La genèse des crues
dans le bassin de la Loire

par D. Duband (SHF)

I ■ INTRODUCTION

De nombreux auteurs (Pardé, Geneslay, Dachary...) ont souligné le fait que depuis 130 ans, on n'a pas observé de crues catastrophiques comparables à celles de 1846, 1866 et particulièrement 1856 à l'amont de Blois et Tours que l'on peut qualifier d'au moins centennales. Le bassin a connu au XXème siècle quelques volumineuses crues à Montjean, mais plus de crue subite extrême. Les chroniques des siècles antérieurs au XIXème siècle, depuis le Moyen Age, font état de tels paroxysmes, mais sans que l'on puisse les quantifier (niveau, débit) comme aux XIXème et XXème siècles. En effet depuis 1846, nous disposons de relevés de cotes atteintes par les plus hautes eaux, dans quelques sections de la Loire et d'affluents. Au XIXème siècle des Ingénieurs des Ponts et Chaussées dont M. Sainjon, et ensuite des Ingénieurs de la 4ème Circonscription Electrique, comme M. Barrière, et du SHC dont M. Gazowski, puis maintenant de la DIREN avec M. Rieux, ont calculé, estimé, reconstitué des débits à partir de courbes de tarage et de calculs hydrauliques.

Grâce à leur compétence et à leur passion pour l'hydrométrie ligérienne, nous disposons de données précieuses de débit des crues historiques avec une incertitude plus réduite (5 à 10 %).

En ce qui concerne les précipitations, les observations journalières et mensuelles sont plus tardives et avec une densité modeste par rapport à celle du réseau climatologique actuel. Mais cette information précieuse est en cours

d'archivage par Météo France au pas de temps journalier, elle est indispensable pour analyser la répartition spatiale et temporelle des épisodes de pluie, les intensités et comprendre la genèse des principales crues de la Loire et de ses affluents. On peut d'ailleurs souhaiter vivement la réalisation d'une ou plusieurs monographies (météorologique - climatologique - hydrologique) de la séquence de crues gigantesques et dommageables qui ont concerné non seulement la Loire mais aussi le Rhône comme en mai et juin 1856. Car une analyse approfondie de cet événement hydrologique ainsi que d'autres moins importants pour lesquels on dispose de mesures fiables, pourraient aider à prévenir un événement encore plus rare dû à des configurations, une dynamique d'évolution de la situation météorologique sur l'Europe très particulières, et susceptibles de causer d'immenses dégâts par les eaux déchaînées en extrema de pointe et de volume, d'autant plus que la mémoire humaine est courte (fig.1).

A partir des deux plus longues séries (1863-1995) de débits moyens journaliers reconstitués ou mesurés à Blois et Montjean, on peut faire quelques observations préliminaires.

Tout d'abord, on constate une bonne corrélation entre les modules annuels respectifs avec une variabilité interannuelle considérable (tableau 1).

Mais le contraste entre débits extrêmes de crue peut aussi être frappant si l'on compare le bassin complet de la Loire à Montjean aux sous-bassins amont (tableau 2, fig. 2) (le débit instantané estimé est représenté en italique et le débit moyen journalier en gras, en m³/s).

	Loire à Blois	Loire à Montjean
Volume en milliards de m³ (km³)		
année très sèche, 1949	3.9	8.9
année moyenne	11.4	26.5
année très abondante, 1910	23.0	61.8 (70% du Léman)

(la corrélation est extrêmement atténuée quand on considère les couples de débits extrêmes ou de volumes de crue.)
Le contraste entre débit moyen journaliers extrêmes observés en étiage et en crue est encore plus saisissant :

Août	Septembre
20 m³/s en 1949 50 m³/s en 1949	6000 m³/s en 1866 à Blois 6300 m³/s en décembre 1910 à Montjean

Tableau 1 : Débits de la Loire à Blois lors d'extrema.

