



Compagnie Nationale du Rhône

Direction de la Production et de l'Exploitation

Avertissement

Ce rapport rédigé en septembre 2004, présente la synthèse des premières réflexions et travaux engagés après la crue de décembre 2003. La CNR poursuit ses investigations pour mieux affiner l'évaluation des débits du Rhône à Beaucaire.

La crue du Rhône de Décembre 2003

Synthèse hydrologique

 Compagnie Nationale du Rhône © 2 rue André Bonin 69316 Lyon cedex 04	☎ 04.72.00.69.69	Fax 04.72.10.66.62
	E.Mail dithy@cnr.tm.fr	Web http://www.cnr.tm.fr
N° I218 – Rapport de crue décembre 2003 DIT-HY 04-149		Date : Septembre 2004

SOMMAIRE

1 -	INTRODUCTION	4
2 -	LES AMENAGEMENTS CNR	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI
3 -	CONTROLE ET SURVEILLANCE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI
4 -	SYNTHESE METEOROLOGIQUE	7
4.1	INTRODUCTION	7
4.2	PRECIPITATIONS DU MOIS DE NOVEMBRE.....	7
4.3	L'EVENEMENT DE DECEMBRE 2003.....	9
4.3.1	<i>Description générale</i>	9
4.3.2	<i>Chronologie des précipitations</i>	10
5 -	ANALYSE HYDROLOGIQUE	12
5.1	PERIODE DE CRUE	12
5.2	DESCRIPTIF DE LA CRUE.....	12
5.2.1	<i>Sources et validation des hydrogrammes</i>	12
5.2.2	<i>De Lyon à Valence</i>	14
5.2.3	<i>Le Rhône de Valence à Viviers</i>	16
5.2.4	<i>De Viviers à Beaucaire</i>	18
5.2.5	<i>Tableaux de synthèse</i>	20
5.3	SPECIFICITE DE LA CRUE	21
5.3.1	<i>Comparaison des répartitions spatiales des pluies de crues récentes</i>	21
5.3.2	<i>Comparaison avec les crues historiques</i>	23
5.4	VOLUMES ECOULES	26
5.4.1	<i>Les principales stations du Rhône et de ses affluents</i>	26
5.4.2	<i>Impact des affluents sur le Rhône</i>	27
6 -	INFORMATION DES DEBITS AUX TIERS PENDANT LA CRUE	30
	PLAN DE SITUATION DU BASSIN DU RHONE	32
	ANNEXES	34
ANNEXE 1.	RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET STATIONS HYDROMETRIQUES DU RHONE ET DE SES PRINCIPAUX AFFLUENTS.....	35
ANNEXE 2.	CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT : SURFACE ET PENTE.....	36

Supprimé : 5

Supprimé : 6

TABLE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 - Schéma de l'aménagement type du Rhône.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 – hauteurs cumulées des précipitations du 30 novembre au 3 décembre 2003.....	9
Figure 3 – Hydrogrammes du Rhône à la station de Beaucaire	13
Figure 4 - Les affluents de Lyon à Valence	14
Figure 5 – La crue de décembre 2003 de Lyon à Valence	15
Figure 6 – Les affluents rive droite de Valence à Viviers.....	16
Figure 7 – La crue de décembre 2003 de Valence à Viviers.....	17
Figure 8 – La crue des affluents de Viviers à Beaucaire.....	18
Figure 9 – La crue de décembre 2003 de Viviers à Beaucaire.....	19
Figure 10 – hauteurs cumulées des précipitations en décembre 2003.....	21
Figure 11 – hauteurs cumulées des précipitations du 6 septembre au 9 octobre 1993	22
Figure 12 – hauteurs cumulées des précipitations du 10 au 13 novembre 1996	22
Figure 13 – hauteurs cumulées des précipitations en mars 2001.....	22
Figure 14 – hauteurs cumulées des précipitations en septembre 2002	22
Figure 15 – hauteurs cumulées des précipitations en novembre 2002	23
Figure 16 – Comparaison des récentes crues du Rhône, enregistrées à Beaucaire.	24
Figure 17 - Temps de connexions simultanées par heure	30
Figure 18 – Nombre de connexions horaires / Débit moyen horaire du Rhône à Beaucaire	31
Figure 19 - Nombre de connexions horaires - Cumul des communications INFORHONE	31

