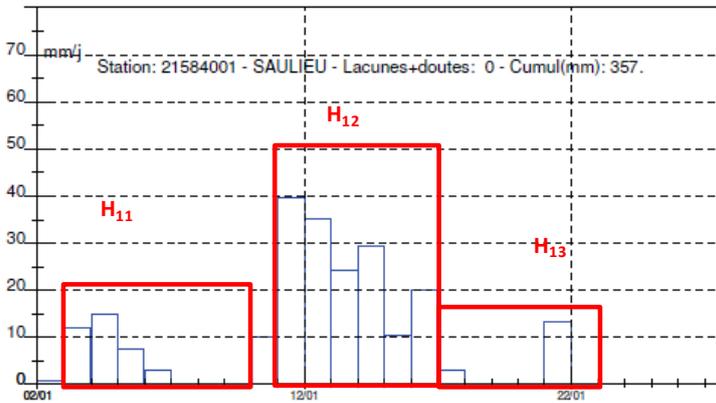
Figure 7-3 : lames d'eau journalières précipitées aux postes pluvio de Saulieu et Bar s/Seine.



Crue de janvier 1924



Crue de janvier 1955



7.3 SELECTION DES VARIABLES EXPLICATIVES

L'analyse ci-dessus et l'analyse des crues historiques des différents paramètres intervenant dans la genèse des crues historiques (annexe 1) suggèrent que la connaissance d'un nombre limité de paramètres suffit pour en déduire une bonne estimation du débit de crue à une station de contrôle. Cette relation de dépendance est formalisée par une relation de la forme :

$$Q_i = f (H_1, H_3, Q_0, E_{sol}, P_{spatial}, P_{temporel}) \quad (1) \quad \text{où :}$$

H_1 : hauteur de précipitation au cours d'un épisode pluvieux (durée moyenne de 3-5 jours)

H_3 : hauteur de précipitation au cours de trois épisodes pluvieux consécutifs,

Q_0 : débit de base à Paris Austerlitz au démarrage de la séquence pluvieuse, Q_0 est un bon indicateur de l'état d'humidité initiale des sols

E_{sol} : paramètre traduisent des conditions de sol particulières liées au gel ou à une couverture neigeuse et qui constituent un facteur aggravant pour le ruissellement,

$P_{spatial}$: paramètre traduisant une hétérogénéité de la distribution spatiale de la perturbation atmosphérique, par rapport à la répartition spatiale de la pluviométrie moyenne annuelle,

$P_{temporel}$: paramètre traduisant l'ordonnancement des trois épisodes pluvieux consécutifs dont le cumul correspond à la hauteur de précipitation H_3 .

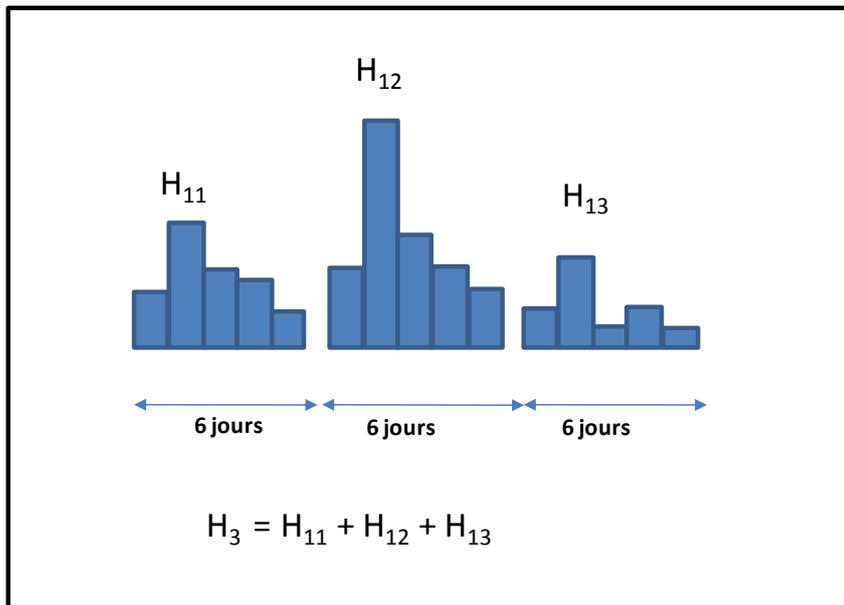
Les variables figurant en argument de la fonction « f » sont désignées variables primaires.

La fonction « f » est une fonction de transfert intrinsèque du bassin de la Seine : elle est définie par les modèles de production pluie-débit et les modèles de propagation calés sur un certain nombre d'événements de crue historiques.

Quelques remarques :

- Le paramètre H_3 englobe l'épisode pluvieux préparatoire et les deux épisodes qui les suivent. Il n'est significatif que pour les stations de contrôle aval, pour lesquels les temps de montée de la crue sont supérieurs à la durée d'un épisode ; pour les stations de Bar s/Seine, Blaincourt, Courlon et St Dizier seul H_1 est significatif, pour les stations en aval des confluences Yonne ou Marne le débit de crue est influencé par les deux paramètres (H_1 et H_3).
- Le paramètre $P_{temporel}$ dépend du modèle de pluie retenu : dans le modèle proposé ici une séquence pluvieuse générant le pic de crue à une station aval est définie comme suit :

Figure 7-4 : structure temporelle du modèle de production de lame d'eau pluviométrique



Le paramètre P_{temporel} exprime la répartition temporelle des hauteurs de précipitation H_{11} , H_{12} et H_{13} sachant que leur somme est égale la quantité cumulée H_3 donnée et que $H_1 = \max(H_{11}, H_{12}, H_{13})$. A un couple de valeurs (H_1 , H_3) donné sont associées plusieurs combinaisons possibles (H_{11} , H_{12} , H_{13}), chaque combinaison correspond à un tirage du paramètre aléatoire P_{temporel} . Par exemple en janvier 1910 et janvier 1955 l'épisode 2 a été le plus violent, alors qu'en janvier 1924 les hauteurs H_{11} , H_{12} , H_{13} étaient comparables.

En résumé la séquence (H_{11} , H_{12} , H_{13}) influe directement sur les mécanismes de superposition des ondes de crues en des sous bassins amont et donc le débit maximum résultant à l'aval.

7.4 ANALYSE DES PROPRIETES STATISTIQUES DES VARIABLES PRIMAIRES

7.4.1 Variables H_1 et H_3

La variable H_1 est définie comme la lame d'eau maximum annuelle précipitée sur un secteur pluviométrique donné au cours d'un épisode pluvieux. La variable H_3 est définie comme la lame d'eau maximum annuelle précipitée sur un secteur pluviométrique donné sur un intervalle de temps englobant trois épisodes pluviométriques. Les secteurs pluviométriques sont délimités à la figure 4.1.

Les échantillons de valeurs H_1 et H_3 sont tirés des tableaux de l'annexe 1 établis pour chaque crue : on a extrait de ce tableau les valeurs maxi au cours de chaque année hydrologique retenue (tous événements confondus), sur la période 1900 – 2000.

A titre d'exemple le tableau ci-dessus récapitule les lames d'eau précipitées durant l'épisode de crue de janvier 1910 :

	Pluviométrie cumulée enregistrée en mm							
	10 au 16/01/1910 (a)	17 au 20/01/1910 (b)	21 au 26/01/2010 (c)	27 au 29/01/1910 (d)	04 au 09/02/1910 (e)	10 au 16/02/1910 (f)	18 au 28/02/1910 (g)	du 10/01 au 28/02
Yonne amont	60	120	59	9	96	28	100	485
Yonne moyenne	21	67	15	6	23	19	47	211
Armançon/Serein	43	82	51	6	48	23	55	326
Seine/Aube amont	37	78	38	7	44	19	59	289
Marne amont	36	99	63	1	31	18	73	329
Marne moyenne	21	45	29	5	25	4	44	174
Seine Moyenne	24	55	26	5	32	12	43	199

Les lames d'eau H1 sont cerclées par le cadre de couleur bleue, les lames d'eau H3 sont obtenues en faisant la somme des hauteurs précipitées à l'intérieur du cadre de couleur rouge.

Le nombre d'années pour lesquels on dispose de ces données est égal à 45 : ce sont les années ayant connu des crues significatives du bassin de la Seine au 20^{ème} siècle.

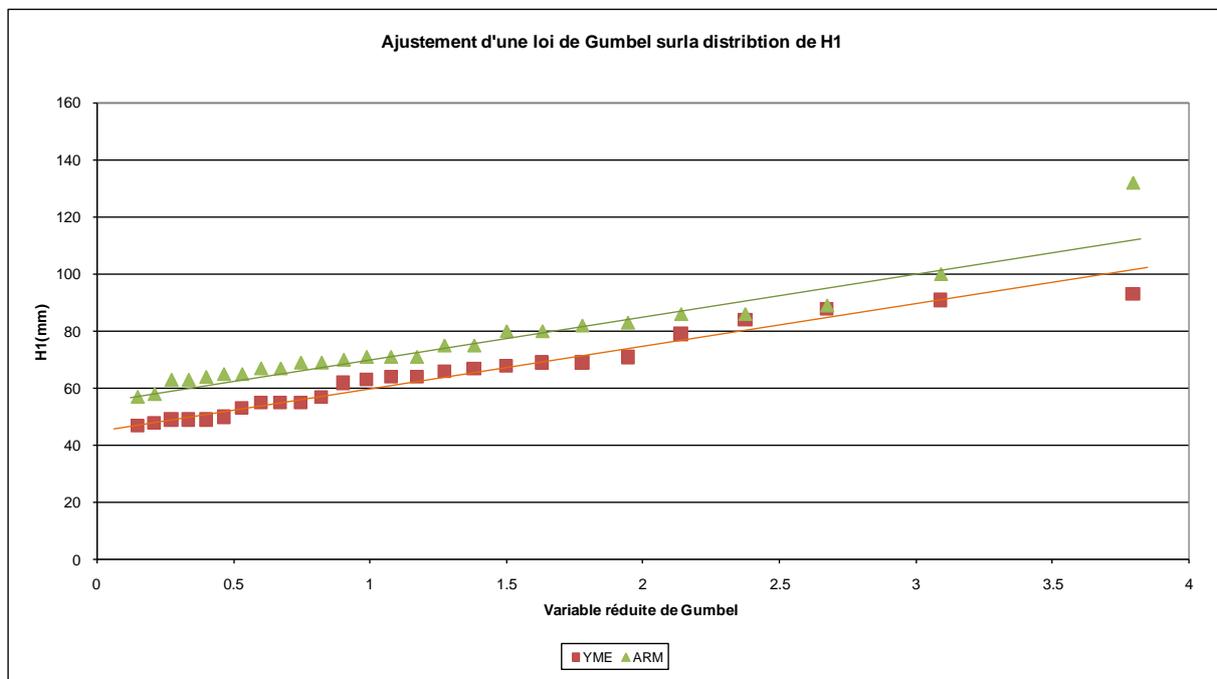
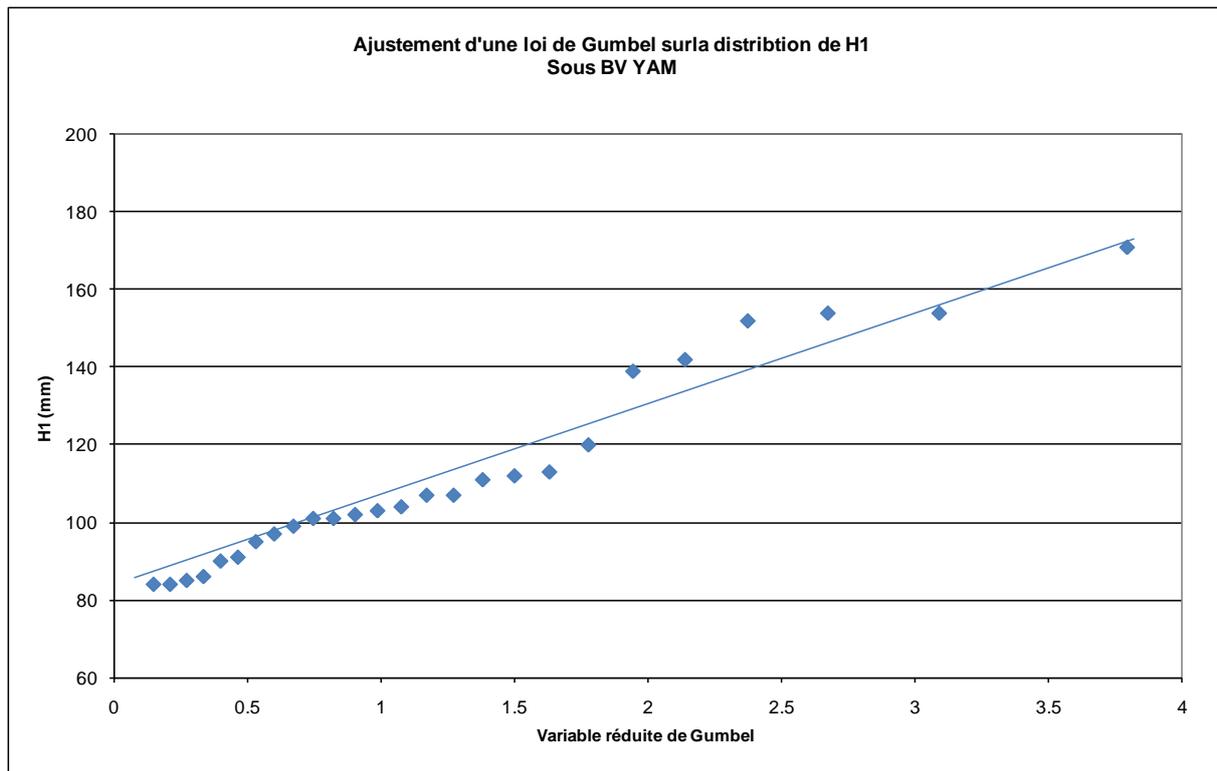
L'étape suivante consiste à ajuster les variables aléatoires H1 et H2 selon une loi de Gumbel. Les graphes pages suivantes présentent les résultats d'ajustements obtenus pour les 7 zones pluviométriques. L'échelle en abscisse est la variable de Gumbel réduite « u », rapportée à l'échantillon de 45 années. La période de retour associée aux paramètres H1 et H3 est déduite de cette variable par l'expression :

— —

L'application numérique donne les valeurs suivantes :