1. Quelques données sur le bassin de la Loire.

Bassin de la Loire

Rivière	Station	BV (km ²)
Loire	Bas en Basset	3 254
Loire	Villereest	6 585
Loire	Nevers	15 570
Allier	Vic le Comte	5 370
Allier	St Yorre	8 940
Allier	Guétin	14 310
Loire	Givry	32 610
Loire	Gien	35 500
Loire	Blois	38 240
Loire	Tours	42 881
Cher	Savonnières	13 680
		56 561
Indre	(BV total)	3250
Vienne	Nouâtre	19 920
		79 731
Loire	Montsoreau	81 130
Thouet	Pont de Chace	3315
Maine	Angers	21 300
		105 745
Loire	Montjean	109 930

BASSIN DE LA LOIRE

Tableau 2 : Débits de la Loire en différents points du bassin lors de crues.

Date	VEURDRE (Allier)	NEVERS (Loire)	GIVRY (Loire)	GIEN (Loire)	BLOIS (Loire)	TOURS (Loire)	MONTJEAN (Loire)
Oct. 1846						6000	4500
Juin 1856	3500	4200	7600	7200		6400	
Sep. 1866	3500	4500	7600	7200	6000	5300	4950
Oct. 1872	1520	2770	4000	3800	4500		3260
17Sep.1875	3060	420	3250	2460	1950		1390
Oct. 1907	1250	3270	4150	3960	4700	4200	3120
Déc. 1910	710	1370	2080	2130	2100		6300
Jan. 1936	750	1360	2110	2070	2100	2200	5500
Oct.1943	1890	2100	2970	2900	2400		1750
Déc. 1944	1150	1920	2950	3010	2800	3200	4670
Déc. 1982	740	1560	2000	2310	2284		6100

Il y a des épisodes pluvieux localisés qui peuvent engendrer des crues violentes et catastrophiques sur des sous bassins d'affluents de la Loire, de 1000 à 3000 km² mais, en s'atténuant rapidement vers l'aval, et n'ont que des répercussions très modestes sur la Loire elle-même. Citons en exemples :

- la crue du mai 1940 sur le Cher,
- la crue du 27 octobre 1943 sur la Haute Loire,
- les crues du 3 et 4 octobre 1960 sur le Cher et la Creuse,
- la crue de septembre 1965 sur l'Arroux,
- la crue du 21 septembre 1980 sur la Haute Loire.

II ■ CRUES D'ORIGINE MEDITERRANÉ-
ENNE EXTENSIVE

Il s'agit de crues subites et violentes, à très fort gradient, qui se produisent essentiellement de septembre jusqu'au début de décembre, avec quelques sursauts en mai, et qui sont engendrées par un flux de Sud créé par une dépression au Sud de l'Irlande et un anticyclone sur l'Europe Centrale.

Le conflit de masses d'air froid et chaud humide, dont le canal préférentiel est la vallée du Rhône, produit des pluies particulièrement intenses sur les régions cévenoles pouvant déborder jusqu'au Massif Central Est et Nord Est et au Morvan. Elles intéressent la Loire en amont de Nevers, parfois en amont de Villerest, et L'Allier en amont du Veurdre, qui sont les bassins versants privilégiés par les averses intenses (200 à 500 mm sur les hauts bassins) mais limitées à quelques jours (tableau 3). La Loire a très souvent de plus fortes crues que l'Allier, mais la concomitance des crues rares sur les deux bassins peut engendrer depuis le confluent jusqu'à Blois et même Tours des débits instantanés très élevés, d'autant plus dommageables que les crues sont rapides.

On a ainsi atteint plus de 7000 m³/s à Givry et Gien en octobre 1846, septembre 1866, et plus de 4000 m³/s en octobre 1872 et octobre 1907 et souvent 3000 m³/s.

Pour les crues uniquement d'origine méditerranéenne à l'amont de Gien, les débits entre Blois et Montjean s'atténuent en moyenne de 80 % (fig 3).