Supprimé : 5

Tableau 1 - Synthèse des événements de novembre 2003	8
Tableau 2 - Synthèse des valeurs maximales relevées par pas de temps et des durées de retour associées – source Météo France.....	11
Tableau 3 - Synthèse des débits maximaux atteints	20
Tableau 4 - Comparaison des caractéristiques des crues récentes du Rhône à Beaucaire.....	24
Tableau 5 - Les plus fortes crues annuelles du bas Rhône.....	25
Tableau 6 – Comparaison des volumes écoulés aux principales stations du Rhône et de ses affluents pendant la crue de décembre 2003 avec les volumes annuels en 2003.....	26
Tableau 7 - Apport des affluents mesurés et des bassins versants intermédiaires	28
Tableau 8 –Volumes écoulés aux stations de affluents par rapport aux volumes écoulés aux stations du Rhône	29

1 - INTRODUCTION

Après un mois de novembre pluvieux, caractérisé par plusieurs événements importants de types cévenols, la vallée du Rhône, en aval de Lyon, a été touchée du 30 novembre au 03 décembre 2003 par un événement méditerranéen extensif.

Cet événement a engendré une crue exceptionnelle du Rhône en aval de Valence, parmi les trois plus fortes jamais connues depuis le 19^{ème} siècle (1840, 1856). Dans la matinée du 4 décembre 2003, le Rhône a enregistré un débit de 12 500 m³/s à la station de mesure de Beaucaire. La fréquence de retour d'un tel événement est supérieure à 200 ans (probabilité de 1/200 par an d'atteindre ce débit).

La crue de décembre 2003 a été caractérisée par sa rapidité. Entre le 1er et le 2 décembre, le Rhône est passé de 1 800 à 8 000 m³/s à Viviers et de 2 400 à 10 000 m³/s à Beaucaire en moins de 30 heures.

Les périodes de retour observées peuvent être qualifiées de :

- très inférieure à la crue décennale à Ternay. Le débit moyen journalier maxi observé est de 2035 m³/s le 03 décembre 2003, soit un débit dépassé environ 35 jours par an,
- légèrement inférieure à la crue décennale à Valence,
- de l'ordre de 70 ans à Viviers,
- supérieure à 200 ans à Beaucaire.

Ce dossier présente et commente les enregistrements de débits aux stations principales du Rhône et des affluents. Au préalable, il est rappelé le fonctionnement des aménagements CNR ainsi que le mode de surveillance mis en place par la CNR.

2 - LES AMENAGEMENTS CNR

Le Rhône aménagé est constitué d'une succession d'équipements. Les annexes 1 (plan) et 2 (profil en long) dressent le synoptique des aménagements.

L'étroitesse de la vallée et l'existence de nombreuses zones bâties sur les rives ont rendu nécessaire la division du fleuve en différentes sections d'environ 20 km de long, chacune étant traitée comme un aménagement indépendant. Six aménagements sur le Haut-Rhône et douze sur le Bas-Rhône ont été conçus sur le principe de l'aménagement type présenté ci-après :