u	T
2	18 ans
3	45 ans
4	122 ans

Figure 7-5 : ajustement statistique du paramètre H1



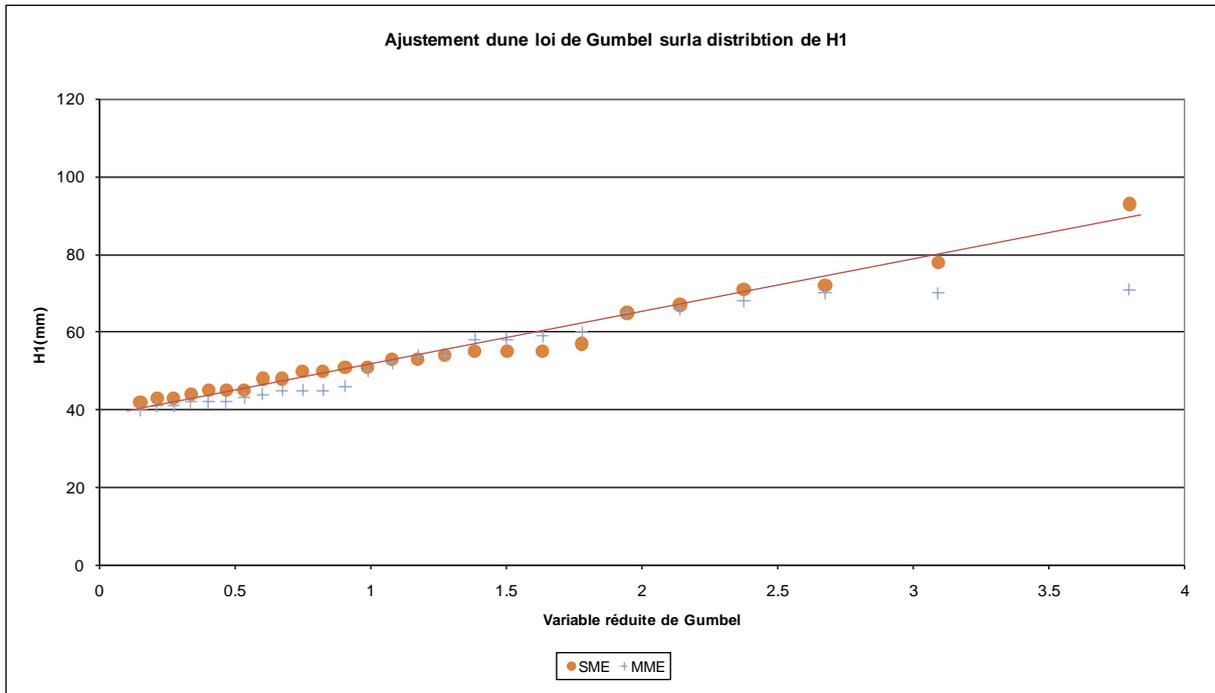
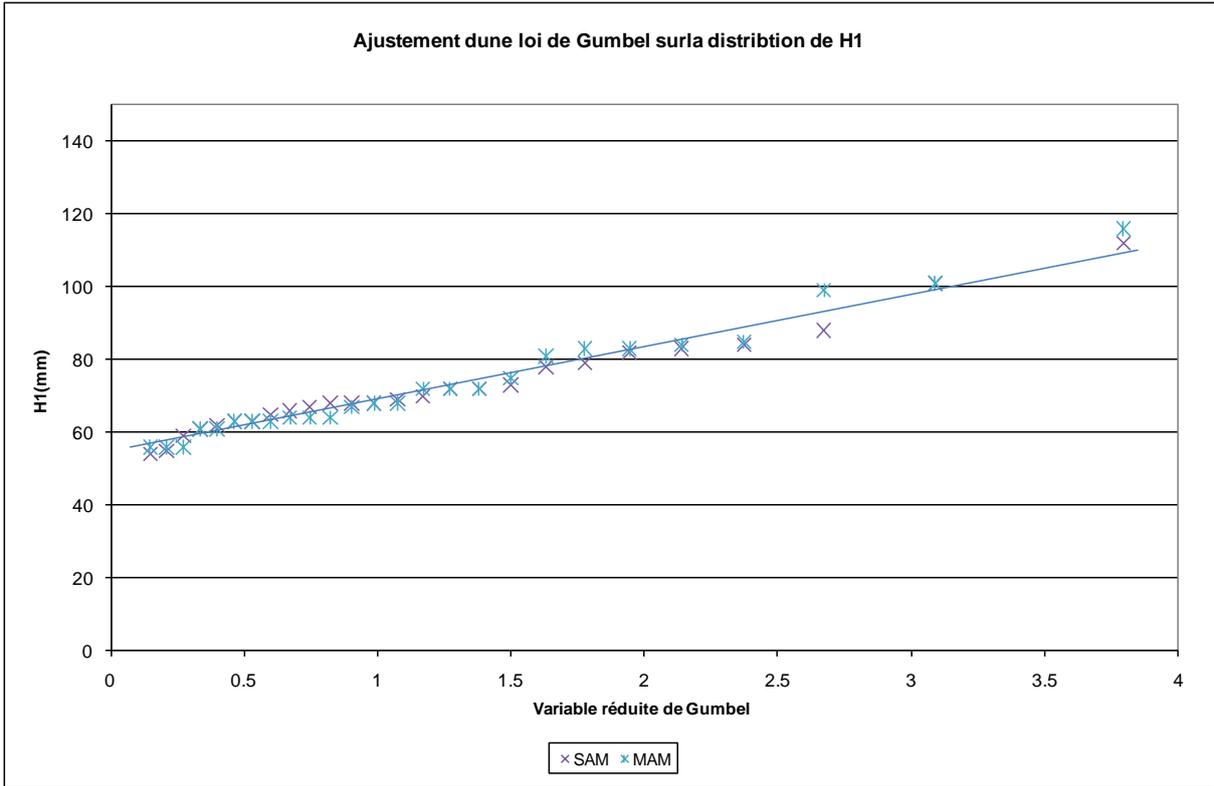
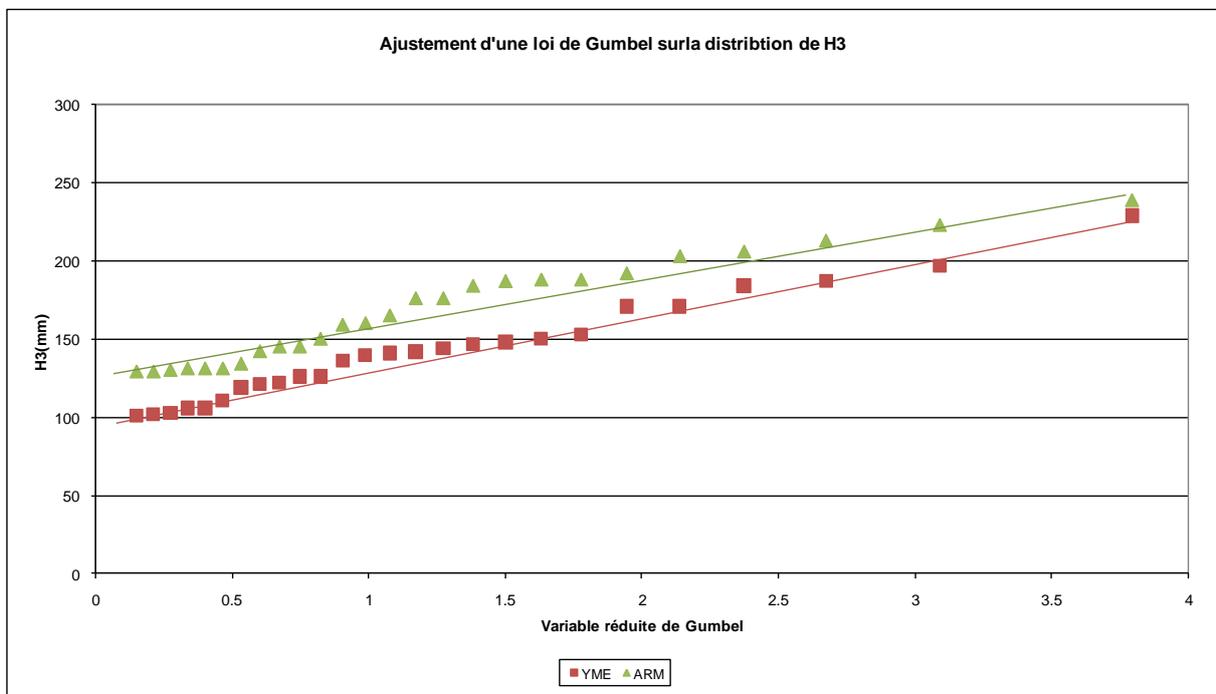
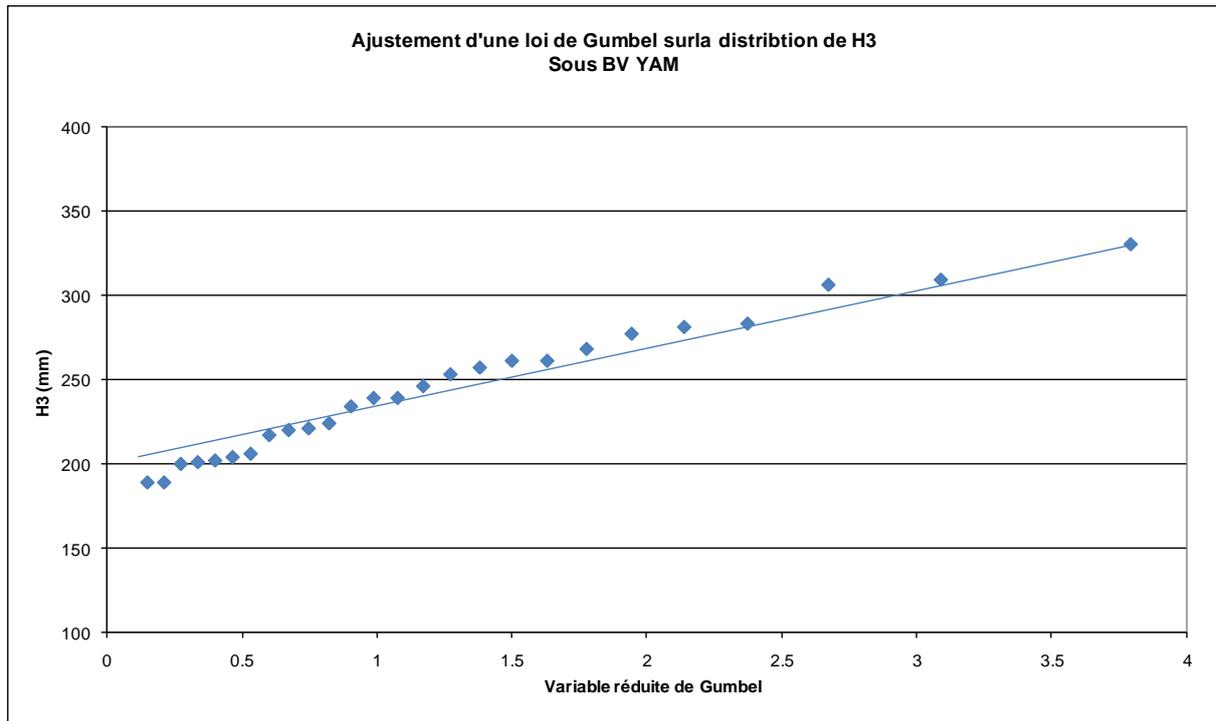
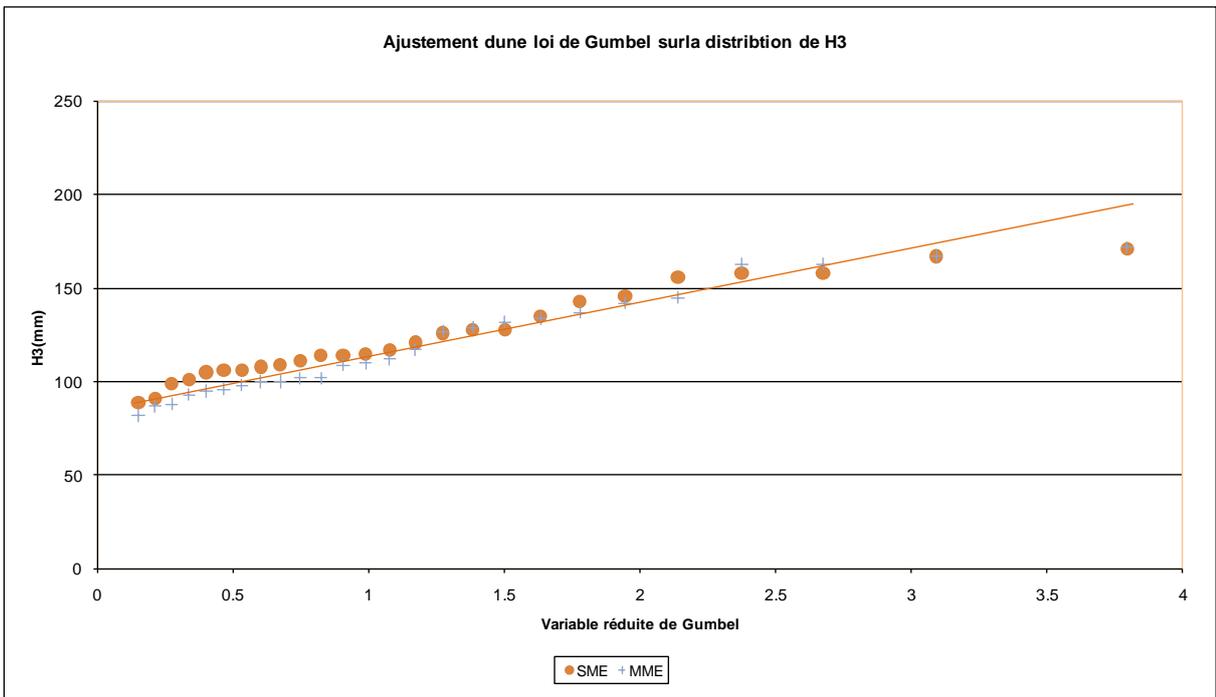
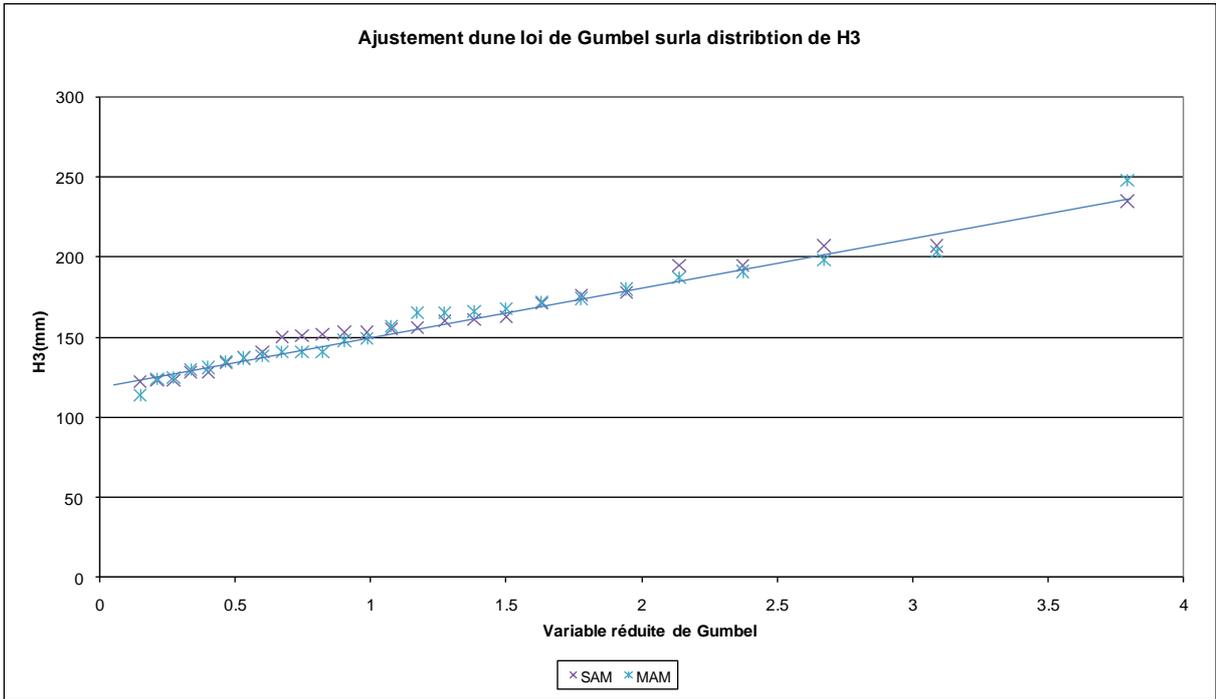


Figure 7-6 : ajustement statistique du paramètre H3





Toutes les courbes s'alignent bien sur la loi de Gumbel. Elles mettent par ailleurs en évidence :

- Des intensités pluvieuses analogues pour les couples (MAM, SAM) et (MME, SME),
- Des intensités légèrement plus fortes sur le bassin de l'Armançon que celui de l'Yonne moyenne,
- Des intensités nettement plus élevées pour le bassin de l'Yonne amont.

Pour illustrer ces propriétés le tableau suivant récapitule les ajustements de période de retour 100ans trouvés pour les différents bassins :

Bassin pluviométrique	H1 (mm)	H3 (mm)
YAM	170	330
YME	100	230
ARM	115	240
SAM	115	240
MAM	115	240
SME	90	200
MME	90	200

7.4.2 Rang d'apparition de l'épisode H1

La position relative de l'épisode pluvieux le plus intense pendant une perturbation pluviométrique doit être pris en compte dans l'analyse des crues. En effet, si l'épisode intense arrive en début de pluie, il aura plus tendance à participer à la saturation des sols plutôt qu'à générer du ruissellement, son impact sur les niveaux de Seine sera donc moins visible, que s'il survient en milieu de pluie, lorsque les sols sont déjà très humides.

Le tableau suivant indique pour un événement donné, la fréquence du rang d'apparition en fonction du nombre d'épisodes.

Nombre d'épisodes	Pourcentage	Rg1 (%)	Rg2 (%)	Rg3 (%)	Rg4 (%)
1	1.6	100	-	-	-
2	25.8	60	40	-	-
3	51	31.3	44.2	24.4	-
4	19.7	8	37	32	22.6

La deuxième colonne du tableau ci-dessus donne le pourcentage d'événements en fonction du nombre d'épisodes, on note que les événements à trois épisodes sont les plus fréquents, ce qui justifie le modèle de représentation sélectionné au §7.3. Les colonnes 3 à 6 donnent les rangs d'apparition de l'épisode de pluie intense. On note que pour les événements les plus fréquents (à trois épisodes), la pluie intense arrive plutôt en milieu de perturbation.

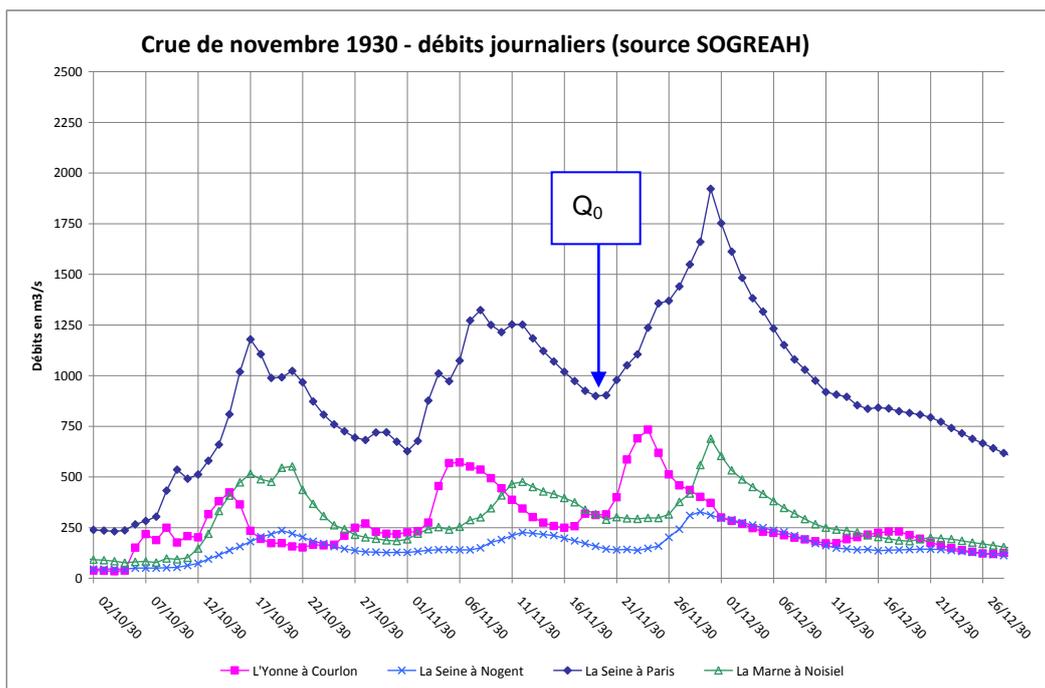
Cette remarque est cohérente avec les analyses faites en annexe 1 sur la typologie des crues, où on a pu observer que les pluies qui génèrent les plus fortes valeurs de débits de Seine à Paris, sont en général réparties comme suit :

- un premier épisode qui participe à la saturation des sols et à l'augmentation des débits de base des cours d'eau,
- un deuxième épisode qui génère des pics sur les cours d'eau notamment sur l'Yonne
- un dernier épisode qui soutient la décrue

7.4.3 Caractérisation de la variable Q_0

On appelle Q_0 la valeur du débit de la Seine à Paris au début d'un événement pluviométrique marquant, caractérisé par le couple (H1, H3). (Ci-dessous l'exemple de la crue de novembre 1930). Ce paramètre conditionne directement le débit maximal généré par un même événement : une perturbation pluviométrique survenant sur un faible débit initial de Seine provoque des effets moins importants que si le débit de Seine est déjà très élevé au début de la perturbation, pour une couple pluviométrique (H1, H3) donné.

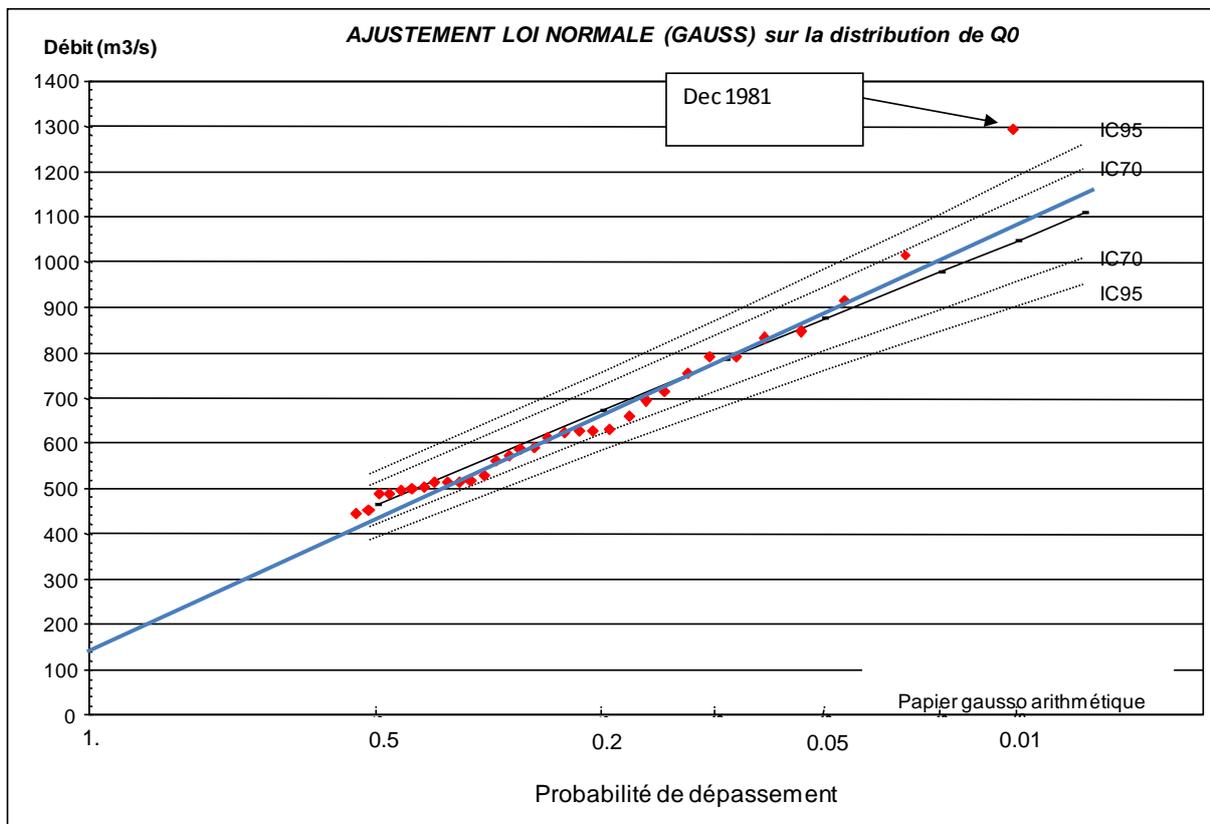
Figure 7-7 : Définition de la variable Q_0



L'analyse fréquentielle des épisodes de crues étudiés a permis d'ajuster une loi normale sur la distribution de la variable Q_0 . L'ajustement trouvé est représenté ci-dessous :

Figure 7-8 : Ajustement d'une loi normale sur la distribution de Q0

Probabilité de dépassement	Q0 (m³/s)	IC à 70% (m³/s)		IC à 95% (m³/s)	
1	120	102	180	100	200
0.5	460	414	508	387	535
0.2	670	618	727	586	758
0.1	780	720	846	683	883
0.05	870	802	945	760	987
0.02	980	894	1059	846	1107
0.01	1 050	956	1137	904	1189



Par ailleurs, les observations ne montrent aucune corrélation entre la hauteur d'eau cumulée H3 et le débit Q0 de la Seine (coefficient de corrélation entre H3 moyen et Q0 = -0.16). Les deux variables (Q0 et H3) sont donc statistiquement indépendantes.