Ce sont des crues qui transportent un volume d'eau bien moins important (quoique conséquent) que les crues du bassin aval de la Loire.

	Pluies mensuelles (mm)		
	Sept 1866	Oct 1872	Oct 1907
ORLEANS	106	106	144
ISSOUDUN	100	118	138
LE MANS	130	140	74
NANTES	159	96	209
EYMOUTIERS	136	202	213
ANTULLY	-	-	232
DECIZE	217	123	278
VICHY	240	161	214
ROANNE	203	212	265
CLERMONT FERRAND	217	146	150
LE PUY	227	179	-
JOYEUSE	-	-	463

Tableau 3 : Pluies mensuelles en différents points du bassin de la Loire.

2. La Loire, crues et embacles (E. GENESLAY)

Crue d'octobre 1846

Volume de la crue : 3 672 000 000 de m³ ou 3,762 km³

En trait plein : débit de la Loire en m³/s

en pointillés : cotes de la Loire à Tours.

Les crues de la Loire au printemps 1856

Trait plein : débit de la Loire en m³/s, en pointillés : cotes de la Loire

Volume de la crue : du 1^{er} au 30 mai : 5 000 400 000 m³

du 30 mai au 9 juin : 3 315 600 000 m³ / du 10 au 25 juin : 2 052 000 000 m³

Total : 10 368 000 000 m³ ou 10,368 km³

Le détail des calculs pour ces crues et les autres se trouve dans les documents remis à la Bibliothèque de la Société de Géographie de Tours (Bibliothèque municipale).

Date	Volume calculé sur 40 jours pour la Loire à	
	BLOIS	MONTJEAN
20/09-29/10, 1866	3.4 km ³	5.0 km ³
8/10-16/11, 1872	3.0 km ³	4.2 km ³
10/10 - 18/11, 1907 (crue double)	4.4 km ³	5.6 km ³
(1 km ³ = 1 milliard de m ³)		

Tableau 4 : Volume calculé sur 40 jours à Blois et à Montjean lors de crues.

Dans ces situations le volume de crue à Blois représente environ 70 % du volume de crue à Montjean (tableau 4).

Il y a parfois des précipitations cévenoles qui arrosent aussi bien le versant Est des Cévennes que le versant atlantique, provoquant simultanément sur l'Ardèche, la Loire et l'Allier supérieurs, des crues importantes mais dont les paroxysmes sont rarement concomittants sur l'ensemble des bassins versants.

III ■ CRUES D'ORIGINE OCEANIQUE

Ce sont habituellement des crues consécutives à une persistance de circulation atmosphérique d'origine atlantique, avec des trains successifs de perturbations pendant un à deux mois consécutifs, et parfois trois (tableau 6).

Ce qui les caractérise est l'important volume d'eau qu'elles propagent en 1 ou 2 mois, ainsi que les débits imposants atteints par montée graduelle.

Les scénarios des quelques grandes crues 1910, 1935-36, 1944, 1982, 1995 présentent des analogies.

En effet la pluie commence à bien humidifier les sols pendant le premier mois, par des averses successives de 3 à 6 jours avec interruption de quelques jours, le même proces-

sus recommence le mois suivant et l'on observe alors une succession de crues qui vont se chevaucher en ondulations, et l'une d'entre elles dont la pluie sera particulièrement efficace, de par la saturation progressive d'un grand nombre de surfaces réceptrices, «coiffera» les précédentes (fig. 2).

Le tableau 7 montre l'importance des quantités d'eau qui transitent dans la Loire moyenne et aval :

Le volume de crue en amont de Blois ne représente plus que 35 % en moyenne du volume de crue à Montjean, sauf pour quelques rares crues généralisées où ce pourcentage peut atteindre 50 % (fig 4).

On constate que certaines grandes crues dues à des précipitations d'origine océanique peuvent être complétées par une crue résultant de précipitations d'origine méditerranéenne, comme ce fut le cas en novembre-décembre 1910 et également en mai-juin 1856, que Maurice Pardé nomme des «crues générales».