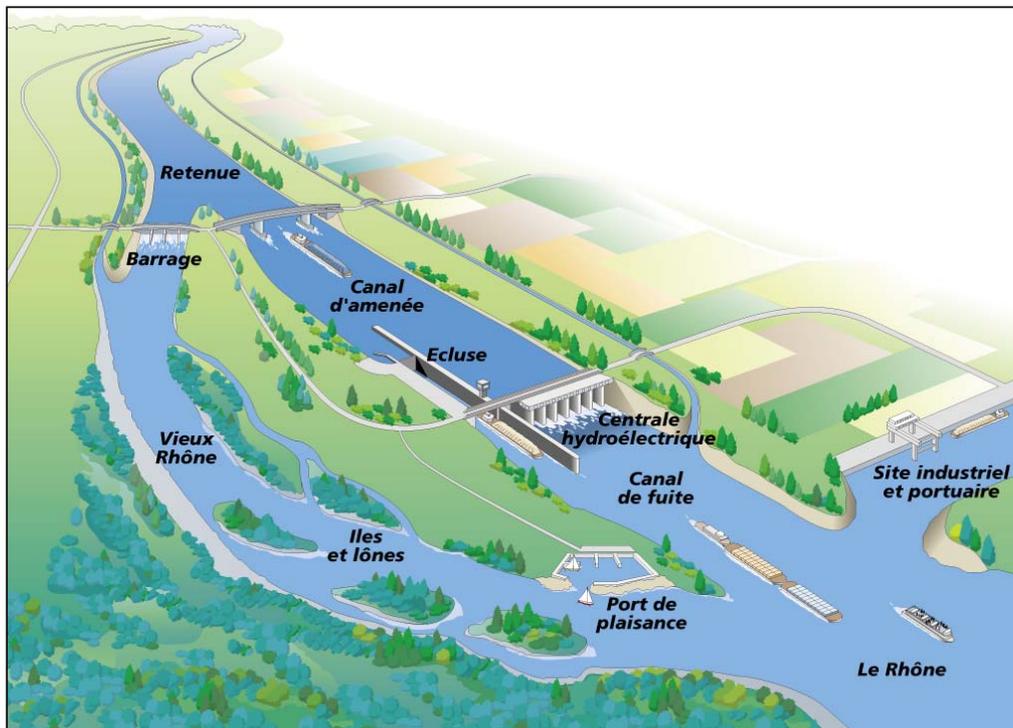


Figure 1 - Schéma de l'aménagement type du Rhône

Les aménagements de Génissiat et Seyssel (Haut Rhône) et Vaugris (Bas Rhône) sont conçus différemment : l'usine hydroélectrique et le barrage sont accolés.

La crue de décembre 2003 a impacté le fonctionnement des aménagements de la CNR à l'aval de Valence.

3 - CONTROLE ET SURVEILLANCE

La Compagnie Nationale du Rhône dispose d'un "Poste de Contrôle Centralisé" à Génissiat (P.C.C) et d'un "Poste de Surveillance Hydraulique" à Châteauneuf-du-Rhône (P.S.H). En eaux normales, ou période énergétique, l'objectif est d'optimiser la production d'énergie hydroélectrique. En période de crue, les Directions Régionales et ces deux postes gèrent et surveillent le comportement hydraulique de l'ensemble des aménagements de la vallée et assurent le transfert des crues.

Par un système informatique complet, toutes les informations nécessaires pour contrôler le bon fonctionnement des turbines et des vannes de barrage de ces aménagements sont visualisées.

Des équipes locales sont prêtes à intervenir 24 h sur 24 dans les centrales, les barrages et les équipements annexes. En période de forte crue, elles sont présentes en permanence sur les sites.

En période de hautes eaux, l'objectif prioritaire est de faire transiter les débits de la crue dans des conditions les plus proches de l'état naturel avant aménagement. La production d'électricité est diminuée, voire arrêtée pour certaines usines afin de permettre la submersion des champs d'inondations reconnus pour leur capacité d'écrêtement (cela concerne principalement le haut-Rhône). Toute l'action des exploitants consiste donc à respecter un niveau du Rhône tel que les conditions d'inondation et d'accumulation des eaux sur les grandes dépressions naturelles, sur les marais ou dans le lit du Vieux-Rhône soient comparables à celles observées avant aménagement.

En situation de crue, les Directions Régionales informent les services d'annonces de crue et les préfetures par des envois réguliers d'informations de débits. Les services d'annonce de crue collectent également d'autres éléments d'informations, renseignent les préfetures dont les services de la Protection Civile, alertent les mairies, les gendarmeries et les administrations concernées selon les procédures en vigueur.

Le public peut accéder en temps réel à des informations sur les crues et sur leur évolution au moyen du service minitel vidéotex mis à la disposition par la CNR : 3615 INFORHONE¹. Les graphes illustrant le nombre de connexions pendant cet épisode de crue sont présentés dans ce dossier (pages 30 et 31).

¹ 3615 INFORHONE : site payant - tarification : 0.020 € HT à la connexion et 0.351€ HT/mn

4 - SYNTHÈSE MÉTÉOROLOGIQUE

4.1 Introduction

La rapidité de la crue de décembre 2003 est due à un épisode pluvio-orageux intense et généralisé sur le quart sud-est de la France. Il s'agit d'un phénomène méditerranéen classique lié à une perturbation provenant d'une collision entre des masses d'air froid et de l'air chaud provenant de la Méditerranée saturé en humidité.