La prise en compte de la variable Q0 dans notre analyse statistique n'est intéressante et à vrai dire n'a de sens que si elle correspond à un état non fortement perturbé de l'hydrologie en début de crue. On s'intéresse donc à des valeurs faibles de Q0, reflétant l'état des sols en début d'événement pluvieux plus que le ruissellement consécutif à un épisode pluvieux. Deux cas particuliers méritent d'être analysés l'attention :

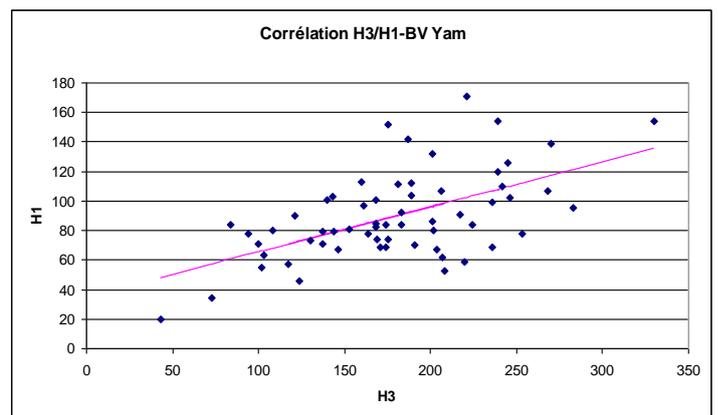
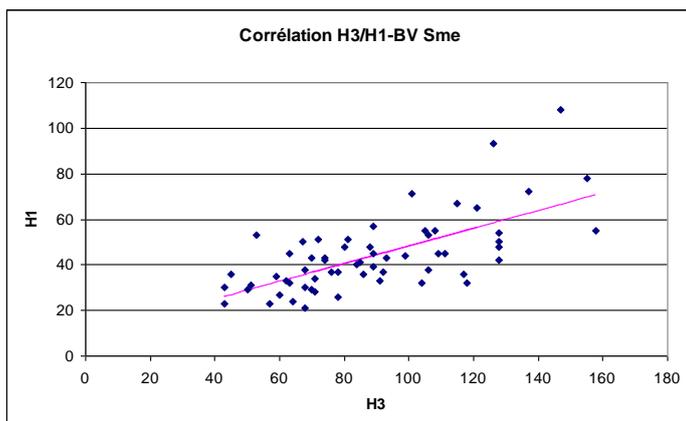
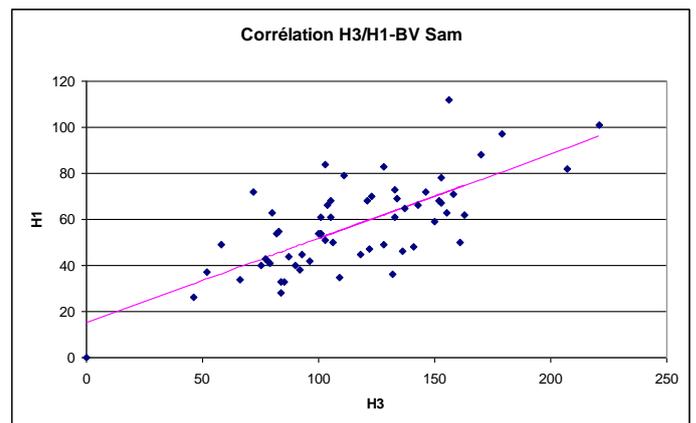
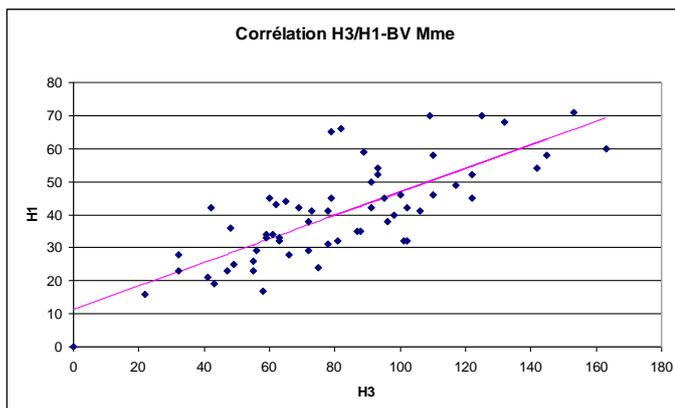
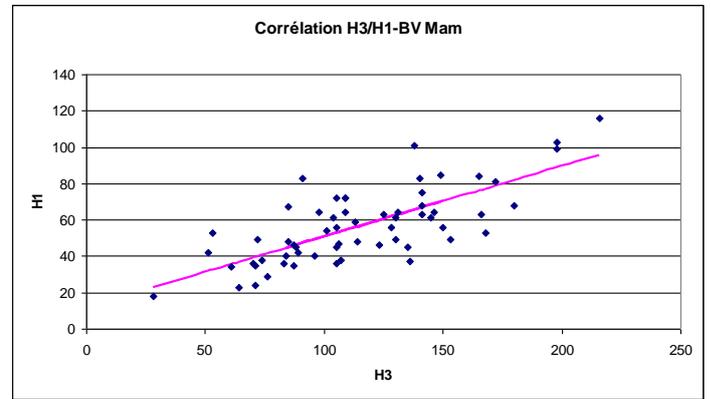
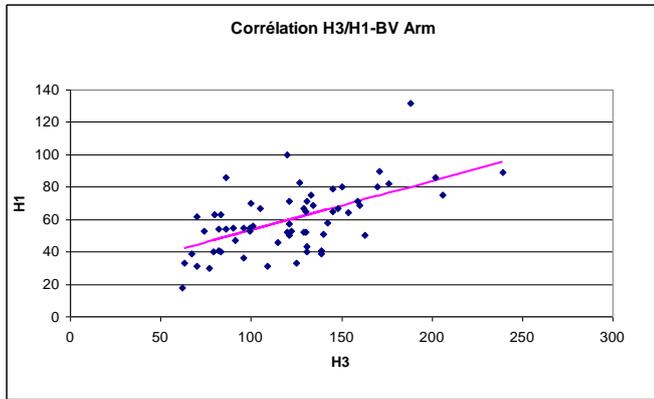
- Situation 1 : sol sec en début d'événement. Des épisodes préparatoires ont rempli la RFU mais le sol sous jacent est sec, le débit de la Seine est alimenté par la nappe. Cet état correspond à un débit moyen de la Seine à Paris de 150 m³/s environ. Cette situation se présente généralement en automne. A noter que c'est en automne que les plus fortes précipitations se produisent: les valeurs extrêmes associées aux épisodes pluvieux intenses (hauteur H1) sont provoquées par des épisodes survenant en automne plutôt qu'en saison hivernale.
- Situation 2 : sol humide en début d'événement. Cette situation se rencontre au début de la saison hivernale : des épisodes préparatoires en automne ont saturé la RFU mais ont également commencé à humidifier la couche de sols sous jacente, provoquant une montée du débit de la Seine à Paris autour de 500 m³/s. la Seine est alors en phase de ressuyage : si aucune pluie nouvelle ne survient le débit va se tarir progressivement, l'échelle de temps étant de quelques semaines. Par contre tout nouvel épisode pluvieux va provoquer un ruissellement immédiat en raison de l'état d'humidité des sols.
Cette situation correspond aux conditions initiales rencontrées pour les grandes crues historiques d'hiver : J10, J24, J55, J82.

Ces deux situations sont valorisées plus loin dans la détermination d'événements de crues synthétiques.

7.4.4 Analyse de corrélation entre les variables H1 et H3

Les graphes ci après reproduisent les relations trouvées entre ces deux variables pour les différentes régions pluviométriques retenues :

Figure 7-9 : courbes de corrélation entre les paramètres H1 et H3.



Les lois de corrélation trouvées montrent une certaine dispersion des valeurs autour de la droite de régression trouvée. Le coefficient de corrélation est dans tous les cas inférieur à 0.8. On constate néanmoins un état de dépendance de H1 par rapport à H3 qui peut être traduit sous la forme :

$$H1 = f(H3) + E, \text{ où :}$$

- $f(H3)$ est une relation linéaire connue liant H1 à H3,
- E est une variable aléatoire supposée obéir à une loi de Gauss avec une moyenne nulle et un écart type constant et indépendant de H3.

est lié à l'intervalle de confiance à 70% par la relation : $I_{70\%} = 0.6$

L'intervalle de confiance $I_{70\%}$ est déduit de l'inspection visuelle des graphes de la figure 7.9 pour chaque zone pluviométrique :

	$I_{70\%}$
yam	30 mm
yme	20 mm
arm	20 mm
sam	20 mm
mam	20 mm
mme	10 mm
sme	10 mm

7.4.5 Homogénéité spatiale des perturbations pluviométriques

Le périmètre géographique de l'étude a été subdivisé en 7 sous bassins versants à l'intérieur desquels les lames d'eau H1 et H3 sont reconstituées. L'objet de ce paragraphe est d'analyser les corrélations des lames d'eau précipitées d'un bassin versant à un autre. Nous établissons pour cela une matrice des corrélations sur les variables H_3 des différents sous bassins versants.

Figure 7-10 : coefficients de corrélations trouvées entre zones pluviométriques pour le paramètre H3

	yam	yme	arm	sam	mam	mme	sme
yam	1	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98
yme	0.98	1	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
arm	0.98	0.98	1	0.97	0.99	0.98	0.99
sam	0.98	0.98	0.97	1	0.98	0.99	0.98
mam	0.99	0.99	0.99	0.98	1	0.98	0.99
mme	0.98	0.99	0.98	0.99	0.98	1	0.99
sme	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	1

Les coefficients de corrélation prennent des valeurs très élevées, ce qui traduit une distribution spatiale de la pluviométrie relativement invariante pour les événements de crue sélectionnés. Les figures 7.11 et 7.12 sont des exemples de courbes d'ajustement, entre $(H_{3,yam} - H_{3,yme})$ et $(H_{3,yam} - H_{3,mme})$.

Cette propriété montre que d'un point de vue pluviométrique et vis-à-vis du paramètre intégrateur H3 on peut, pour les besoins de l'étude ne considérer qu'une seule famille de perturbations météorologiques, avec la même distribution spatiale des lames d'eau précipitées d'un événement à l'autre. Cette propriété est vraie à l'échelle temporelle associée au paramètre H3 (c'est-à-dire une quinzaine de jours), mais elle est également assez bien vérifiée si on travaille à l'échelle H1 (3-4 jours) :

Figure 7-11 : coefficients de corrélations trouvés entre zones pluviométriques pour le paramètre H1

	yam	yme	arm	sam	mam	mme	sme
yam	1	0.99	0.97	0.97	0.99	0.97	0.97
yme	0.99	1	0.96	0.95	0.98	0.97	0.96
arm	0.97	0.96	1	0.97	0.98	0.95	0.97
sam	0.97	0.95	0.97	1	0.98	0.98	0.94
mam	0.99	0.98	0.98	0.98	1	0.97	0.97
mme	0.97	0.97	0.95	0.98	0.97	1	0.92
sme	0.97	0.96	0.97	0.94	0.97	0.92	1

Autrement dit, pour les crues étudiées ici, il existe une excellente corrélation spatiale entre les lames d'eau précipitées d'un bassin pluviométrique à l'autre et pour des durées cumulées de trois jours et plus : pour la majorité des crues, la connaissance de la pluviométrie sur un secteur pluviométrique donné suffit pour connaître avec une bonne approximation la lame d'eau moyenne précipitée sur les autres secteurs.

Néanmoins les lames d'eau associées à une période de retour donnée ne se produisent pas exactement au même moment sur toutes les zones pluviométriques, ce que traduisent les coefficients de corrélation inférieurs à 1. Ce défaut de simultanéité conduit à surestimer la période de retour globale de l'événement de crue si l'on calcule les lames d'eau pour la période de retour simultanément sur chaque zone pluviométrique. Une façon de tenir compte de cette hétérogénéité est d'affecter un coefficient d'abattement sur les lames d'eau calculées pour la même période de retour sur chaque zone pluviométrique. Le coefficient d'abattement retenu dans la suite de l'analyse est 5%, correspondant à la moyenne des coefficients de corrélation trouvés entre les zones pluviométriques pour le paramètre H1.

Figure 7-12 : Corrélation entre H3 YAM et H3 YME

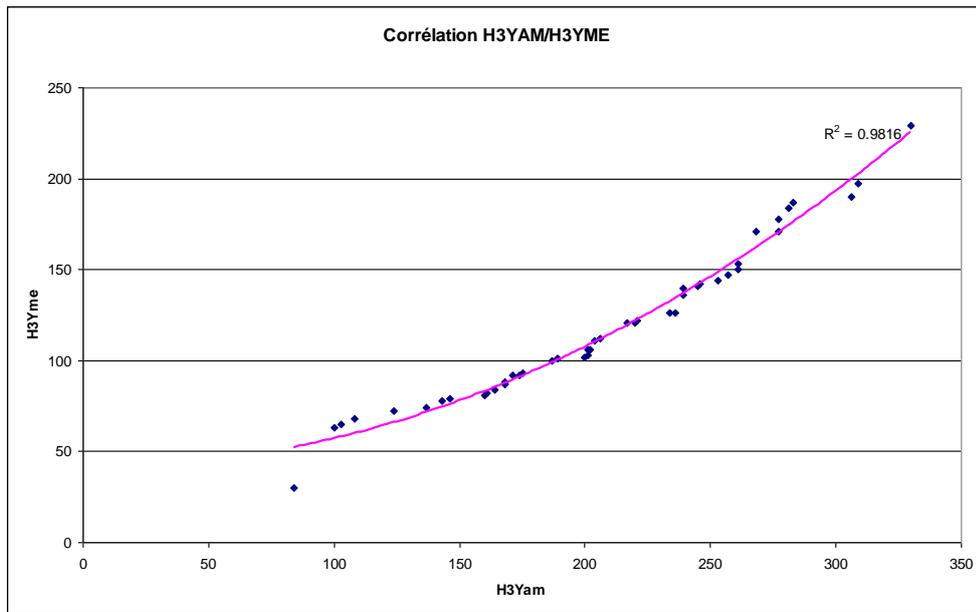
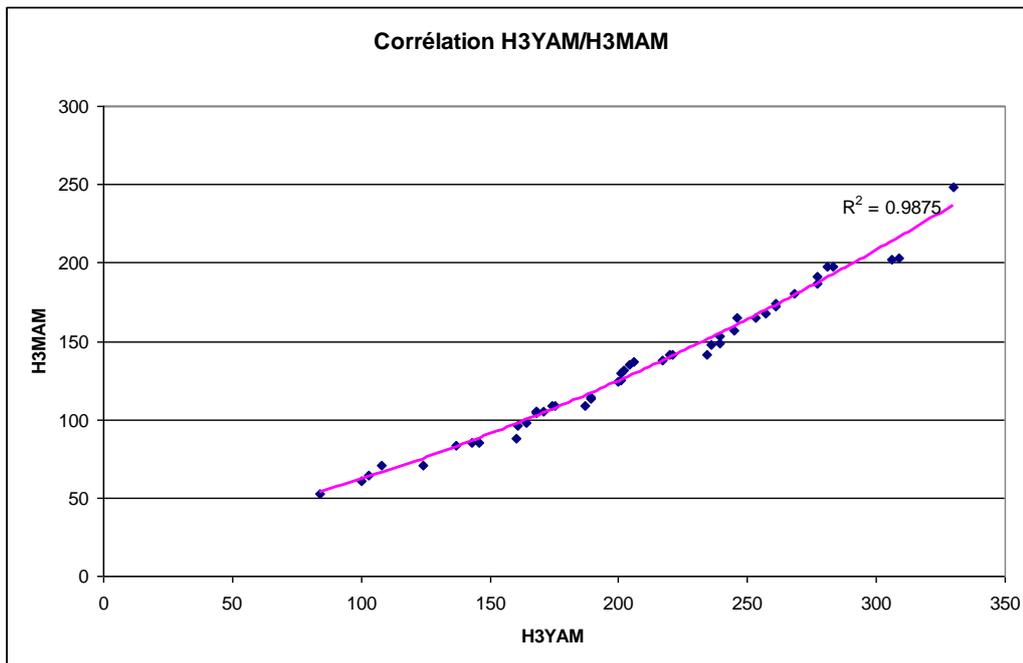


Figure 7-13 : Corrélation H3 YAM et H3 MAM



7.5 CONSTITUTION D'UNE FAMILLE D'ÉVÉNEMENTS DE CRUES SYNTHÉTIQUES

7.5.1 Sélection d'un jeu minimal de paramètres primaires

On dispose maintenant des éléments nécessaires pour construire et qualifier statistiquement une famille d'événements de crues synthétiques à partir des lois établies au §7.4.

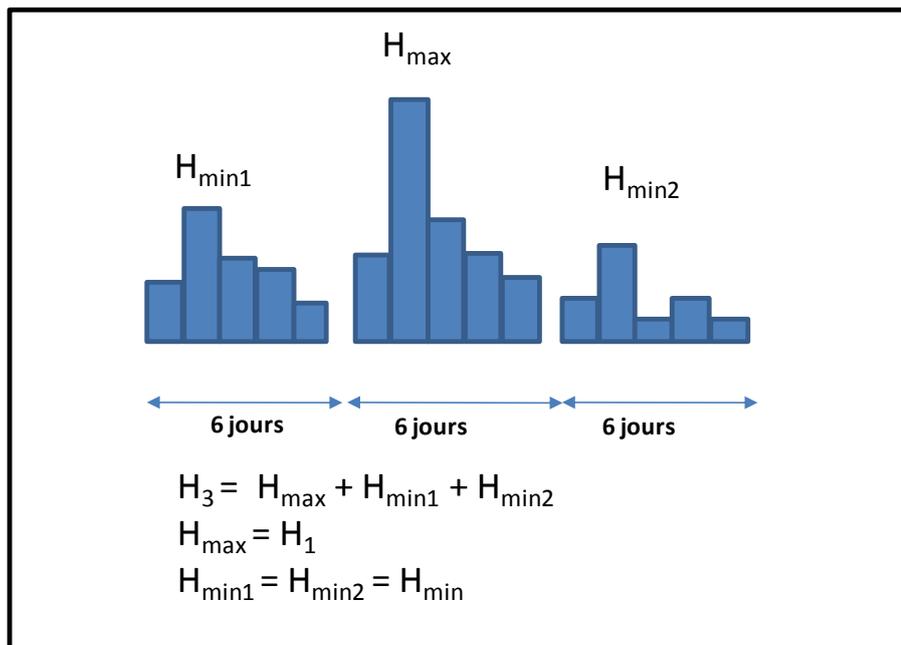
On part pour cela de la relation fonctionnelle posée au § 7.3 :

$$Q_i = f (H_1, H_3, Q_0, E_{sol}, P_{spatial}, P_{temporel}) \quad (1)$$

Cette relation se simplifie en faisant les hypothèses suivantes :

- Structure de la lame d'eau pluviométrique

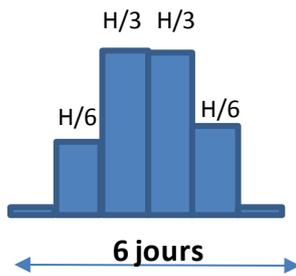
On considère un événement constitué de trois épisodes pluvieux successifs séparés de 6 jours :



L'épisode le plus intense H_{\max} est égal à H_1 . Cet événement pluviométrique est entièrement défini par la connaissance des deux paramètres H_3 et H_1 , sachant que par construction :

$$H_{\min} = H_{\min 1} = H_{\min 2} = 0.5 \times (H_3 - H_1)$$

Chacun des trois épisodes pluvieux est décrit par 4 jours consécutifs de précipitations, selon la fonction de forme suivante :



Ce modèle reflète la typologie la plus courante des perturbations météorologiques hivernales, et donc potentiellement les plus dommageables pour les risques d'inondations.