Le fait remarquable est que ces deux dernières crues exceptionnelles furent aussi importantes (avec une prépondérance pour 1856) sur les bassins du Rhône et de la Loire.

Le bassin de la Seine fut surtout concerné par des pluies et une crue marquante en janvier 1910. L'année 1910 représente d'ailleurs des records historiques de pluviométrie cumulée dans une vaste partie de la France.

	Pluies trimestrielles (mm)		
	Avril-Mai-Juin 1856	Oct-Nov-Déc 1910	Nov-Déc-Janv 1935-36
ORLEANS	299	371	253
ISSOUDUN	-	368	259
LE MANS	163	338	418
NANTES	197	425	464
EYMOUTIERS	-	609	659
ANTULLY	(460)	508	489
DECIZE	386	424	-
VILLENEUVE/ALLIER	390	331	-
VICHY	-	382	238
ROANNE	421	274	-
CLERMONT FERRAND	-	294	123
LE PUY	385	296	216
JOYEUSE	-	761	721

Tableau 6 : Pluies trimestrielles en différents points du bassin de la Loire lors de crues d'origine océanique.

ANNEE 1866

	Précipitations mensuelles (en mm)												AN
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	
Orléans	61	101	58	29	43	48	74	96	106	35	39	60	750
Vendôme	58	86	49	54	26	34	106	105	70	70	29	40	727
Tours	57	97	43	54	59	55	69	75	29	10	21	45	614
Issoudun	34	95	97	82	71	49	76	108	100	41	51	69	873
Le Mans	69	77	56	41	89	32	92	101	130	40	33	38	798
Laval	105	92	87	53	83	58	92	118	94	24	44	54	904
Nantes	100	112	85	32	60	44	100	111	159	19	35	79	936
Poitiers	14	116	70	40	65	72	71	54	76	30	47	49	704
Niort	94	127	55	78	58	60	103	91	118	32	62	60	938
Eymoutiers	134	155	128	82	76	132	127	121	136	50	80	127	1348
Grosbois													
Pouilly en Auxois	56	95	121	74	71	86	58	98	175	41	67	65	1007
Antully													
Decize	43	78	62	71	83	97	105	85	217	36	73	94	1044
Villeneuve/Allier	25	42	67	72	67	77	75	41	208	36	50	62	822
Vichy	22	44	72	90	77	74	91	126	240	48	41	54	979
Clermont Ferrand	27	53	57	41	53	64	51	58	217	41	40	60	762
Ambert													
Le Puy	19	50	97	88	130	199	57	54	227	50	21	30	1022
Roanne	20	47	99	77	75	74	66	95	203	16	40	55	867
Joyeuse													

ANNEE 1910

	Précipitations mensuelles (en mm)												AN
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	
Orléans	120	94	17	49	110	69	57	70	44	122	166	83	1001
Vendôme	82	79	28	56	74	78	41	62	19	138	161	77	895
Tours	101	101	27	61	91	78	58	52	10	118	230	77	1004
Issoudun	114	93	25	51	149	131	57	97	3	111	179	78	1088
Le Mans	71	99	28	22	52	61	88	23	18	132	146	60	800
Laval	103	119	30	27	71	37	90	43	11	84	217	77	909
Nantes	101	161	35	37	55	40	86	100	5	89	226	110	1045
Poitiers	51	112	29	28	92	48	48	63	2	83	164	93	813
Niort	92	170	50	47	72	82	59	110	1	114	232	132	1161
Eymoutiers	151	221	35	65	217	163	162	91	41	92	331	186	1755
Grosbois	148	140	30	78	157	128	142	107	36	121	160	153	1400
Pouilly en Auxois	137	114	22	70	152	100	128	109	30	91	195	149	1297
Antully	219	141	33	76	153	111	145	122	31	116	211	181	1539
Decize	132	137	21	73	147	201	73	133	34	94	172	158	1375
Villeneuve/Allier	81	78	37	49	134	120	89	105	44	74	151	106	1068
Vichy	53	106	49	63	150	176	121	108	41	101	140	141	1249
Clermont Ferrand	45	50	26	51	119	96	86	189	46	89	100	105	1002
Ambert	62	154	34	60	153	95	106	117	31	107	155	107	1181
Le Puy	24	67	67	77	145	78	74	83	19	155	86	55	930
Roanne	45	80	22	54	83	89	122	102	34	100	92	82	905
Joyeuse	17	110	60	166	205	43	48	75	29	289	140	332	1514