L'évènement de décembre 2003 n'a pas été exceptionnel par son intensité mais par :

- son amplitude géographique : jusqu'à 20 départements ont été concernés par la mise en vigilance orange par Météo France.

Sur le Rhône, la quasi totalité des affluents situés entre Lyon et la mer ont été affectés : Azergues, Eyrieux, Drôme, Ardèche, Durance, Gardon,....

- sa durée dans le temps de plus de 48 heures : les phénomènes similaires ne dépassent pas habituellement 24 ou 36 heures,

L'analyse de l'évènement météorologique réalisée par Météo France (cf. Rapport de crue de décembre 2003 – chapitre 1) repose sur plusieurs éléments : une analyse de la pluviométrie du mois précédent, une analyse de l'évènement étudié, s'appuyant en particulier sur la chronologie des hauteurs de précipitations mesurées, une comparaison avec les évènements historiques, et enfin l'analyse de la performance de la prévision de Météo France pour cet évènement, telle qu'elle a été fournie à CNR.

4.2 Précipitations du mois de novembre

Météo France a réalisé une étude du contexte antérieur.

L'épisode du début du mois de décembre 2003 a été précédé d'un mois de novembre relativement pluvieux, qui a été marqué par plusieurs évènements météorologiques.

Les différents bassins versants affluents qui sont étudiés dans la suite du rapport, sont les suivants :

En rive droite du Rhône

- la Saône intermédiaire
- le Doux
- l'Eyrieux
- l'Ouvèze
- l'Ardèche
- la Cèze
- le Gard

En rive gauche du Rhône

- l'Isère aval
- la Drôme
- le Roubion
- le Lez
- l'Aigues
- la Durance

Le tableau ci-dessous décrit ces événements en précisant les affluents concernés :

Date de l'événement	Description
du 07 novembre au 09 novembre :	L'événement a duré 36 heures de plus sur les affluents de type cévenol que sur les autres affluents. Les lames d'eau maximales ont été enregistrées sur les bassins versants rive gauche : Lez, Roubion et Aigues
du 12 novembre au 13 novembre	L'événement de faible ampleur touche uniquement le bassin versant de la Saône et celui de l'Isère.
du 15 novembre au 17 novembre	L'événement a été très important sur les bassins versants de type cévenols, avec une lame d'eau estimée sur le bassin versant de l'Ardèche de l'ordre de 77 mm.
du 21 novembre au 25 novembre	Du 21 novembre 12h-18h au 24 novembre 12h-18h, ce sont essentiellement les bassins versants en rive droite qui sont concernés, soit du Doux au Gard. Des lames d'eau relativement importantes sont estimées sur les bassins versants de l'Eyrieux, l'Ardèche et du Gard, avec environ 46, 109 et 115 mm. Puis du 24 novembre 00h-06h au 25 novembre 00h-06h, cet événement se décale vers les bassins versants rive gauche, et touche la Drôme, le Roubion, le Lez, la Durance aval.
du 26 novembre au 28 novembre	L'événement concerne les bassins versants rive droite situés en amont du bassin versant de l'Ardèche et l'ensemble des bassins versants rive gauche du Rhône. L'intensité de cet événement est beaucoup plus importante sur les bassins versants amont, comme la Saône, l'Isère, la Drôme, avec des lames d'eau estimées de 30 à 45 mm.

Tableau 1 - Synthèse des événements de novembre 2003

D'après Météo France, les événements majeurs du mois de novembre 2003 sont les épisodes cévenols qui se sont déroulés les 15 et 16 novembre et du 21 au 24 novembre (événement pour lequel les 200 mm cumulés ont été dépassés en moins de 4 jours), auxquels s'ajoutent une activité pluviométrique continue jusqu'à l'épisode de décembre. Un tel phénomène sur le mois de novembre explique en partie la réactivité importante des affluents.

En conclusion,

- le mois de novembre est un mois qui peut être qualifié de pluvieux sur le bassin Rhône Méditerranée Corse, avec des isohyètes dépassant largement les 200 mm (par mois) au sud de Privas – Montélimar et un foyer important de précipitations observées sur les Cévennes
- A la fin du mois de novembre certains sous-bassins présentent une situation pluviométrique excédentaire, avec des rapports à la normale supérieurs à 100% pouvant excéder localement 200 %.