H1 est lié à H3 par la relation (cf. §7.4.4) : $H1 = f(H3) + E$.

Trois hypothèses de calcul sont retenues pour l'écart E ;

- Hypothèse moyenne : $E = 0$ - H1 est donnée par les courbes d'ajustement des graphes de la figure 7.9.
- Hypothèse basse : $E = -I_{70\%}$ - les trois épisodes sont alors à peu près d'égale importance. C'est le cas de la crue de Janvier 1924,
- Hypothèse haute : $E = +I_{70\%}$ - l'épisode intense est très marqué ; C'est le cas de la crue de Janvier 1910.

A noter que les trois hypothèses n'ont pas le même poids statistique : l'hypothèse moyenne se produit dans 50% des cas et est affecté d'un coefficient de pondération de 0.5, les 2 autres hypothèses se produisent moins fréquemment, chacune est associé à un coefficient de pondération de 0.25. Ces coefficients jouent un rôle dans le calcul de probabilité globale décrit au §7.52 ci après.

□ Les paramètres couverture de sol « E_{sol} » et débit initial « Q_0 ».

On suppose dans l'hypothèse de base l'absence de gel ou de couverture neigeuse : le ruissellement est fonction uniquement du taux d'humidité dans le sol. C'est le cas dans 85% des épisodes de crues analysés. On retient alors deux hypothèses discutées précédemment au §7.43 :

- Sols secs, associés au débit $Q_0 = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ à Paris
- Sols humides, associés au débit $Q_0 = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ à Paris

En pratique les coefficients de remplissage des sols sont ajustés en début d'événement pour obtenir le débit de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ à Paris.

□ Le paramètre de séquençement des épisodes pluvieux

Trois hypothèses sont à considérer :

- $H_{\text{début}}$: l'épisode pluvieux intense se produit en début d'événement – la séquence pluvieuse est définie comme suit : (H_{max} , H_{min} , H_{min})
- H_{milieu} : l'épisode pluvieux intense se produit en milieu d'événement – la séquence pluvieuse est définie comme suit : (H_{min} , H_{max} , H_{min})
- H_{fin} : l'épisode pluvieux intense se produit en fin d'événement – la séquence pluvieuse est définie comme suit : (H_{min} , H_{min} , H_{max})

En conclusion le jeu de paramètres retenus pour construire les événements synthétiques comprend :

- La période de retour de l'événement pluvieux T_{H3} servant à définir les hauteurs de précipitation sur chaque zone pluviométrique (cf. figure 7.6)
- Les conditions initiales de sols, en distinguant deux hypothèses : sols secs et sols humides,
- La répartition des lames d'eau précipitées entre les trois épisodes, avec trois hypothèses pour le calcul de $H1$ à partir de la connaissance de $H3$: faible, moyenne, forte.
- Le séquençement des épisodes pluvieux en distinguant trois hypothèses selon la position de l'épisode pluvieux intense : en début, au milieu ou en fin d'événement.

7.5.2 Construction d'événements hydrologiques équiprobables : méthode des courbes enveloppes

Pour attacher un événement à une période de retour globale donnée on applique le principe de la méthode des courbes enveloppes : cette méthode a été développée par HYDRATEC dans le cadre de l'étude des aléas le long de la Loire estuarienne et validée par le CETMEF. Elle a fait l'objet d'une publication dans la revue de la Houille Blanche de la SHF (numéro de mars 2010).

Cette méthode repose sur une analyse phénoménologique des corrélations possibles entre les différents paramètres excitateurs, de façon à faire émerger des paramètres primaires et à pouvoir qualifier statistiquement les combinaisons de ces paramètres. Plus précisément la démarche s'articule en cinq étapes :

1. détermination de variables primaires statistiquement indépendantes : X_1, \dots, X_p , les autres variables se déduisant de ces dernières par corrélation,

2. caractérisation statistique de chaque variable primaire par la fréquence annuelle de dépassement r_i ,
3. constitution, à l'aide de fonctions de forme, d'une famille d'événements synthétiques tels que : $r_1 \times r_2 \times \dots \times r_p = 1/T$,
4. calcul à l'aide d'un modèle hydrologique et hydraulique des débits et cotes d'eau maxima en tout point le long des vallées du bassin de la Seine.
5. l'aléa cherché est l'enveloppe des courbes de débits hauteurs maximal obtenus.

Dans le cas présent les variables primaires trouvées après analyse des phénomènes sont :

- Q_0 : débit de la Seine en début d'événement
- H_3 : lame d'eau pluviométrique cumulée sur trois épisodes successifs,
- H_1 : lame d'eau pluviométrique sur l'épisode intense.

Pour fixer les idées choisissons une période de retour globale de 100 ans : $T=100$

On connaît les périodes de retour associées à la variable H_3 . On connaît aussi la fonction de répartition de la variable Q_0 , et on sait par ailleurs que ces deux variables aléatoires sont indépendantes. La relation suivante s'applique donc :

$$P(Q_0 > q \text{ et } H_3 > h_3) = P(Q_0 > q) \times P(H_3 > h_3)$$

Si on raisonne en termes de périodes de retour la relation ci-dessus devient :

$$T_{(H_3, Q)} = T_{H_3} / P_Q \text{ où :}$$

- $T_{(H_3, Q)}$ désigne la probabilité conjointe de dépassement simultanée des valeurs (h_3 et q).
- P_Q désigne la probabilité : $P(Q_0 > q)$ en début de crue,

L'analyse est limitée à deux couples tels que $T_{(h_3, q)} = 100$ ans:

T_{H_3}	P_Q	Conditions de sols associées à P_Q
100 ans	1.	Sols secs : $Q_0=150 \text{ m}^3/\text{s}$
50 ans	0.5	Sols humides : $Q_0=500 \text{ m}^3/\text{s}$

Le premier cas correspond typiquement à une crue d'automne, le second cas est représentatif d'une crue hivernale. Une troisième combinaison peut être envisagée : celle d'une crue de printemps avec par exemple la combinaison ($T_{H_3}=20$ ans, $P_Q=0.2$). Ce cas n'a pas été analysé car il n'est pas majorant comparé aux deux autres cas.

Ces paramètres ainsi que le paramètre de séquençement des trains d'épisodes pluvieux déterminent le nombre de combinaison d'événements équiprobables de période de retour 100 ans :

Figure 7-14 : combinaisons d'événement de période de retour conjuguée T100ans

T_{H3}	Conditions initiales de sol	Position épisode pluvieux intense
100 ans	Sols secs	début
100 ans	Sols secs	milieu
100 ans	Sols secs	fin
50 ans	Sols humides	début
50 ans	Sols humides	milieu
50 ans	Sols humides	fin

Toutes les combinaisons de ce tableau sont réputées équiprobables, de période de retour conjuguée égal à 100ans. Elles n'ont par contre pas toutes le même impact sur les débits et niveaux maxima le long de la vallée. Le niveau de référence T100 en une station correspondra à la plus forte cote (ou le plus fort débit selon le paramètre d'aléa retenu) obtenue après simulation de l'ensemble des événements définis ci-dessus.

Un autre paramètre important est La répartition des lames d'eau précipitées entre les trois épisodes en distinguant trois hypothèses pour le calcul de H1 : hypothèse basse, moyenne et haute. Il convient donc en toute rigueur de multiplier par 3 le nombre de combinaisons ci-dessus, sachant que pour chaque combinaison « i » le débit à retenir est égal à :

$$Q^i = 0.25*Q_{bas}^i + 0.5*Q_{moy}^i + 0.25*Q_{haut}^i$$

La relation ci-dessus est approchée. Sa justification peut être établie à partir de considérations sur les propriétés des courbes Q(T).

En définitive le débit Q(T) à retenir en chaque point pour caractériser l'aléa de période de retour T est égal à :

$$Q(T) = \max (Q^1, Q^2, Q^3, \dots, Q^n) , n \text{ étant le nombre de combinaisons équiprobables.}$$

A noter que les débits trouvés par cette méthode en deux points distincts ne correspondent pas nécessairement à la même combinaison d'événements. Cette méthode présente donc le double avantage de fournir des valeurs d'aléa en tout point de la zone modélisée et aussi de préciser pour chaque point la combinaison d'événement qui détermine l'aléa local.

7.6 CONCLUSIONS

Le développement présenté ci-dessus avait un double objet :

- fournir une base méthodologique pour définir les événements synthétiques qui pourront être testés en phase 2,
- qualifier sur des bases hydrologiques argumentées les événements de crues historiques retenus pour l'étude de gestion de l'ouvrage de la Bassée.

Une autre application très importante de cette méthode est la possibilité de préciser l'aléa inondation en tous points des principales vallées du bassin de la Seine et notamment de lever les incertitudes actuelles sur le débit de référence à retenir à Paris et plus généralement à la traversée des agglomérations inondables de la région Ile de France pour un événement hydrologique dit « centennal ». La méthode des courbes enveloppes permet d'approcher cette notion sur des bases rationnelles. Un pré requis est de disposer d'un modèle de production et de propagation correctement calé sur l'ensemble des vallées principales du bassin de la Seine pour notamment reproduire correctement les mécanismes de production du ruissellement en fonction des conditions d'humidité des sols et de certaines situations particulières liées à la présence de sols gelés ou de manteau neigeux.

8 SYNTHÈSE

La phase 1 de l'étude, consacrée à l'analyse hydro-météorologique des crues historiques du bassin de la Seine, a débouché sur la sélection de 20 événements représentatifs de la diversité typologique des crues du bassin de la Seine.

Le présent rapport a également présenté une méthodologie de construction de crues synthétiques qualifiables statiquement à l'échelle du bassin. Ces éléments sont exploités en phase 2 de l'étude pour enrichir la bibliothèque du panel de crues historiques sélectionnées et tester la gestion des ouvrages de la Bassée vis-à-vis d'événements rares ou atypiques.

Ce volet hydrologique est complété en phase 2 par la reconstitution des apports hydrologiques de l'ensemble des crues historiques retenues, intégrant le développement et le calage de modules de production pluie-débit pour reconstituer les apports des crues antérieures à 1970. Ces modules de production servent également à développer le modèle de prévision des crues de l'Yonne, nécessaire au pilotage des ouvrages de la Bassée.

Annexe : Descriptif succinct des crues historiques retenues pour l'étude de gestion de la Bassée

Cette annexe regroupe les caractéristiques principales des crues que l'on se propose de retenir pour l'étude de gestion de l'ouvrage de la Bassée. Les caractéristiques détaillées sont fournis dans le document d'annexe 1.

Les paramètres suivants sont fournis ci après aux stations de l'Yonne à Courlon et de la Seine à Paris pour chaque crue :

- temps de montée, nombre de pointe de crue et durée séparant celles ci.
- volume de crue, de pluie et coefficient d'écoulement.

En moyenne les temps de montée de chaque crue à Paris sont de l'ordre de 20 à 25 jours, ce chiffre tient compte du chevauchement des ondes de crues générés par les épisodes pluvieux successifs. Il y a 4 pointes de débit par crue, et celles ci sont séparées de 8 à 9 jours.

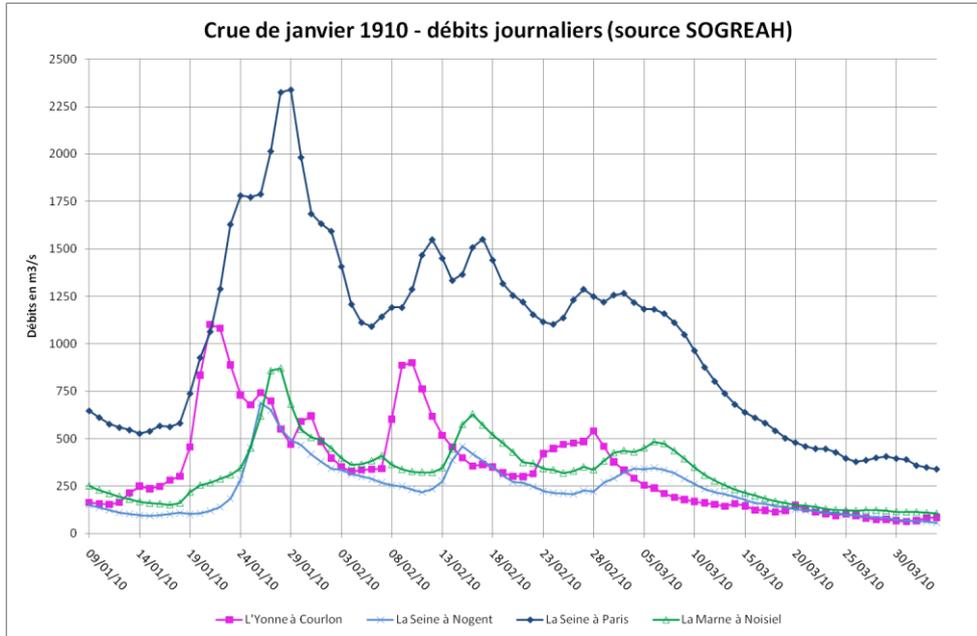
En termes de volume et coefficient d'écoulement, il en ressort que sur les crues sélectionnées, **en moyenne**,

- Le volume écoulé (sans le débit de base) de l'Yonne à Courlon est de 800 millions de m³ et de 2 200 millions de m³ pour la Seine à Paris.
- Le volume de pluie est de 2 200 million de m³ pour l'Yonne à Courlon et de 8 200 millions de m³ pour la Seine à Paris.
- Le coefficient d'écoulement de l'Yonne à Courlon est de 0.33 et de 0.27 pour la Seine à Paris.

Remarque importante : les hydrogrammes présentés ci après sont tirés de la base de données Sogréah. Ils sont reproduits à titre indicatif et peuvent présenter des différences parfois importantes avec les hydrogrammes de crues historiques, reconstitués en phase de l'étude.

Janvier 1910

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	3	11
Nombre de pointes de débit	5	6
Ecart de temps en jour entre les pointes	5 - 5 - 9 - 18	5 - 14 - 5 - 9 - 4

Pour l'Yonne à Courlon, 5 pointes de débit ont été constatés. Les 3 premières pointes de l'Yonne sont assez rapprochés dans le temps (≤ 5 jours). Ce sont les 2 premières pointes, qui sont à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris. Elles sont séparées de 5 jours. La seconde pointe de l'Yonne est alors concomitante avec celle de la Seine amont.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

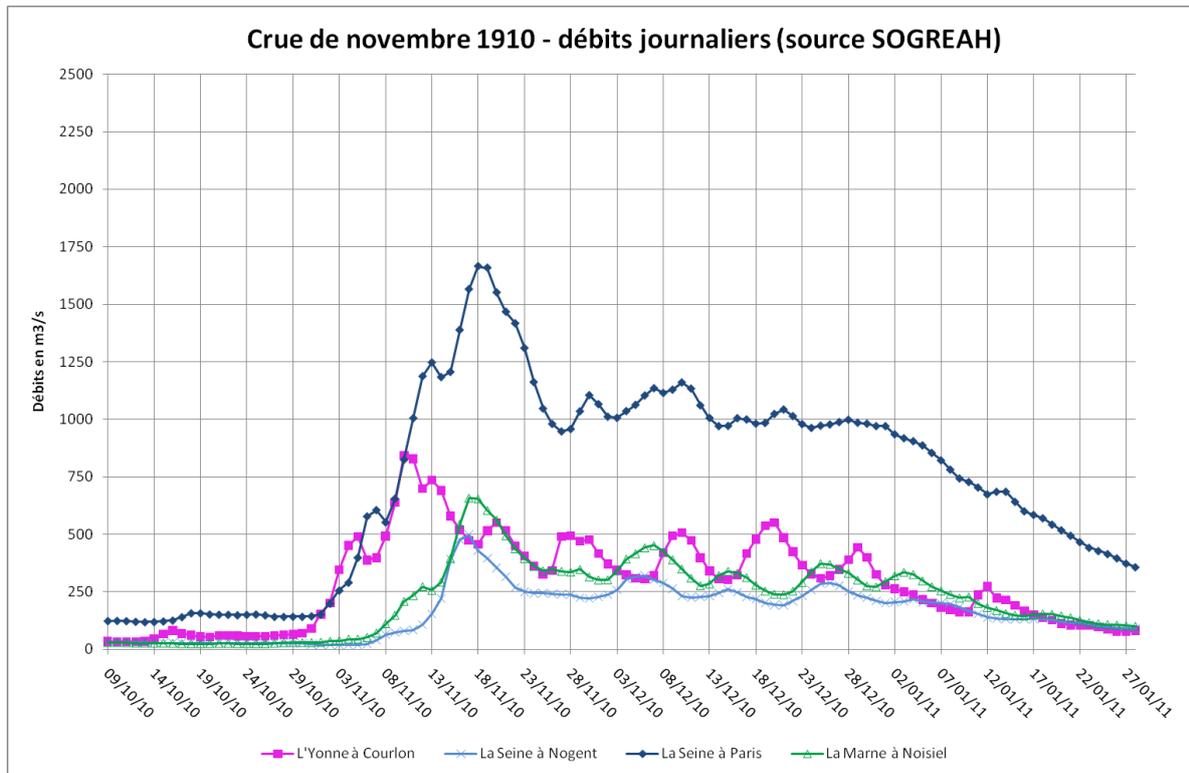
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	Du 17/01 au 04/03/1910	17/01 au 13/03/1910
Volume net ruisselé en million de m ³ *	940	3 200
Volume de pluie en million de m ³	2 900	10 200
Coefficient d'écoulement	0.32	0.31

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés de cette crue sont assez importants et traduisent à la fois une durée de crue conséquente (un peu inférieure à 2 mois) et des niveaux d'eau importants (amplitude des maximums importants). Les coefficients d'écoulement sur l'Yonne sont dans la moyenne et supérieurs à la moyenne pour la Seine à Paris. Il est intéressant de noter que les coefficients d'écoulement de l'Yonne à Courlon et de la Seine à Paris sont peu différents, ce qui traduit une tendance à une saturation des sols généralisées pour cette crue.

Novembre 1910

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	10	17
Nombre de pointes de débit	9	9
Ecart de temps en jour entre les pointes	5 - 3 - 7 - 7 - 13 - 10 - 9 - 14	6 - 5 - 12 - 7 - 3 - 6 - 5 - 24

Pour l'Yonne à Courlon, 9 pointes de débit ont été constatés. Les 5 premières pointes de débits sont assez rapprochées dans le temps : elles varient entre 3 et 7 jours. C'est entre la 3^{ème} et la 4^{ème} pointe de débit de l'Yonne à Courlon, qui sont séparées de 7 jours, que les niveaux les plus hauts sur la Seine à Paris ont été constatés.

Il n'y a donc pas eu concomitance à proprement parlé des débits de l'Yonne et de la Seine amont. Cependant, il est à noter que le débit le plus fort sur la Seine à Paris est dû à l'arrivée de la seconde pointe de débit de la Seine amont (et de la Marne) conjugué à des débits de 'base' de l'Yonne à Courlon encore élevés (soutient de la décrue par des épisodes pluvieux successifs).