Tableau 5 : Précipitations cumulées lors de deux crues (méditerranéenne, océanique) de la Loire à Blois et à Montjean.

Mais seule la crue de 1856 paraît bien représenter la conjonction de situations météorologiques à conséquences catastrophiques, à la fois pour le bassin amont et le bassin aval de la Loire.

IV ■ ESSAI D'ESTIMATION DES DUREES DE RETOUR DE DEBITS DE CRUE

La longueur des chroniques historiques de débits extrêmes instantanés et moyens journaliers reconstitués d'après les niveaux d'eau de la Loire à Blois et Montjean autorise à établir la distribution empirique des fréquences cumulées.

Nous avons représenté la distribution du débit moyen journalier maximum annuel pendant 130 ans.

On constate que pour Blois la distribution qui est linéaire dans la partie basse se relève dans sa partie supérieure (patte de chien) où se trouvent essentiellement les crues d'origine méditerranéenne. Nous pensons qu'il ne s'agit pas d'un artefact d'échantillonnage mais bien d'une réalité, et l'application de la méthode de gradex, en s'appuyant sur la distribution des précipitations cumulées en cinq jours extrêmes d'automne, confirmerait cette direction asymptotique.

Le débit moyen journalier décennal est de l'ordre de 2800 m³/s, alors que le débit centennal peut être estimé à

Date	Volume calculé sur 40 jours à		Volume calculé sur 2 mois à	
	BLOIS	MONTJEAN	BLOIS	MONTJEAN
1/11-10/12, 1910	4.8 km ³	13.6 km ³	7.6 km ³	20.5 km ³
18/12, 1935 - 26/1, 1936	4.4 km ³	12.8 km ³	6.4 km ³	18.1 km ³
15/11 - 4/11, 1944	4.7 km ³	9.9 km ³	6.2 km ³	12.7 km ³
1/12, 1982 - 9/1, 1983	3.9 km ³	10.0 km ³	4.8 km ³	12.6 km ³
21/01-1/3, 1995	3.7 km ³	12.5 km ³	4.8 km ³	15.4 km ³

Tableau 7 : Volumes d'eau en Loire moyenne et aval lors de crues d'origine océanique.

4. La Loire à Montjean : débit moyen journalier maximal annuel.

5000 m³/s. Ce dernier résultat est cohérent avec les calculs de probabilité des débits extrêmes à Gien réalisés par Z. Gazowski dans son étude (Tableau 8, fig. 4).

Par contre la distribution du débit moyen journalier maximal annuel de la Loire à Montjean, qui est aussi linéaire dans sa partie basse s'abaisse dans la partie haute (patte de cheval) ; s'agit-il d'un effet dû aux débordements dans les champs d'inondation pour les grandes crues au-delà d'un seuil ? De plus on peut considérer que pour les fréquences centennales et supérieures, il y a alors moins de cohérence avec les estimations de crues rares à Gien.

Le débit moyen journalier décennal est de l'ordre de 5200 m³/s, le débit centennal étant probablement supérieur à 7000 m³/s.

V ■ CONCLUSION

Les crues d'origine méditerranéenne sont sans doute moins difficiles à prévoir, car se formant sur les hauts bassins de la Loire et de l'Allier. On y dispose d'un réseau de mesure des intensités des précipitations, bientôt complété

par le radar de Sembadel (Chaise Dieu), qui, à l'aide de modèles de relation pluie-débit, permettent d'élaborer des prévisions allant de quelques heures à un jour pour 1000 à 3000 km².