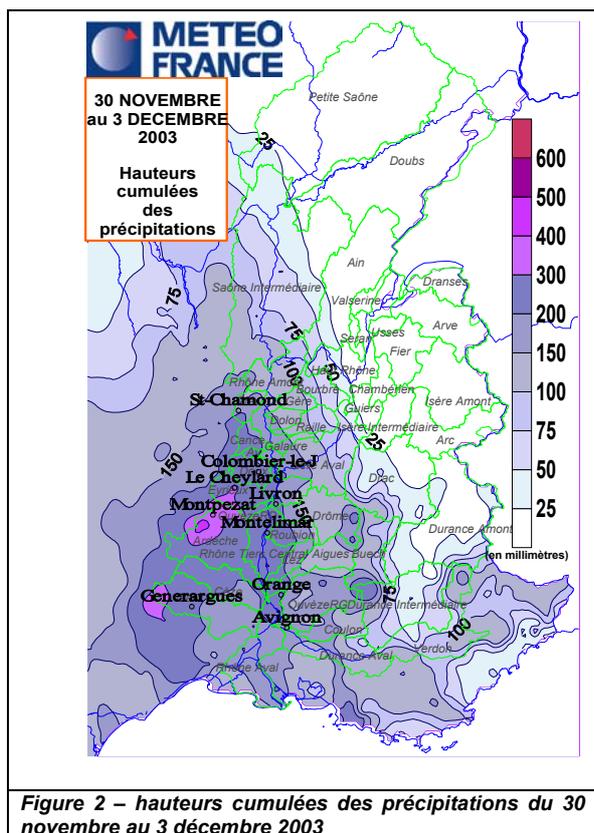
L'analyse montre donc que la situation pluviométrique des bassins versants des affluents du Rhône est excédentaire. Lors de fortes précipitations, les sols étant saturés, les temps de réponses des cours d'eau sont relativement plus courts.

4.3 L'événement de décembre 2003

4.3.1 Description générale

D'après Météo France, la durée de l'événement du début du mois de décembre est de quatre jours. Cependant la répartition des précipitations pendant ces quatre jours est loin d'être uniforme.

La figure suivante fournie par Météo France illustre la situation météorologique du début du mois de décembre 2003, en présentant les hauteurs de précipitations cumulées du 30 novembre au 3 décembre 2003 sur l'ensemble de la vallée du Rhône.



On note qu'une grande partie de la vallée du Rhône est touchée par cet événement. Au sud de Mâcon, les hauteurs de précipitations cumulées dépassent 100 mm, entre Lyon et St Etienne, dans la région d'Annonay et du Puy, les hauteurs cumulées sur trois jours dépassent 150mm et entre Valence, Avignon, et Montpellier, les pluies atteignent entre 200 et 300 mm sur 3 jours.

En 48 heures (1er et 2 décembre), les valeurs de précipitations en plaine ont souvent dépassé les 100 mm sur les départements du Rhône, de l'Ardèche et certaines communes de la Saône et Loire. Plus en altitude, les valeurs ont été encore plus impressionnantes comme dans l'Ardèche où l'on relève du 30 novembre au 2 décembre : 393 mm à La Souche, 380 mm à Loubaresse, 367 mm à Barnas.

En une seule journée, les valeurs enregistrées représentent globalement 4 fois la moyenne d'un mois de décembre.

Figure 2 – hauteurs cumulées des précipitations du 30 novembre au 3 décembre 2003

4.3.2 Chronologie des précipitations

Météo France a analysé la chronologie des précipitations enregistrées en 8 postes pluviométriques afin de comprendre le phénomène de genèse de la crue et de préciser ensuite le déroulement de la crue.

Les postes pluviométriques ont été situés sur le plan de situation du bassin versant du Rhône reporté en fin de rapport ; les hyétoigrammes fournis en ces points sont également représentés sur cette carte².