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	31/10/1910 au 22/01/1911	31/10/1910 au 27/01/1911
Volume net ruisselé en million de m ³ *	2 000	4 900
Volume de pluie en million de m ³	4 000	12 800
Coefficient d'écoulement	0.49	0.38

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

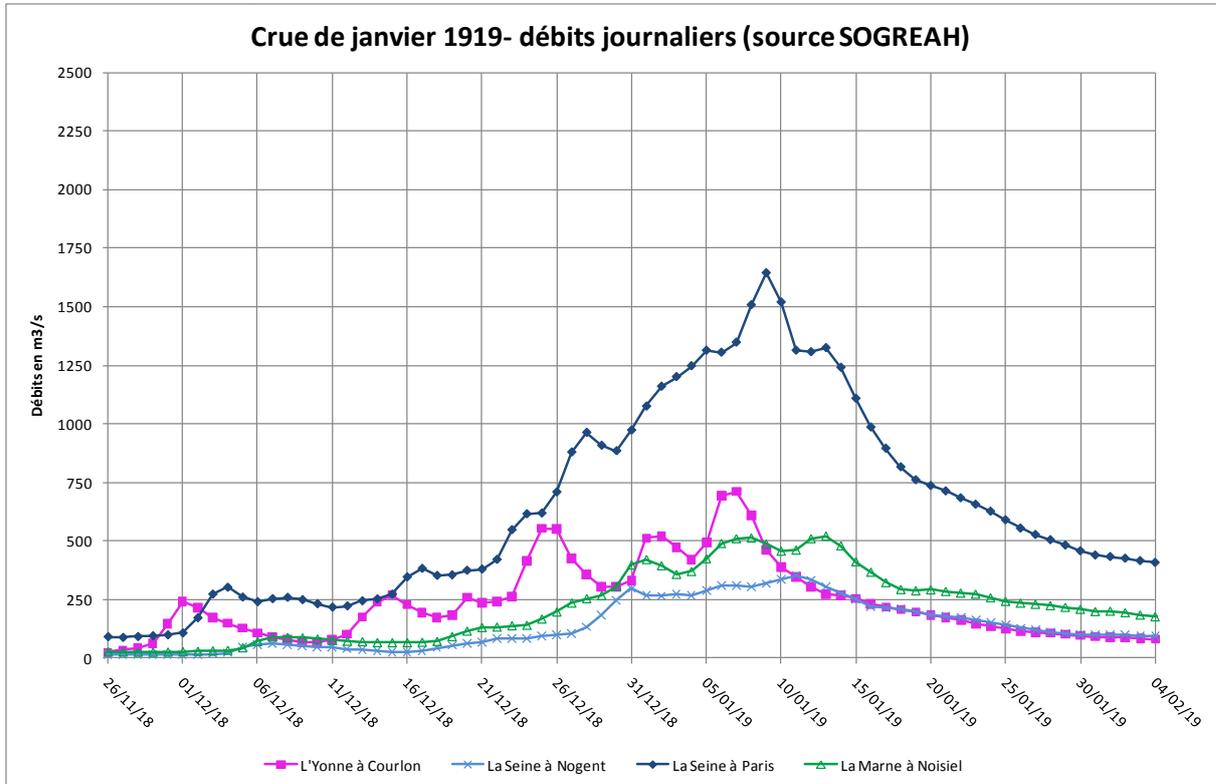
Les volumes ruisselés sont là aussi très importants (ils sont de l'ordre de 2 fois supérieurs aux volumes moyens des 20 crues ici analysés). Ils sont la résultante d'une durée de crue particulièrement importante : près de 3 mois, pendant laquelle les pluies ont été soutenues.

Les niveaux d'eau atteints ont aussi été assez importants.

Les coefficients d'écoulement sont parmi les plus forts des 20 crues ici analysées (plus la pluviométrie est longue et soutenue, plus les sols ont tendance à se saturer en eau).

Janvier 1919

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	39	41
Nombre de pointes de débit	6	7
Ecart de temps en jour entre les pointes	14 - 5 - 5 - 8 - 5	4 - 9 - 11 - 8 - 4 - 4

Pour l'Yonne à Courlon, 6 pointes de débit ont été constatées. La première et la seconde pointe de débit sont assez espacées (environ 14 jours), alors que les suivantes sont beaucoup plus rapprochées dans le temps (comprises entre 5 et 8 jours). C'est la dernière pointe de débit qui est la plus importante sur l'Yonne à Courlon. Elle arrive en même temps que la pointe de débit de la Seine amont et de la Marne générée par l'épisode pluvieux précédent. C'est la concomitance de ces pointes de débit qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris pour cet événement.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	29/11/1918 au 26/1/1919	29/11/1918 au 31/1/1919
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	900	2 300
Volume de pluie en million de m ³	2 500	9 200
Coefficient d'écoulement	0.37	0.25

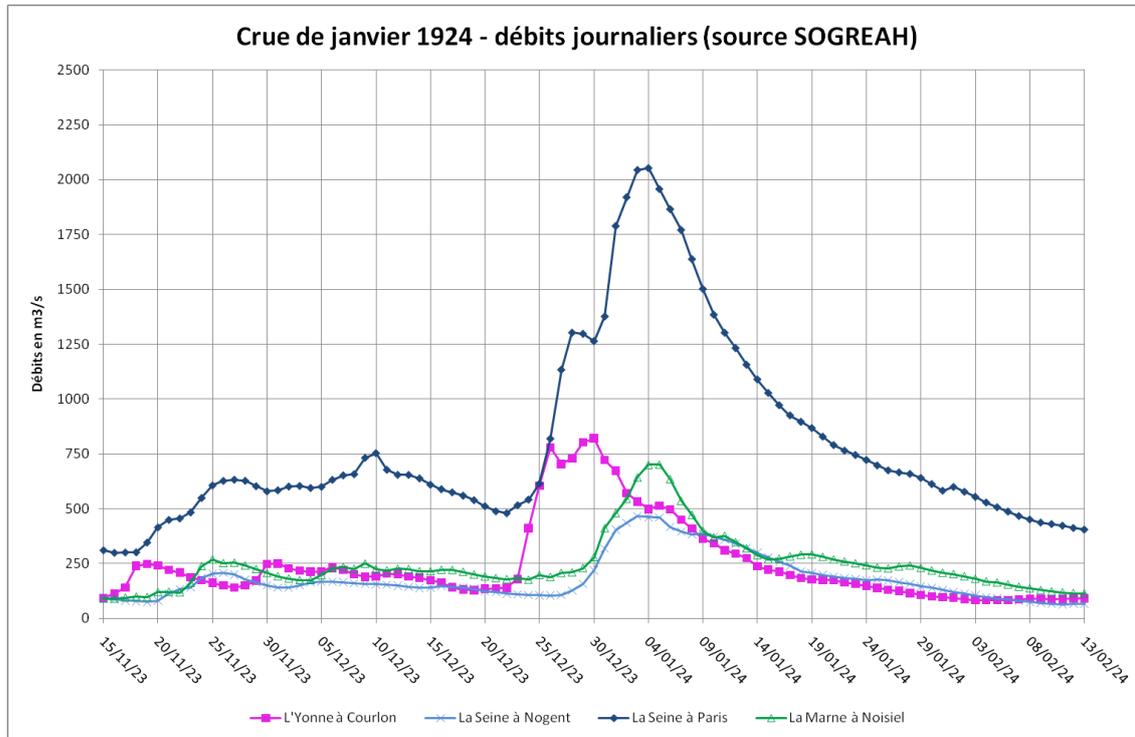
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes (ruisselés et de pluie) sont un peu supérieures à la moyenne des 20 crues ici analysées. Ceci peut principalement s'expliquer par la durée longue de cette crue.

Les coefficients d'écoulement sont quant à eux de l'ordre de la moyenne de ceux des 20 crues de calage ici étudiées.

Janvier 1924

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	7	10
Nombre de pointes de débit	3	2
Ecart de temps en jour entre les pointes	4 - 5	7

Pour l'Yonne à Courlon, 3 pointes de débit ont été constatées. Elles sont rapprochées dans le temps (≤ 5 jours). C'est la seconde pointe de débit qui est la plus importante sur l'Yonne à Courlon. Elle se fait sentir 5 jours plus tard sur la Seine amont et la Marne aval. Les pointes de débit de la Seine amont et de la Marne sont alors concomitantes avec la 3^{ème} pointe de débit de l'Yonne à Courlon (qui arrive 5 jours après la précédente).

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	22/12/1923 au 18/01/1924	22/12/1923 au 26/01/1924
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	700	1 800
Volume de pluie en million de m ³	1 700	6 400
Coefficient d'écoulement	0.41	0.28

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

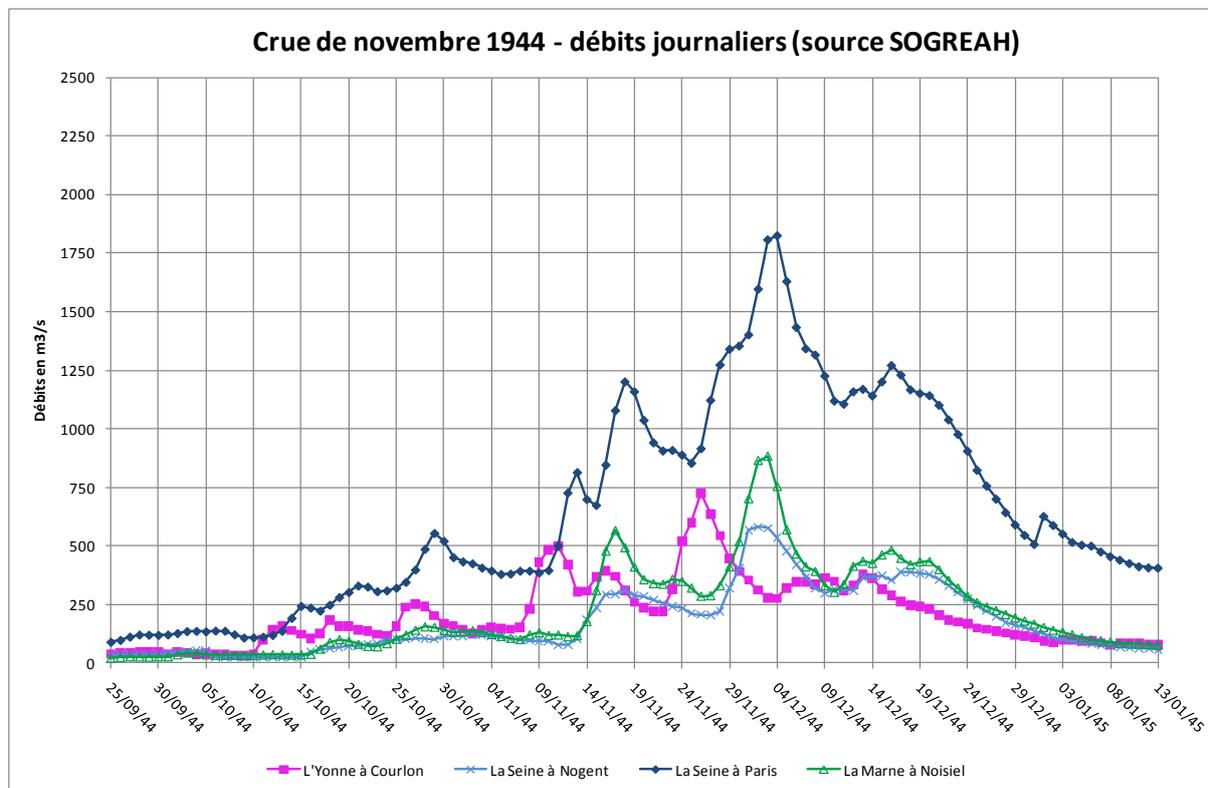
Les volumes (ruisselés et de pluie) sont globalement compris dans la moyenne des 20 crues ici analysées.

Il faut cependant noter que le coefficient d'écoulement de l'Yonne à Courlon est bien supérieur au coefficient moyen obtenu pour les 20 crues de calage ici étudiées. Ceci peut corroborer l'analyse des crues présentées en annexe qui indique un épisode neigeux probable juste avant le début de crue.

Le coefficient de la Seine à Paris est quant à lui, un peu supérieure au coefficient moyen des 20 crues ici étudiées.

Novembre 1944

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	47	55
Nombre de pointes de débit	8	9
Ecart de temps en jour entre les pointes	5 – 9 – 15 – 5 – 10 – 13 – 4	6 – 8 – 15 – 5 – 5 – 16 – 9 – 3

Pour cette crue, il y a eu de nombreuses pointes de débits de l'Yonne à Courlon. C'est la sixième pointe de débit qui a été la plus importante pour l'Yonne à Courlon. Les pointes de la Seine amont et de la Marne correspondantes arrivent 5 à 6 jours plus tard. C'est l'arrivée de cette onde de crue de la Seine amont et de la Marne qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	10/10/1944 au 27/12/1944	10/10/1944 au 31/12/1944
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	1 200	3 400
Volume de pluie en million de m ³	4 000	15 700
Coefficient d'écoulement	0.30	0.21

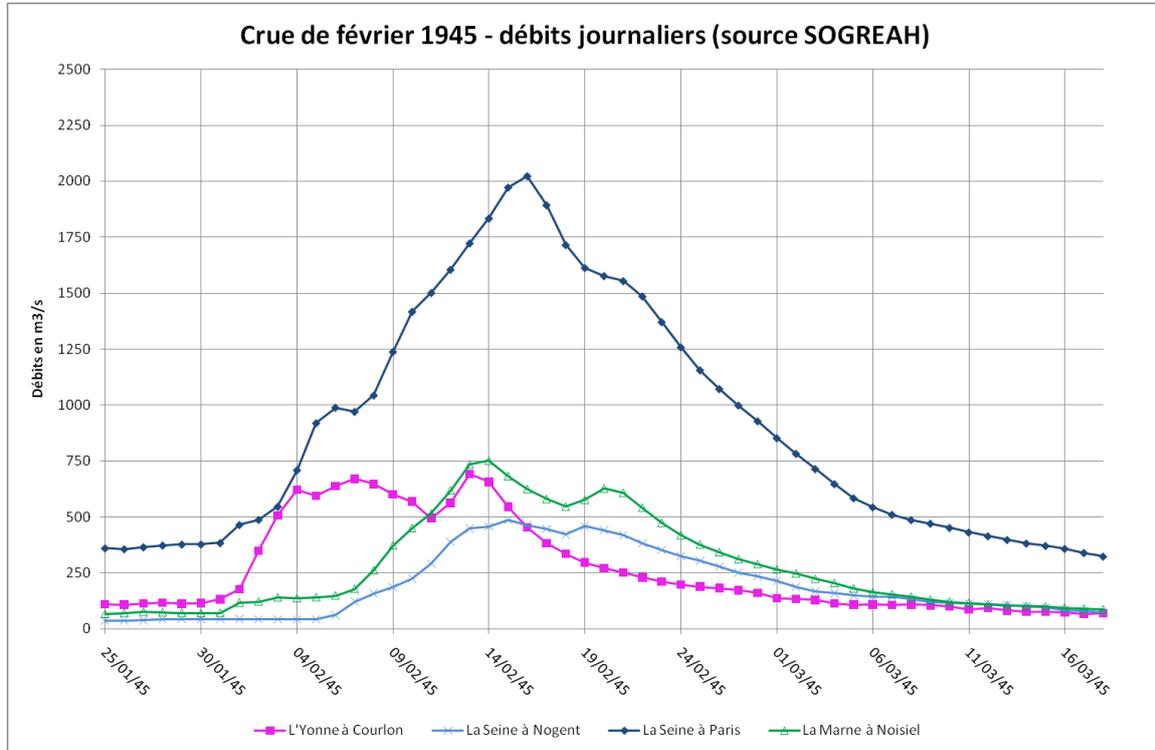
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés et de pluie sont très supérieurs à la moyenne de ceux des 20 crues ici étudiées. Ils sont globalement 2 fois supérieurs aux moyennes. Ceci peut s'expliquer par la durée longue de cette crue.

Les coefficients d'écoulement sont quant à eux un peu inférieurs aux moyennes obtenues pour les 20 autres crues. Il est rappelé qu'en début de crue, les sols n'étaient pas saturés en eau.

février 1945

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	12	16
Nombre de pointes de débit	3	2
Ecart de temps en jour entre les pointes	3 - 6	10

Les pointes de débits de l'Yonne à Courlon sont rapprochées dans le temps (inférieures à 6 jours). C'est la troisième pointe de débit qui est la plus importante pour l'Yonne à Courlon. Elle est concomitante avec celle de la Seine amont et de la Marne aval. C'est la concomitance de ces débits qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	31/1/1945 au 24/2/1945	31/1/1945 au 7/3/1945
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	600	2 200
Volume de pluie en million de m ³	1 300	3 900
Coefficient d'écoulement	0.46	0.55

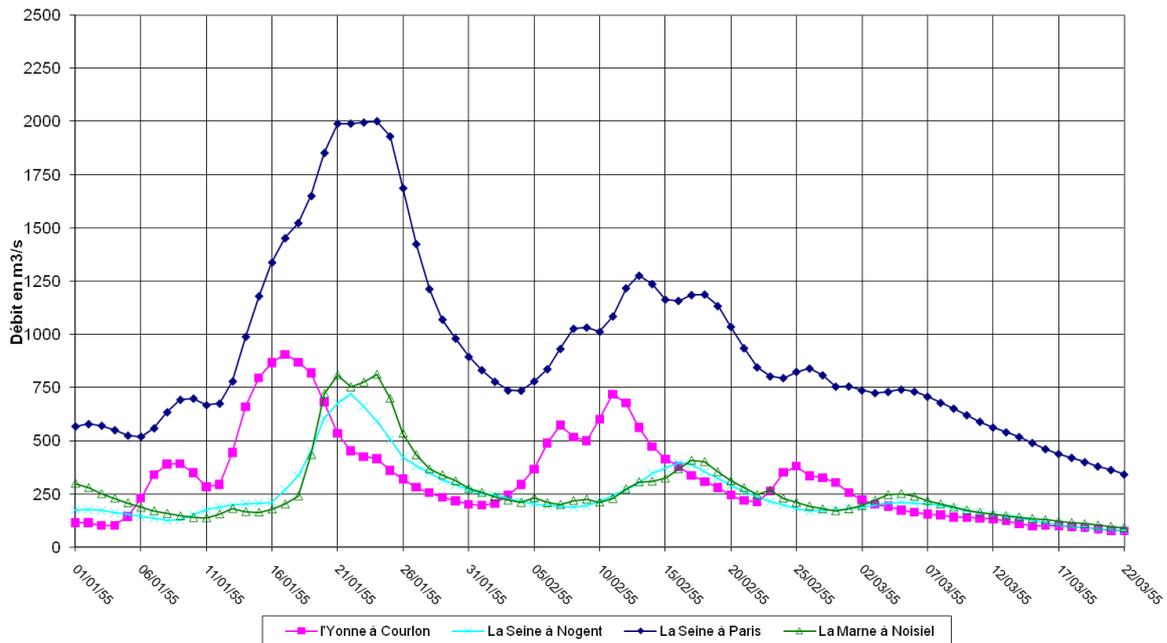
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont compris dans la moyenne de ceux des 20 crues ici étudiées. Par contre les volumes de pluie sont bien inférieurs. Il en résulte des coefficients d'écoulement importants. Ces coefficients d'écoulement importants peuvent s'expliquer par les facteurs neige et gel. En effet (on pourra se référer à l'annexe présentant l'analyse détaillée des crues), les 3 semaines précédents cette crue ont été particulièrement froides.

Janvier 1955

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.