À l'aval jusqu'à Nevers et le Veurdre, à l'aide de relations de propagation et en tenant compte des apports intermédiaires du Forez et Morvan, qui peuvent être appréciables lors de certaines crues, on dispose d'environ deux jours d'anticipation. Puis entre Givry Fourchambault et Tours, on dispose de deux jours de délai, puis de deux jours de délai supplémentaires entre Tours et Montjean. Tout cela permet de prévoir, grâce à la connaissance des intensités de pluie et leur répartition spatiale, la raideur du front d'onde de crue et la gravité des débits de pointe. Toutefois, la gestion des volumes d'eau de 3 à 4 km³ et plus passant à Givry, Gien, Blois, Tours pendant 4 à 5 jours dès la crue centennale s'avère plus difficile.

Par contre les crues du bassin aval, lentes et volumineuses (entre 5 et 15 km³ d'apports intermédiaires) posent plus de problèmes quant à la prévision des accroissements successifs d'apports en eau, souvent occasionnés par les affluents

Durée de retour	NEVERS	LE VEURDRE	GIVRY FOURCHAMBAULT
10 ans	2090	1200	3090
100 ans	3850	3400 (3200)*	7150
1000 ans	6200	5360 (5600)*	10880
		*estimation EDF-DTG	

Tableau 8 : Estimation des débits instantanés de pointe (m³/s).

tels que le Cher, l'Indre, la Vienne en rive gauche et le Loir, la Sarthe, la Mayenne en rive droite; la mise en condition de telles crues prend cependant plusieurs semaines sinon quelques mois. Le suivi des précipitations cumulées par un réseau suffisamment dense de stations pluviométriques télétransmises fiables constitue une nécessité, le réseau hydro-métrique étant bien étoffé, avec la transmission en temps réel de mesures de débits.

Cependant les volumes d'eau véhiculés par les crues exceptionnelles rendent caduque toute velléité de retenue dans des barrages sur la Loire qui peuvent seulement stocker des crues moyennes (d'ailleurs un véritable barrage écrêteur de crue, avec effet retard, doit être vide en permanence); l'utilisation de zones inondables prévues à cet effet est-elle une solution ? La pire situation pour la moyenne et basse Loire se présentera lorsqu'une violente crue méditerranéenne du bassin amont de Gien se superposera à une crue lente à forts débits alimentée par les affluents aval de la Loire, à la suite de conditions météorologiques particulières, événement rare mais vraisemblable, dont il faut envisager les scénarii.

QUELQUES REFERENCES

- [1] E.GENESLAY — « La Loire - Crues Embacles (1972) » Nouvelles Editions Latines,
- [2] A. GOUBET — « Crues exceptionnelles de l'année 1982-83 », Société Hydrotechnique de France,
- [3] M. PARDE — « Le régime du Rhône » - Etude Hydrologique (1925) Université de LYON - Institut d'Etudes Rhodaniennes ; Mélanges PARDE, Institut de Géographie Alpine à GRENOBLE, (1993),
- [4] M. GARNIER — « Mémorial de la Météorologie Nationale » - Division Climatologie - Longues séries de mesures de précipitations en France, zones 1, 2, 3, 4 (1974),
- [5] J.L. ROY — « Protection de la Loire Moyenne contre les inondations »,
- [6] Z. GAZOWSKI — « Modèles de prévision et de gestion »,
- [7] C. PARSY — « Réseau automatique de télémesures hydrométéorologiques du bassin de la Loire », Revue « Les Travaux Publics » - Inondations, n° 1036
- [8] Z. GAZOWSKI — « Crues au Bec d'Allier - Reconstitution de débits de crues anciennes à GIVRY, NEVERS, LE VEURDRE » - Service Hydrologique Centralisateur du Bassin de Loire Bretagne (1986).