L'analyse a été réalisée dans un premier temps sur les postes situés en rive gauche, puis ceux situés en rive droite :

- En rive gauche du Rhône les stations retenues sont :
 - Livron (Drôme)
 - Montélimar (Roubion)
 - Orange (Aigues)
 - Avignon (Durance)

Les hyétoigrammes de ces stations se caractérisent par une phase intense de précipitations débutant le 1^{er} décembre entre 14 h et 15h. Cette période dure jusqu'au 2 décembre entre 12h et 14h. Après une diminution des précipitations, les postes enregistrent de nouvelles pluies d'intensité plus faibles.

Les cumuls sur l'événement atteints à Livron, Montélimar et Orange, sont du même ordre, entre 210 et 228 mm , alors que le cumul enregistré en Avignon est plus faible : 168 mm

- En rive droite, les postes retenus sont :
 - St Chamond (Gier)
 - Colombier-le-Jeune (Doux)
 - Le Cheylard (Eyrieux)
 - Montpezat (Ardèche)
 - Généralgues (Gard)

L'événement météorologique apparaît dès le 30 novembre avec des précipitations d'intensités différentes selon les bassins versants, excepté sur le Gier où les premières pluies sont enregistrées à Saint Chamond à partir du 1^{er} décembre 09 heures.

On note peu de ressemblance entre le hyétoigramme du Gier et les autres. Sur ce bassin, on observe 3 pics de précipitations d'intensités décroissantes.

Sur les autres bassins versants les précipitations sont continues.

Sur les bassins versants de l'Ardèche, de l'Eyrieux et du Doux, on observe également une intensification des précipitations à partir du 1^{er} décembre 13h00. Sur ces trois postes, on note l'apparition de deux pics : le 1^{er} décembre entre 15h00 et 18h00 et le 2 décembre entre 06h00 et 11h00.

Les cumuls enregistrés sur les postes situés sur les bassin versants de l'Ardèche et de l'Eyrieux sont importants, entre 320 et 335 mm.

L'intensité des pluies sur le Gard est faible, malgré une augmentation vers le 1^{er} décembre 13h00. Après une accalmie le 02/03 décembre entre 20h et 02h du matin, l'intensité augmente, avec une pluie horaire dépassant les 20 mm. Ce pic entraîne le pic de crue « retardé » du Gard.

Le tableau suivant établi par Météo France synthétise les cumuls enregistrés aux postes pluviométriques en différents pas de temps, ainsi que les périodes de retour associées

² A noter que la situation des postes pluviométriques est approximative, car les coordonnées LAMBX et LAMBY fournies par Météo France sont arrondies.

Pas de temps Poste	1 heure	2 heures	3 heures	6 heures	12 heures	1 JOUR	2 JOURS	3 JOURS
Avignon (Durance Aval)	15,8 < 1 an	20,2 < 1 an	29,4 < 1 an	55,8 3 ans	83,4 6 ans	129,2 25 ans	159,8 25 ans	166,8 15 ans
Orange (Aigues)	30,2 2 ans	41 3 ans	48,8 3 ans	69,8 4 ans	101,8 10 ans	170,6 50 ans	200,6 100 ans	209,8 40 ans
Montélimar (Roubion)	16,2 < 1 an	22,6 < 1 an	31,6 < 1 an	56,4 2 ans	91,8 4 ans	162,4 40 ans	205,8 50 ans	217,6 40 ans
Livron/Drôme (Drôme)	13 < 1 an	22 < 1 an	32 4 ans	58,5 10 ans	99 40 ans	189 100 ans	221 100 ans	226,5 50 ans
Généralgues (Gard)	20 < 1 an	31,6 < 1 an	41,2 < 1 an	54,2 < 1 an	75,6 < 1 an	87,4 < 1 an	152,2 3 ans	195,4 4 ans
Montpezat (Ardèche)	12 < 1 an	22,5 < 1 an	33,5 < 1 an	56,5 < 1 an	93 2 ans	173,5 3 ans	252,7 4 ans	323,1 6 ans
Le Cheylard (Eyrieux)	13 < 1 an	24,5 < 1 an	36,5 2 ans	65,5 5 ans	111 20 ans	211,5 60 ans	271 40 ans	311 40 ans
Colombier-le- Jeune (Doux)	11,9 < 1 an	20,9 < 1 an	28,6 < 1 an	53,5 3 ans	90,1 8 ans	164,8 40 ans	211,5 15 ans	221,7 15 ans
St-Chamond (Gier)	10,8 < 1 an	21,2 < 1 an	29,2 2 ans	54 15 ans	77,6 30 ans	131,2 >200ans	158,6 >200ans	161,6 >200ans