Crue de janvier 1955 - Débits naturels journaliers (source SOGREAH)



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	12	17
Nombre de pointes de débit	5	7
Ecart de temps en jour entre les pointes	8 - 21 - 4 - 14	12 - 18 - 4 - 9 - 3 - 4

Il y a eu 5 pics de crue de l'Yonne à Courlon pour cette crue. C'est la première séquence de crue, qui comporte les 2 premiers pics sur l'Yonne à Courlon, qui a engendré les niveaux les plus hauts constatés pour cette crue.

Pour l'Yonne à Courlon, c'est la 2^{ème} pointe de débit qui a été la plus importante. Il est à noter qu'un épisode pluvieux est venu gonfler les apports de l'Yonne dans la phase de décrue suivant cette pointe, et ce juste après l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont. C'est l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont et de la Marne, conjuguée à cette phase de décrue de l'Yonne à Courlon qui a généré les niveaux les plus importants constatés pour cette crue sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

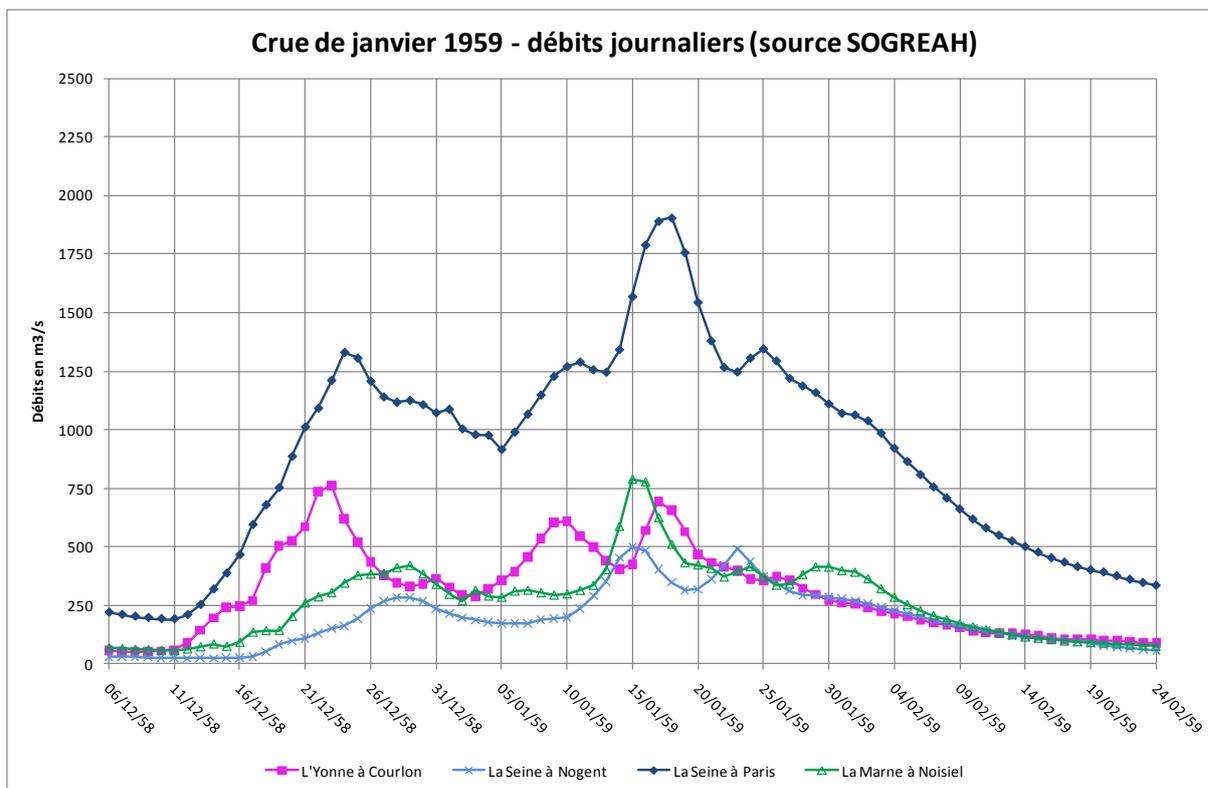
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	11/01 au 03/03/1955	11/01 au 10/03/1955
Volume net ruisselé en million de m ³ *	800	2 200
Volume de pluie en million de m ³	3 000	10 400
Coefficient d'écoulement	0.26	0.21

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes d'écoulements et volumes de pluie sont globalement de l'ordre de la moyenne (pour les 20 crues étudiées). Les coefficients d'écoulement sont un peu inférieurs à la moyenne, bien que l'épisode de crue ici considéré soit assez long (environ 2 mois). Cependant, il faut rappeler que pendant ces 2 mois, les épisodes de crue sont très séparés dans le temps (environ 20 jours s'écoulent entre la première séquence de crue et la seconde).

Janvier 1959

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	37	38
Nombre de pointes de débit	5	4
Ecart de temps en jour entre les pointes	8 – 10 – 7 - 9	18 – 7 - 7

Il y a eu 5 pics de débit sur l'Yonne à Courlon. Ceux-ci sont séparés de 7 à 10 jours. C'est la première pointe de débit de l'Yonne à Courlon qui est la plus importante pour cette crue. Cependant. Le maximum de la Seine à Paris est lié à l'arrivée de l'onde de crue de la 4^{ème} pointe de débit de l'Yonne à Courlon, conjuguée à des niveaux hauts de la Seine amont et de la Marne (liés aux pointes de débit générées par l'épisode pluvieux précédent).

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	11/12/1958 au 12/2/1959	11/12/1958 au 18/02/1959
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	1 500	3 700
Volume de pluie en million de m ³	2 700	9 800
Coefficient d'écoulement	0.56	0.38

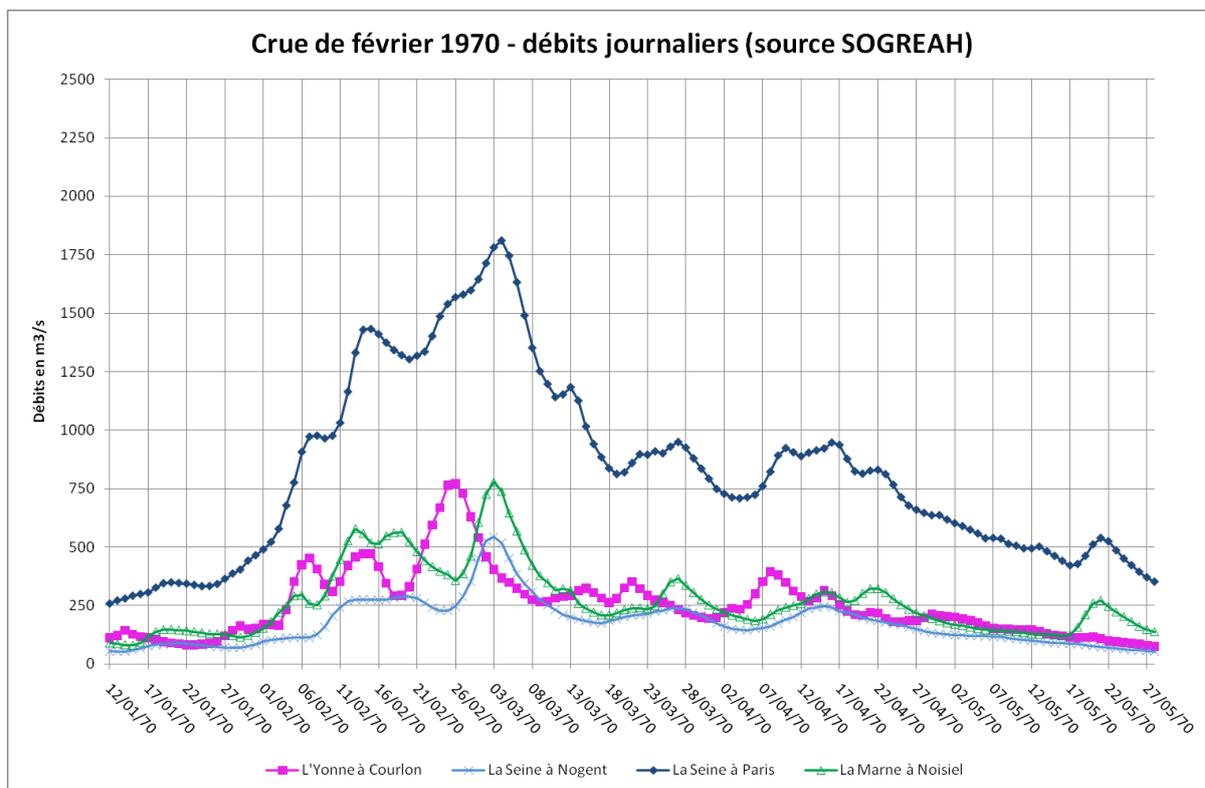
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés et de pluie sont très supérieurs à la moyenne (des 20 crues ici étudiées). Ceci peut s'expliquer par la durée longue de cette crue (environ 2 mois).

Les coefficients d'écoulements pour l'Yonne à Courlon et la Seine à Paris sont eux aussi très supérieurs à la moyenne (des 20 crues étudiées). Ceci peut s'expliquer par la durée longue de cette crue (environ 2 mois) : la pluie continue a eu tendance à saturer progressivement les sols en eau. De plus, il est rappelé que la neige a eu un rôle déterminant dans le déroulement de cette crue (on pourra se référer au détail de l'analyse des crues présenté en annexe).

Crue de février 1970

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	29	35
Nombre de pointes de débit	4	4
Ecart de temps en jour entre les pointes	9 - 7 - 10	7 - 17 - 9

Il y a eu 3 pointes de débits sur l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ces épisodes sont espacés de 7 à 10 jours. C'est la dernière pointe de débit qui a été la plus importante pour cette crue sur l'Yonne à Courlon. La décrue de l'Yonne fut alors soutenue par un épisode pluvieux. L'arrivée de la pointe de débit de la Seine amont correspondante arrive 5 jours après celle de l'Yonne, pendant la phase décrue. Le maximum de la Seine à Paris pour cette crue est dû à l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont et de la Marne (sur des niveaux encore hauts de l'Yonne).

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

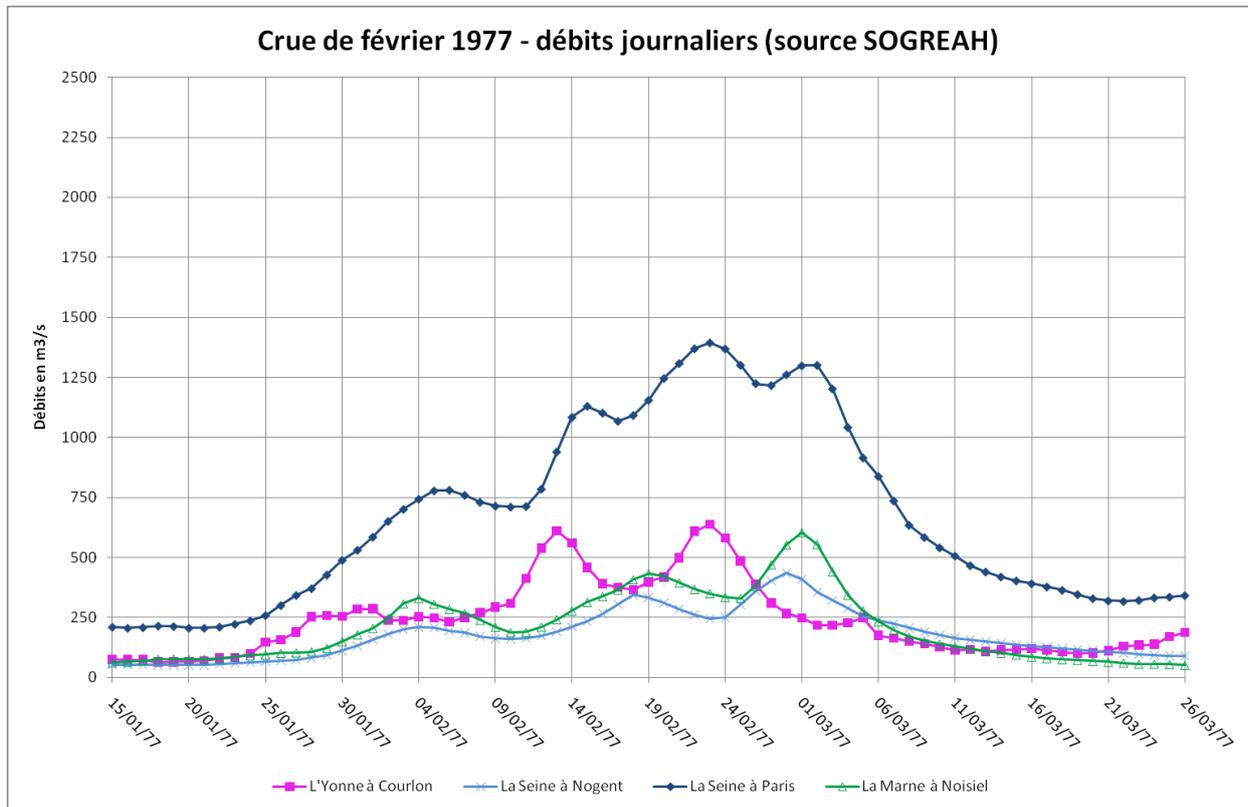
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	25/01 au 9/03/1970	25/01 au 19/03/1970
Volume net ruisselé en million de m ³ *	700	2 500
Volume de pluie en million de m ³	2 500	9 800
Coefficient d'écoulement	0.29	0.26

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont de l'ordre de la moyenne alors que les volumes de pluie sont un peu supérieurs à la moyenne (pour les 20 crues étudiées). Il en résulte des coefficients d'écoulement de l'ordre de la moyenne ou un peu inférieurs aux valeurs moyennes des 20 crues ici étudiées. En effet, il est rappelé qu'en début de crue les sols étaient peu saturés en eau (on pourra se référer à l'analyse détaillé des crues donnée en annexe)

Crue de février 1977

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	31	31
Nombre de pointes de débit	4	4
Ecart de temps en jour entre les pointes	12 - 10 - 10	9 - 8 - 7

Il y a eu 4 pointes de débits sur l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ces pointes sont assez espacées dans le temps (de 10 à 12 jours). C'est la troisième pointe de débit qui a été la plus importante pour cette crue. C'est l'arrivée de l'onde de crue de l'Yonne, sur des niveaux déjà hauts de la Seine amont et de la Marne, qui a engendré les niveaux les plus hauts constatés pour cette crue sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

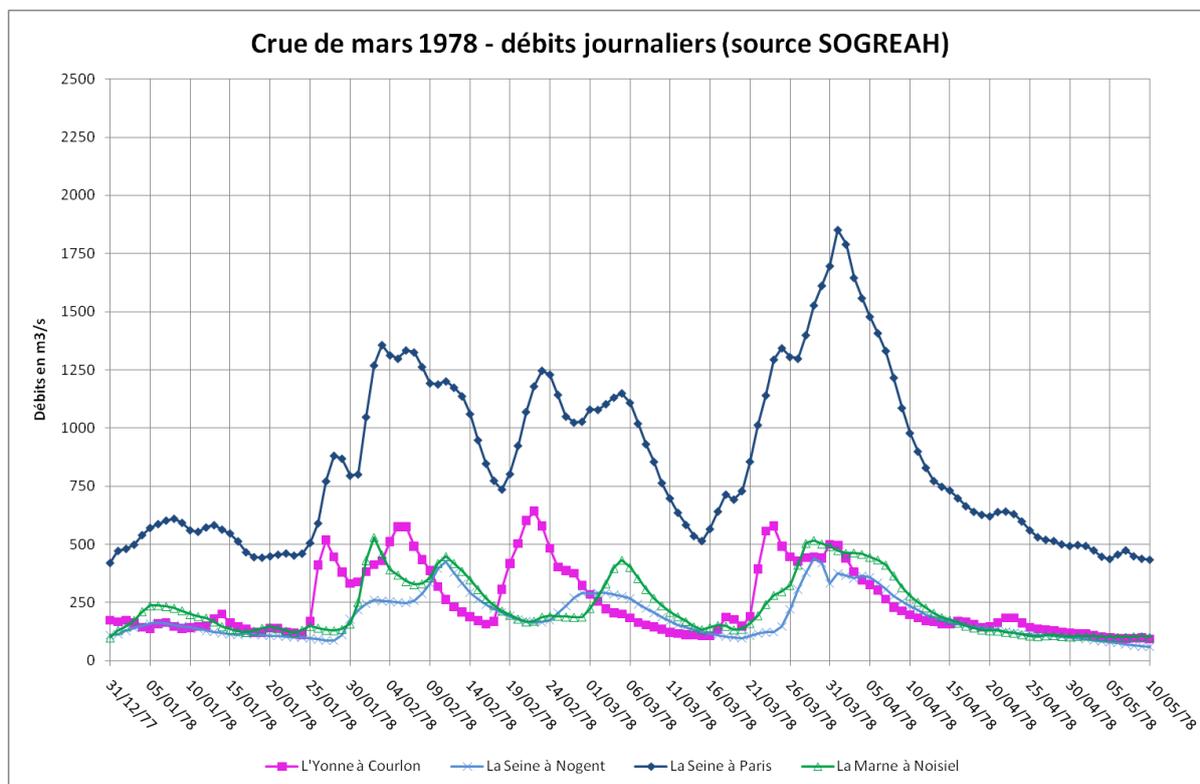
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	23/1/77 au 11/03/1977	23/1 au 21/03/1977
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	900	2 500
Volume de pluie en million de m ³	2 100	8 300
Coefficient d'écoulement	0.41	0.30

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes de crue et de pluie sont supérieurs à la moyenne des 20 crues ici étudiés. Il en va de même pour les coefficients d'écoulement. Ceci peut sans doute s'expliquer par la longueur de la crue (1,5 mois). En effet il a plu de manière soutenue pendant plus de 30 jours, ce qui a eu tendance à saturer les sols en eau.

Avril 1978

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	4	12
Nombre de pointes de débit	2	2
Ecart de temps en jour entre les pointes	7	7

Il y a eu 2 pointes de débit dans l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ces 2 pointes sont espacées de 7 jours. Le maximum constaté sur la Seine à Paris est lié à l'arrivée de la première onde de crue de la Seine amont et de la Marne. Celle-ci est intervenue juste avant la seconde pointe de l'Yonne à Courlon (les niveaux de l'Yonne à Courlon étaient alors relativement hauts).