Tableau 2 - Synthèse des valeurs maximales relevées par pas de temps et des durées de retour associées
- source Météo France

Les éléments importants mis en exergue dans ce tableau sont :

- l'absence de pluies exceptionnelles inférieures à 3heures,
- des durées de retour peu importantes sur les bassins versants cévenols traditionnellement touchés par les pluies méditerranéennes intenses (Gard, Ardèche)
- des durées de retour importantes sur des bassins versants cévenols comme l'Eyrieux et le Doux (avec une durée de retour de 50 ans sur un cumul 24 heures)
- des durées de retour élevées sur les bassins versants de la rive gauche et du Tiers central du Rhône : on note des durées de 100 ans estimées à Livron sur la Drôme et à Orange sur l'Aigues sur 24 heures.
- une durée de retour qualifiée d'exceptionnelle par Météo France sur le bassin versant du Gier (supérieur à 200 ans pour les cumuls 24, 48 et 72 heures)

5 - ANALYSE HYDROLOGIQUE

5.1 Période de crue

L'état de crue a été déclaré entre le 1^{er} décembre 2003 00h00 et le 05 décembre 24h00.

5.2 Descriptif de la crue

5.2.1 Sources et validation des hydrogrammes

Les hydrogrammes observés au droit des stations hydrométriques du Rhône et de ses affluents ont été insérés dans le corps de ce rapport, pour illustrer l'analyse. Ils ont été tracés à partir des débits moyens horaires issues de la base de données THALIE (base de données du Rhône – CNR).

Ces hydrogrammes sont validés par la CNR. Seuls les hydrogrammes de la Drôme et de Beaucaire ont été modifiés par-rapport à ceux enregistrés en temps réel.

a/ l'hydrogramme de la Drôme

L'hydrogramme de la Drôme a été reconstitué à partir des mesures enregistrées aux stations de Saillans, Livron, Loriol et des jaugeages réalisés en décrue, à la confluence Drôme – Rhône. La station de Livron a servi de référence pour l'hydrogramme de la Drôme à la confluence Rhône.

Le débit de pointe de la Drôme annoncé en temps réel en décembre 2003 est peu modifié : 839 m³/s pour 860 m³/s retenu, la décrue est plus rapide que celle enregistrée en temps réel.

b/ l'hydrogramme de Beaucaire

Les équipes de terrain de la CNR ont réalisé de nombreux jaugeages au droit de la station de mesures de Beaucaire pendant la crue de décembre 2003. Il s'agit de 4 couples hauteur-débit en montée de crue (matinée du 3/12) avec un débit mesuré légèrement supérieur à 11 000 m³/s et de 6 couples hauteur-débit en phase de décrue (le 4/12), le débit mesuré baissant de 11 000 m³/s à 9 000 m³/s. Ces jaugeages sont présentés sous forme de carrés et de triangles sur la figure ci-après.

Après analyse, ces jaugeages ont conduit la CNR à modifier la courbe de transformation hauteur-débit de la station de Beaucaire pour les débits supérieurs à 8 000 m³/s. La modification de la courbe implique une diminution des débits pour une cote du Rhône identique.

Cependant, des brèches se sont formées le long des digues syndicales du Rhône, à Arles et Fourques en fin de matinée le 3 décembre 2003. Ces brèches, qui se situent à une dizaine de kilomètres en aval de Beaucaire, ont influencé le niveau à Beaucaire.

A partir du moment où ces brèches influencent le niveau, la nouvelle loi de transformation hauteur-débit établie sur la base des jaugeages n'est plus applicable.

Ainsi, à partir de la fin de la matinée du 3 décembre 2003, le débit fourni par la loi de transformation sous-estime le débit qui s'est écoulé au droit de la station de Beaucaire. L'application de cette loi de transformation pour le niveau maximum enregistré à l'échelle de Beaucaire donnerait un débit de pointe de 12 000 m³/s et l'hydrogramme présenté sur la figure ci-après (courbe rouge).