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	20/3 au 10/4/78	20/3 au 13/4/78
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	380	1 100
Volume de pluie en million de m ³	1 300	4 900
Coefficient d'écoulement	0.29	0.23

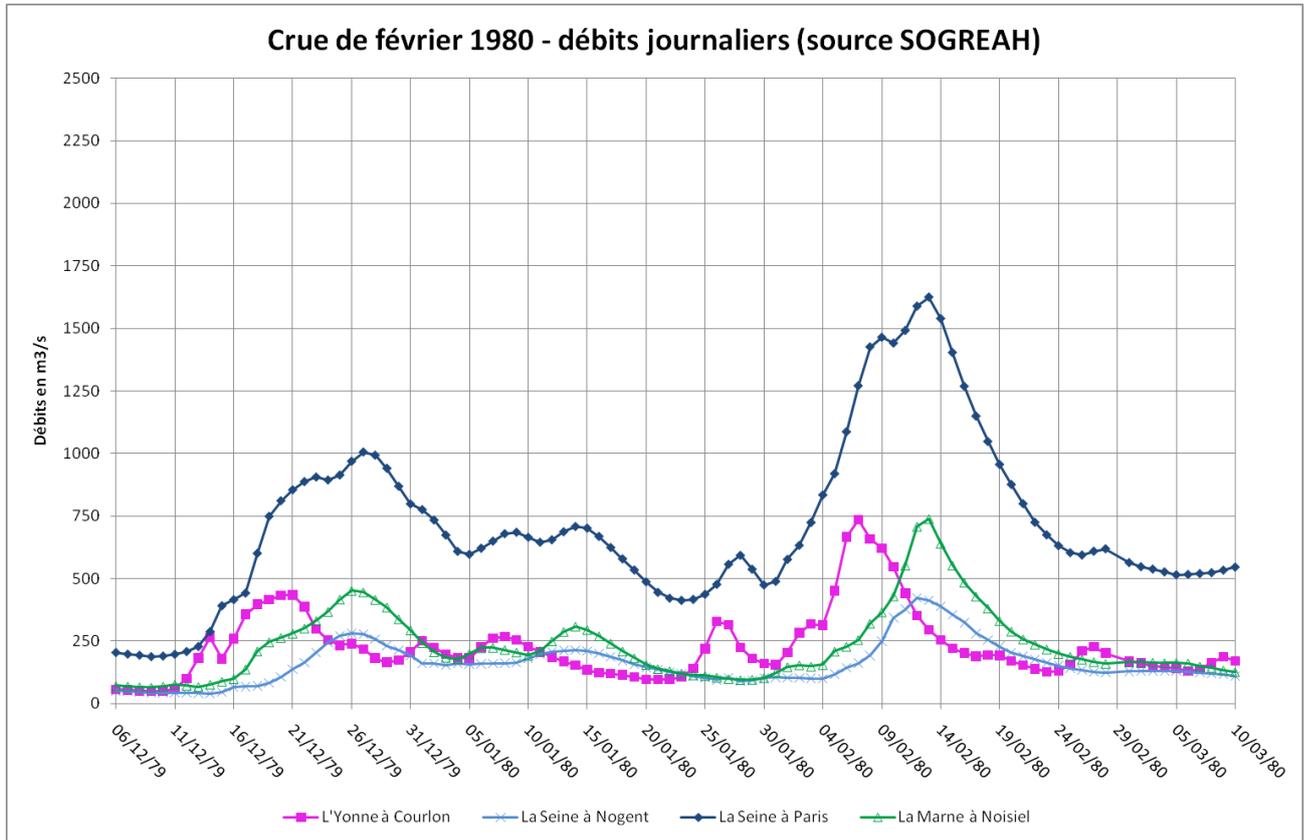
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes de crue et de pluie sont inférieurs aux valeurs moyennes obtenus pour les autres crues de calage. Il est à noter que la durée de la crue est ici assez modérée : de l'ordre de 20 jours.

Les coefficients d'écoulement sont eux aussi inférieurs aux valeurs moyennes des autres crues de calage.

Février 1980

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	7	13
Nombre de pointes de débit	2	2
Ecart de temps en jour entre les pointes	4	4

Il y a eu 2 pointes de débit dans l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ces 2 pointes sont espacées de 7 jours. La première pointe de débit est peu marquée. Sur la Seine amont et la Marne aval, une seule pointe de débit a été constatée pour cette crue. C'est l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont et de la Marne (qui arrive environ 5 jours après la seconde pointe de l'Yonne), conjuguée à une décrue de l'Yonne à Courlon soutenue par des épisodes pluvieux de faibles intensités, qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	31/1 au 17/2/1980	31/1 au 25/2/1980
Volume net ruisselé en million de m ³ *	300	1 100
Volume de pluie en million de m ³	1 100	3 800
Coefficient d'écoulement	0.31	0.3

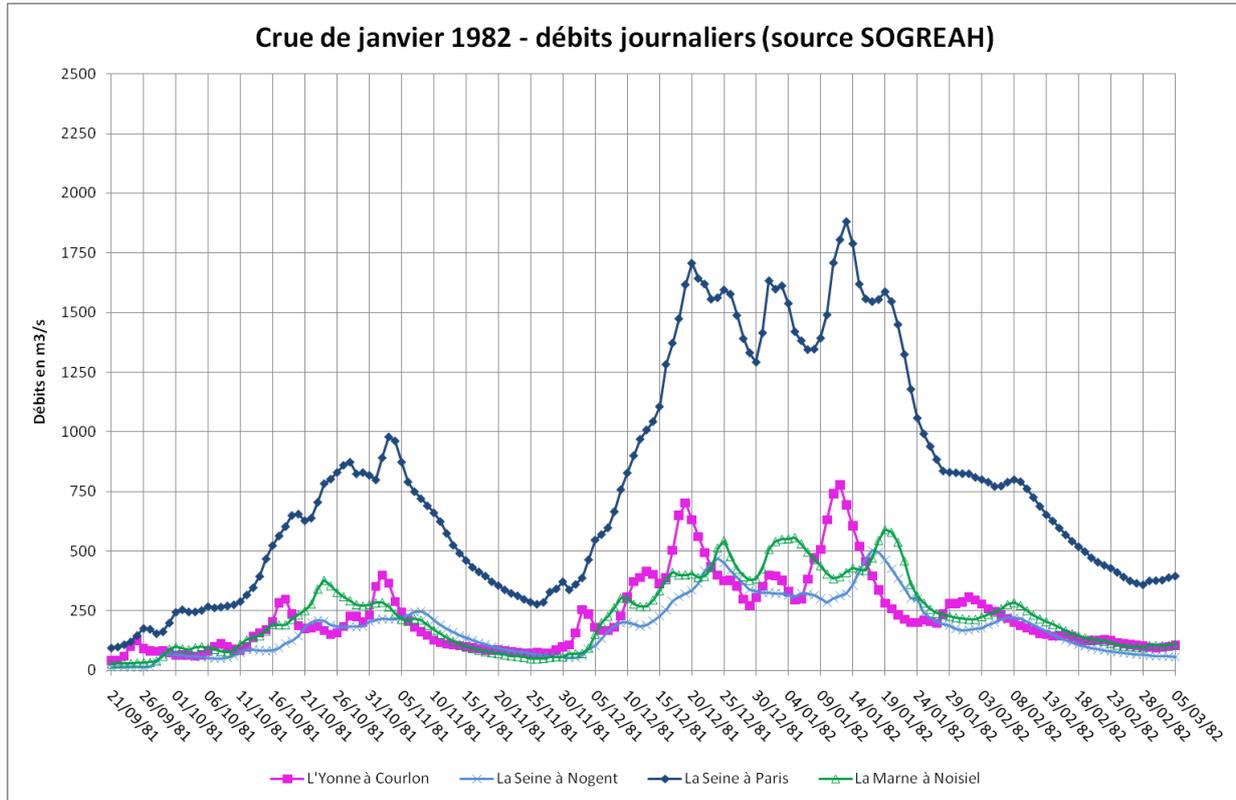
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés et de pluie sont inférieurs aux valeurs moyennes des autres crues de calage. Cela s'explique principalement par la durée relativement faible de la crue : environ 20 jours.

Les coefficients d'écoulements sont quant à eux compris dans la moyenne. Cette crue de février 1980 intervient après des mouvements d'eau (dans la Seine, la Marne et l'Yonne) continus depuis la mi-décembre (les pluies correspondantes ont contribué à saturer les sols en eau).

Janvier 1982

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	35	39
Nombre de pointes de débit	4	5
Ecart de temps en jour entre les pointes	6 - 13 - 11	5 - 7 - 12 - 6

Il y a eu 4 pics de crue sur l'Yonne à Courlon pour cette crue. Les 2 premiers pics ont été rapprochés dans le temps (4 jours) alors que les 3 suivants étaient plus espacés (13 et 11 jours).

C'est l'arrivée de l'onde de crue de l'Yonne (pour la 4^{ème} pointe de débit qui est la plus importante) conjuguée à des niveaux déjà hauts de la Seine amont et de la Marne qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

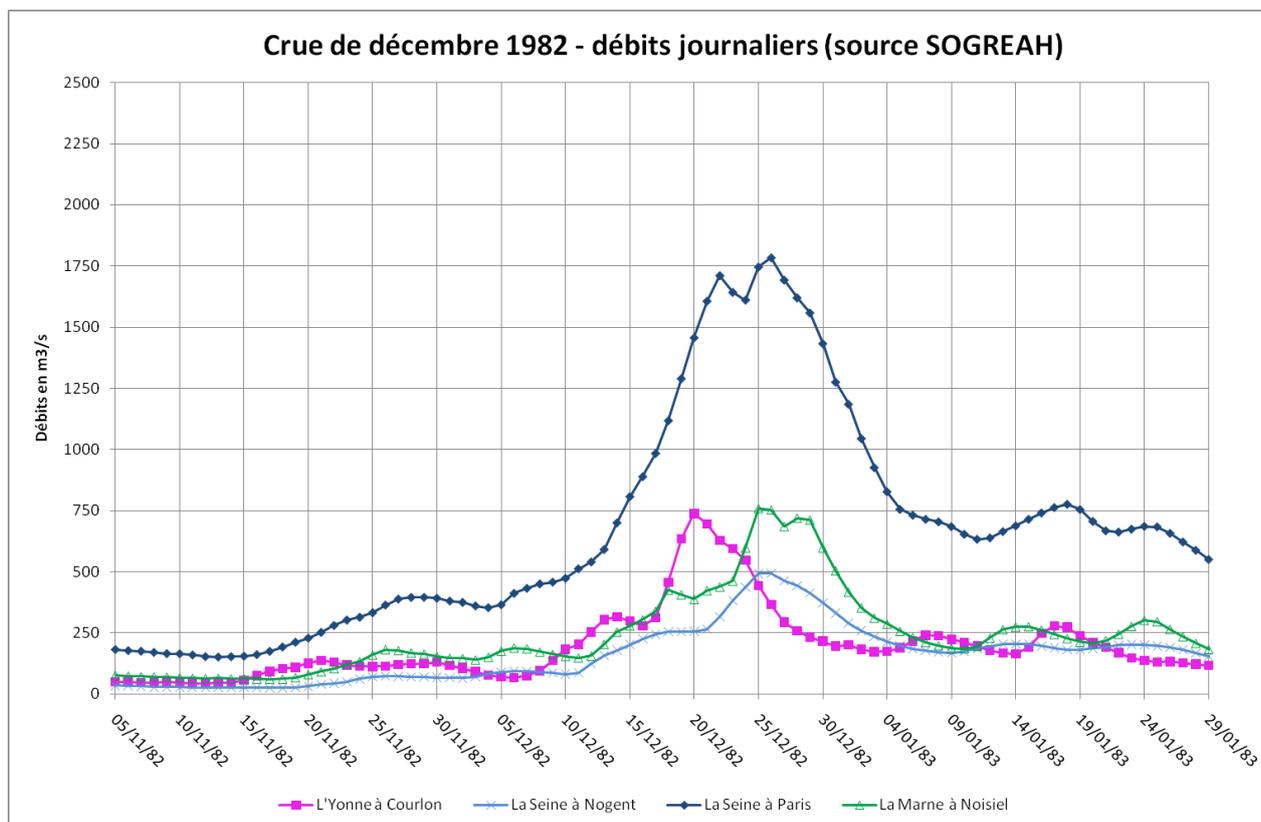
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	05/12/1981 au 23/1/1982	05/12/1981 au 27/1/1982
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	900	2 900
Volume de pluie en million de m ³	2 200	9 000
Coefficient d'écoulement	0.41	0.32

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes de crue et de pluie sont un peu supérieurs aux valeurs moyennes des autres crues de calage. Les coefficients d'écoulement sont eux aussi supérieurs aux valeurs moyennes. Ceci peut s'expliquer principalement par la longue durée de la crue (de l'ordre de 1,5 mois). Les sols ont alors été arrosés de manière quasi continue durant cette période, ce qui a eu tendance à saturer progressivement les sols en eau.

décembre 1982

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée jusqu'au maximum (j)	14	20
Nombre de pointes de débit	2	2
Ecart de temps en jour entre les pointes	6	4

Il y a eu 2 pointes de débits dans l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ces 2 pointes sont séparées de 6 jours. C'est l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont et de la Marne (pour le second pic de crue) conjuguée à des niveaux encore hauts de l'Yonne amont qui est à l'origine des niveaux les plus importants constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	5/12/1982 au 31/12/1982	5/12/1982 au 5/1/1983
Volume net ruisselé en million de m ³ *	500	1 400
Volume de pluie en million de m ³	1 600	6 100
Coefficient d'écoulement	0.28	0.22

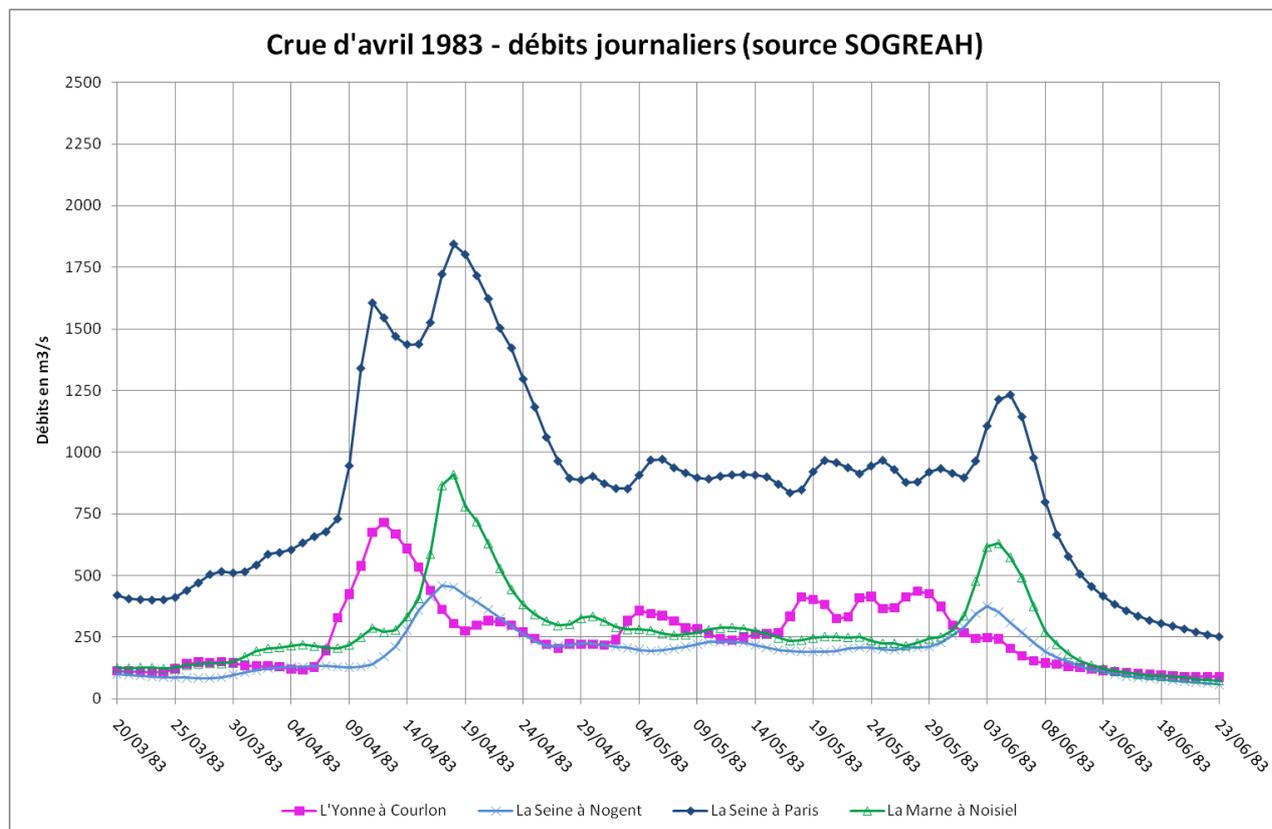
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés et de pluie sont un peu inférieurs à la moyenne. Il en va de même pour les coefficients d'écoulement.

Ceci peut s'expliquer par la durée peu importante de la crue (inférieur à 1 mois) et par le fait qu'en début d'événement, les sols étaient peu saturés en eau (on pourra se reporter à l'annexe présentant l'analyse détaillée des crues pour de plus amples détails).

Avril 1983

Le tracé des débits de cette crue (base de données SOGREAH - débit non influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée pour le maximum (j)	6	12
Nombre de pointes de débit	2	2
Ecart de temps en jour entre les pointes	9	7

Il y a eu 2 pointes de débits pour cette crue sur l'Yonne à Courlon. Ces 2 pointes sont séparées de 9 jours. C'est l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont et de la Marne (pour le premier pic de crue) conjuguée à des niveaux encore hauts de l'Yonne amont (décrue soutenue par des épisodes pluvieux) qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	6/4 au 25/4/4983	6/4 au 28/4/4983
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	360	1 100
Volume de pluie en million de m ³	1 500	5 300
Coefficient d'écoulement	0.25	0.20

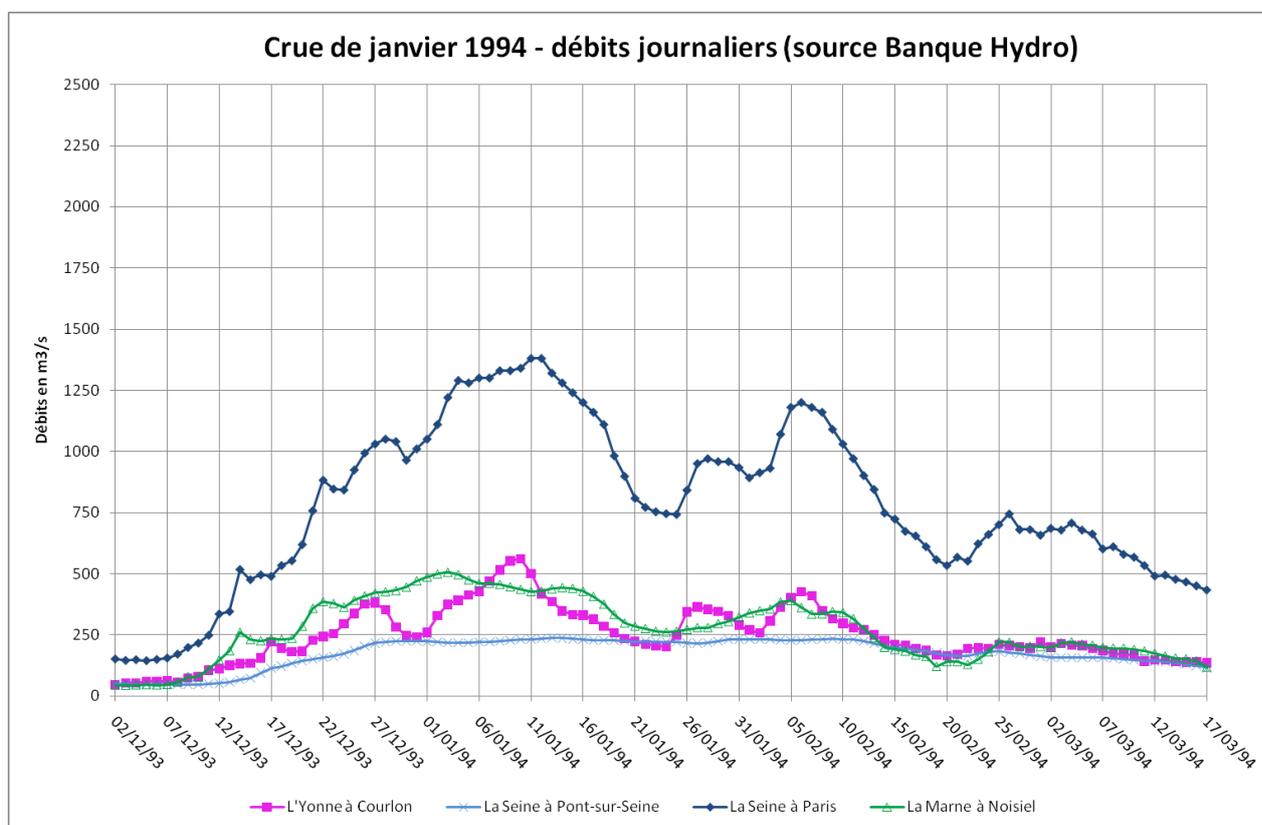
* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Là encore les volumes de crue et de pluie sont inférieurs aux moyennes. Ceci est principalement lié à la durée de la crue ici considérée qui est inférieure à 1 mois.

Les coefficients d'écoulement sont eux aussi un peu inférieurs à la moyenne obtenue pour les autres crues de calage.

Décembre 1993

Le tracé des débits de cette crue (base de données Banque Hydro - débit influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée pour le maximum (j)	33	35
Nombre de pointes de débit	3	4
Ecart de temps en jour entre les pointes	10 - 14	8 - 6 - 14

Il y a eu 3 pics de débit dans l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ces pics sont relativement espacés dans le temps (de 10 à 14 jours).

C'est l'arrivée de l'onde de crue de l'Yonne (pour le 3^{ème} pic de crue) conjuguée à des niveaux déjà hauts de la Seine amont qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

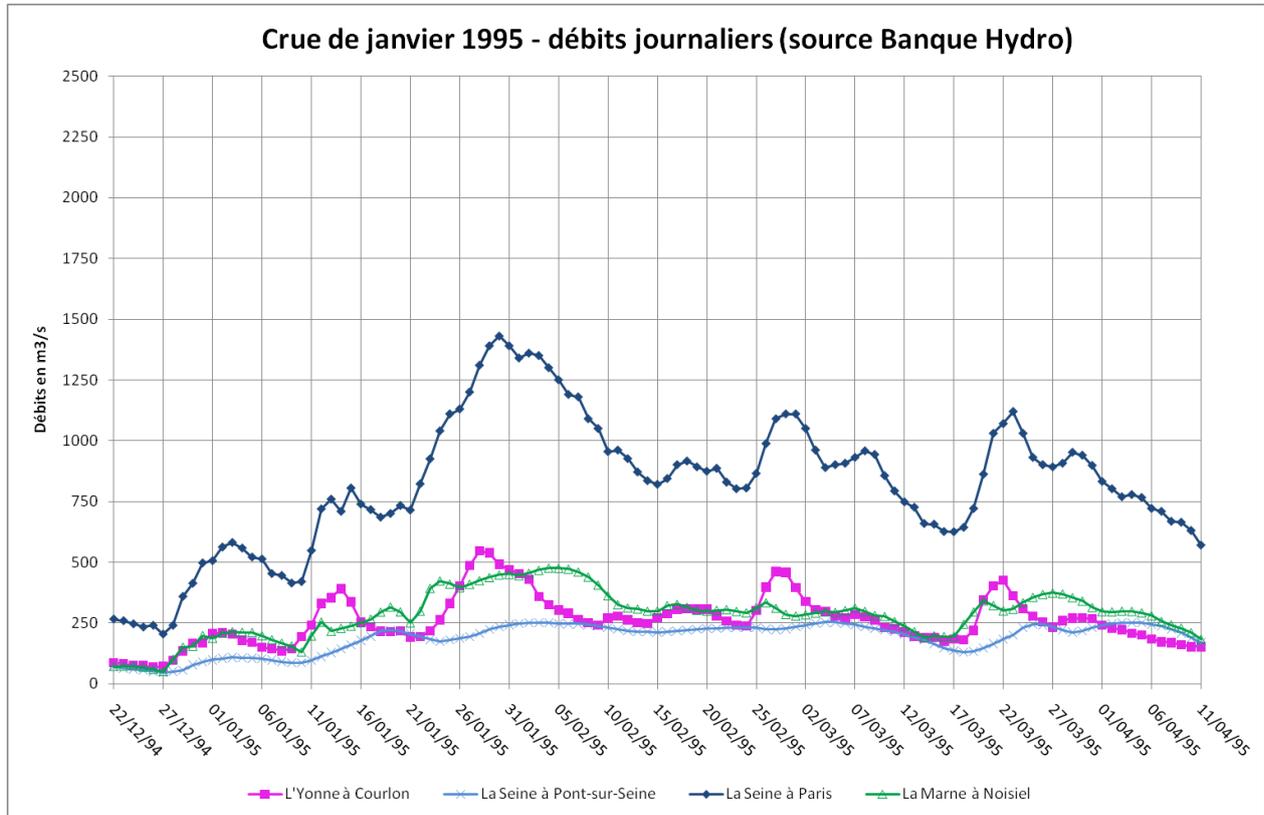
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	08/12/1993 au 21/01/1994	08/12/1993 au 24/01/1994
Volume net ruisselé en million de m ³ *	600	1 800
Volume de pluie en million de m ³	2 000	8 300
Coefficient d'écoulement	0.28	0.22

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont un peu inférieurs à la moyenne. Les volumes de pluie pour cette crue sont dans la moyenne des autres crues de calage. Il en résulte des coefficients d'écoulement un peu inférieurs aux valeurs moyennes. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en début de crue, les sols étaient peu saturés en eau (on pourra se référer à l'annexe donnant l'analyse détaillée des crues pour de plus amples détails).

Janvier 1995

Le tracé des débits de cette crue (base de données Banque Hydro - débit influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée pour le maximum (j)	32	34
Nombre de pointes de débit	3	5
Ecart de temps en jour entre les pointes	12 - 14	10 - 2 - 15 - 3

Il y a 3 pics de débit dans l'Yonne à Courlon pour cette crue. Ceux ci sont relativement espacés dans le temps (entre 12 et 14 jours). C'est l'arrivée de l'onde de crue de l'Yonne (pour le 3^{ème} pic de crue) conjuguée à des niveaux déjà hauts de la Seine amont et de la Marne qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

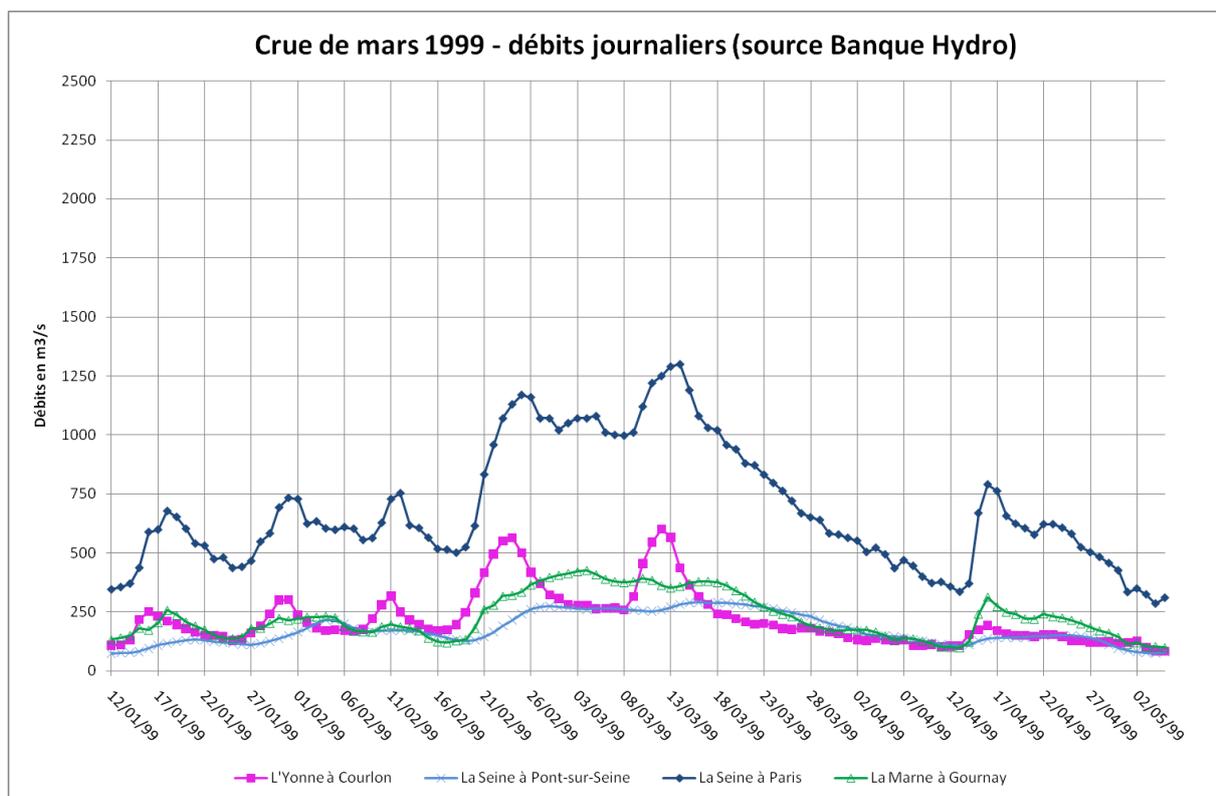
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	27/12/1994 au 7/2/1995	27/12/1994 au 15/2/1994
Volume net ruisselé en million de m ^{3*}	440	1 400
Volume de pluie en million de m ³	2 000	9 100
Coefficient d'écoulement	0.22	0.16

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont inférieurs à la moyenne. Les volumes de pluie sont dans la moyenne des autres crues de calage. Il en résulte des coefficients d'écoulement inférieurs aux valeurs moyennes. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en début de crue, les sols étaient peu saturés en eau (on pourra se référer à l'annexe donnant l'analyse détaillée des crues pour de plus amples détails).

mars 1999

Le tracé des débits de cette crue (base de données Banque Hydro - débit influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée pour le maximum (j)	22	24
Nombre de pointes de débit	2	3
Ecart de temps en jour entre les pointes	16	8 - 9

Il y a eu 2 pics de débit pour cette crue. Ceux ci sont espacés dans le temps (16 jours). C'est l'arrivée de l'onde de crue de l'Yonne (pour le 2^{ème} pic de débit) conjuguée à des niveaux déjà hauts de la Seine amont et de la Marne qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

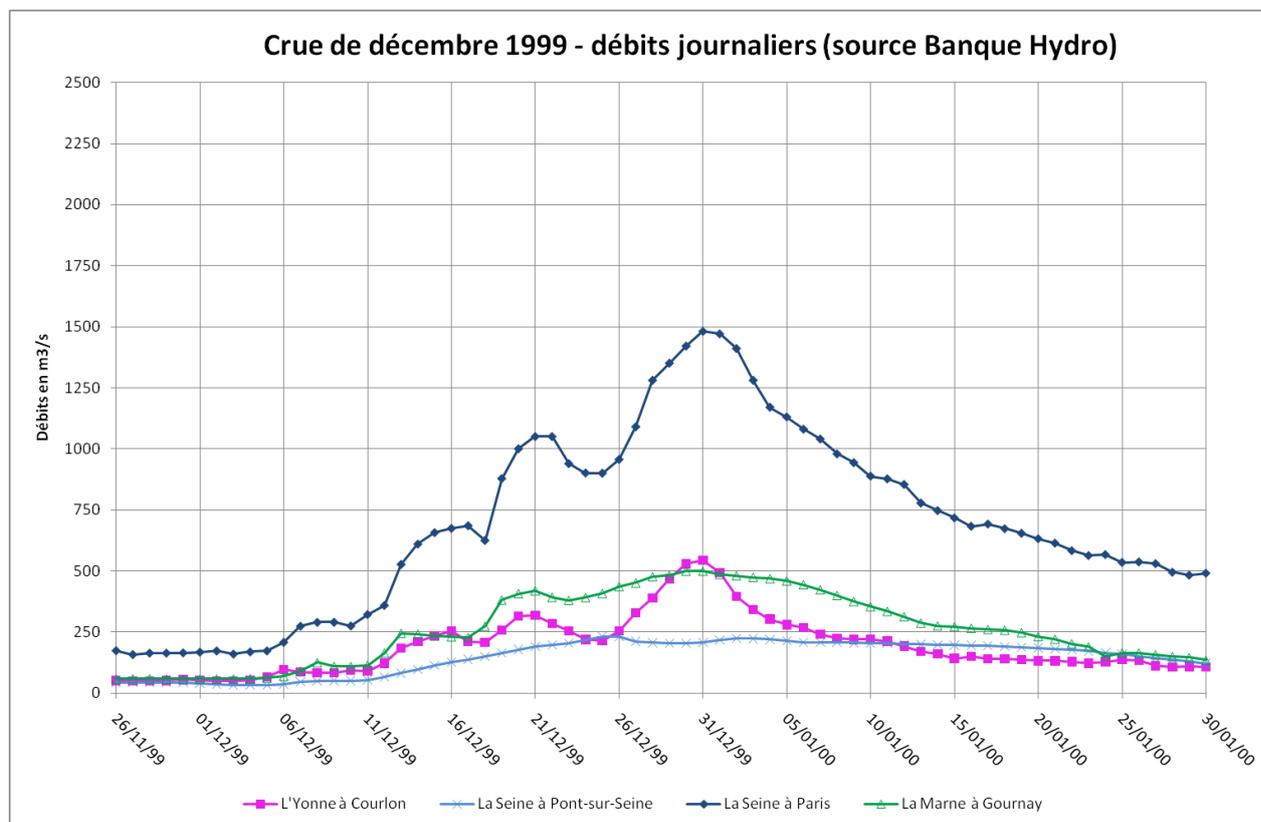
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	18/02 au 18/03/1999	18/02 au 27/03/1999
Volume net ruisselé en million de m ³ *	400	1 300
Volume de pluie en million de m ³	1 500	5 400
Coefficient d'écoulement	0.25	0.24

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont inférieurs à la moyenne. Les volumes de pluie aussi. Les coefficients d'écoulement sont eux aussi un peu inférieurs aux valeurs moyennes. Ceci peut s'expliquer par, proportionnellement, la faible quantité de pluie tombée qui n'a pas suffi à saturer les sols en eau (au niveau des autres crues de calage).

décembre 1999

Le tracé des débits de cette crue (base de données Banque Hydro - débit influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée pour le maximum (j)	26	26
Nombre de pointes de débit	4	4
Ecart de temps en jour entre les pointes	10 – 5 - 10	10 – 4 - 10

Il y a eu 4 pics de débit pour cette crue. Ils sont espacés de 5 à 10 jours. C'est l'arrivée de l'onde de crue de l'Yonne (pour le 3^{ème} pic de crue) conjuguée à la pointe de débit de la Seine amont et de la Marne qui est à l'origine des niveaux les plus hauts constatés sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

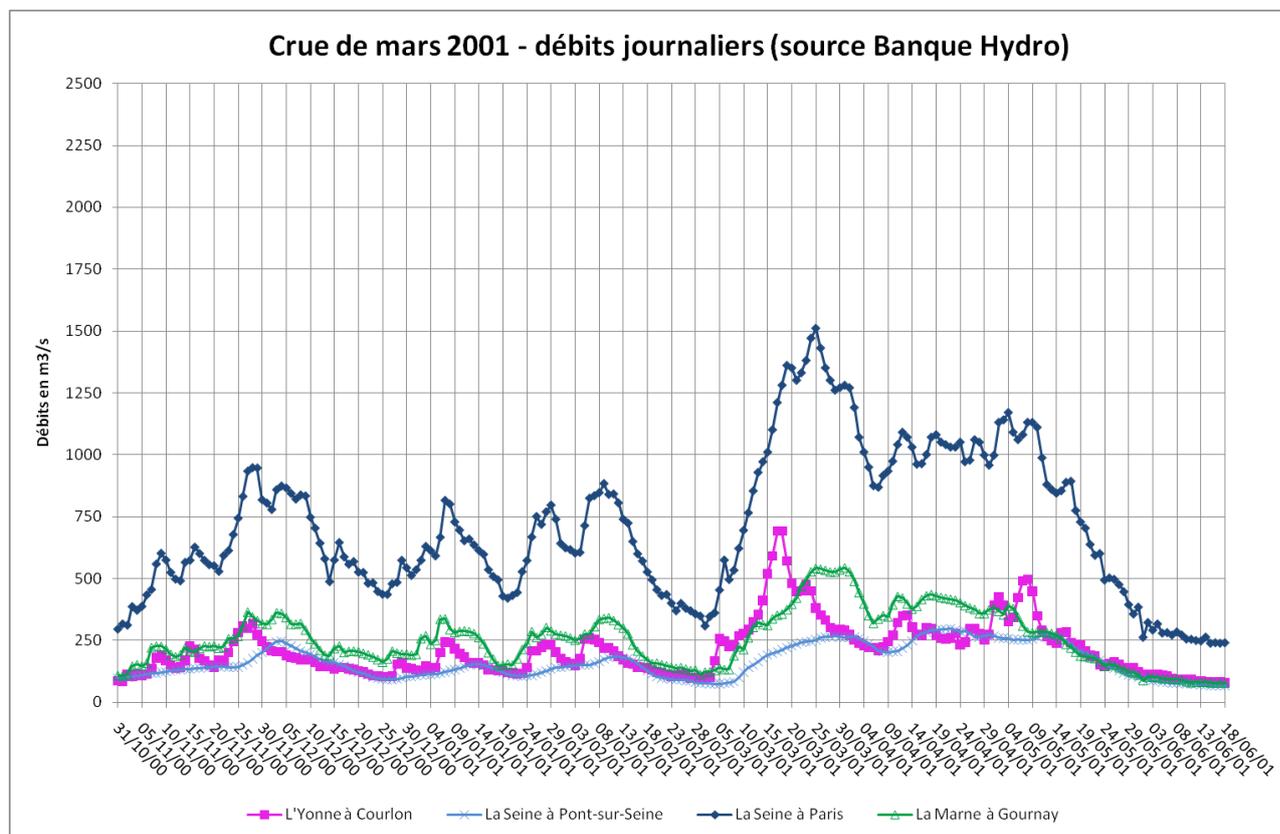
	Analyse en volume	
	Yonne à Courlon	Seine à Paris
	5/12/1999 au 15/01/2000	5/12/1999 au 16/01/2000
Volume net ruisselé en million de m ³ *	500	1 500
Volume de pluie en million de m ³	2 100	8 100
Coefficient d'écoulement	0.24	0.19

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont un peu inférieurs à la moyenne alors que les volumes de pluie sont dans la moyenne (des autres crues de calage). Il en résulte des coefficients d'écoulements un peu inférieurs aux valeurs moyennes. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'en début de crue, les sols étaient peu saturés en eau (on pourra se référer à l'annexe donnant l'analyse détaillée des crues pour de plus amples détails).

mars 2001

Le tracé des débits de cette crue (base de données Banque Hydro - débit influencé) pour l'Yonne à Courlon, la Seine à Nogent, la Marne à Noisiel et la Seine à Paris est présenté ci-après.



Les grandeurs caractéristiques de cette crue sont récapitulées ci-après.

	Yonne à Courlon	Seine à Paris
Temps de montée pour le maximum (j)	15	23
Nombre de pointes de débit	3	4
Ecart de temps en jour entre les pointes	12 - 5	13 - 6 - 6

Il ya eu 3 pics de débit dans l'Yonne à Courlon pour cette crue. Les 2 premiers pics sont assez espacés dans le temps (12 jours), alors que les 2 derniers beaucoup moins (5 jours). C'est l'arrivée de l'onde de crue de la Seine amont et de la Marne conjuguée à des niveaux encore hauts de l'Yonne amont (soutient de la décrue par un épisode pluvieux) qui est à l'origine des débits les plus forts constatés pour cette crue sur la Seine à Paris.

Les principales grandeurs volumiques de cette crue sont récapitulées dans le tableau présenté ci-après.

	Analyse en volume	
	Yonne à Courceon	Seine à Paris
	2/3/2001 au 29/3/2001	2/3/2001 au 6/4/2001
Volume net ruisselé en million de m ³ *	400	1 300
Volume de pluie en million de m ³	1 700	6 900
Coefficient d'écoulement	0.24	0.19

* : Le débit de base est soustrait du volume total.

Les volumes ruisselés sont inférieurs à la moyenne. Les volumes de pluie aussi. Les coefficients d'écoulement sont eux aussi inférieurs aux valeurs moyennes. Ceci peut s'expliquer par, proportionnellement, la faible quantité de pluie tombée qui n'a pas suffi à saturer les sols en eau (au niveau des autres crues de calage).