CNR a cherché à reconstituer le débit après la matinée du 3/12/2004 par d'autres approches. Les approches classiques utilisent les débits calculés par les automates de régulation de chaque bief du Rhône ou additionnent les débits mesurés aux stations hydrométriques du Rhône et de ses affluents. Du fait de la rapidité de réaction des bassins versants des affluents et des forts gradients de la crue, l'application de ces approches classiques ne permet d'obtenir des résultats avec des incertitudes convenables. Elle ne

permet pas de prendre précisément en compte les temps de propagation et les amortissements sur les 100 kilomètres de Rhône qui séparent Viviers de Beaucaire.

Afin d'analyser la complexité du phénomène, CNR a utilisé les modèles mathématiques enchaînés dont elle dispose. Ces modèles mathématiques et leur calage ont été validés en 2001 par un comité technique d'experts au cours de l'étude globale du Rhône. Le détail de ces modélisations est présenté au chapitre IV de ce rapport.

Cette approche hydraulique d'ensemble entre Viviers et Beaucaire aboutit à une valeur du débit de pointe à Beaucaire de 12500 m³/s (courbe verte sur la figure ci-après).

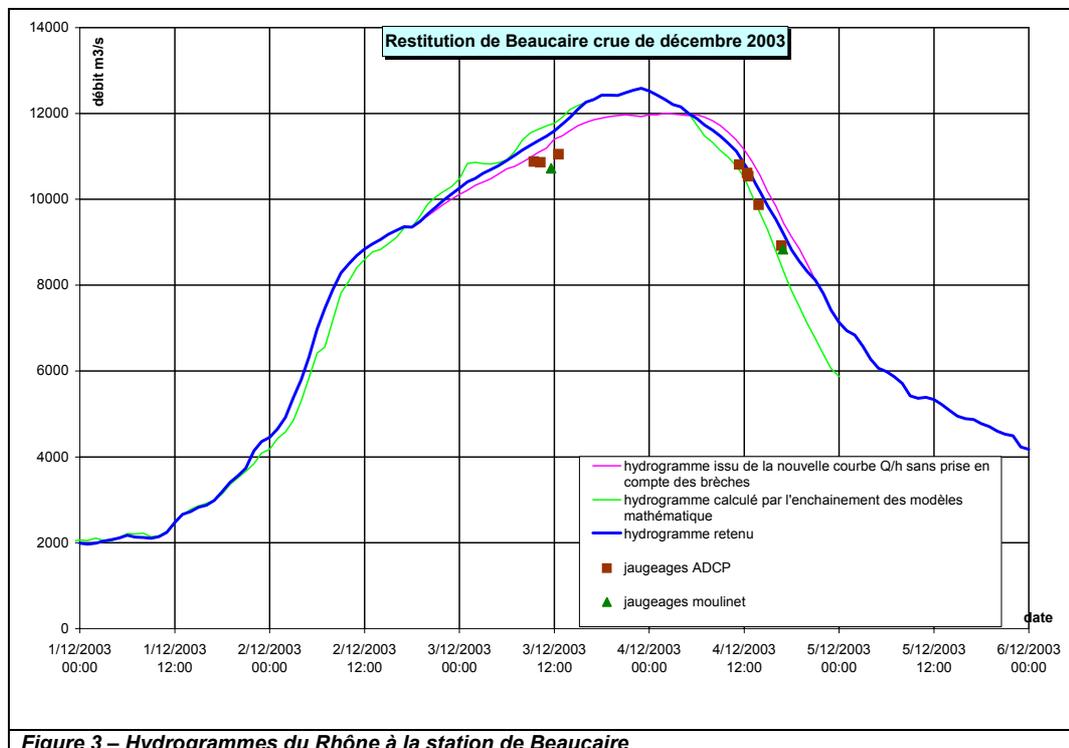


Figure 3 – Hydrogrammes du Rhône à la station de Beaucaire

L'hydrogramme retenu est présenté sur la figure ci-avant (courbe bleue). Cet hydrogramme est confondu avec celui calculé par la nouvelle loi de transformation jusqu'à un débit de 10000 m³/s à la montée de crue. Au-delà, il est interpolé entre l'hydrogramme calculé par la loi de transformation, qui sous estime les débits après l'apparition des brèches (courbe rouge) et l'hydrogramme calculé par l'enchaînement des modèles mathématiques (courbe verte). Au moment de la pointe de crue, l'hydrogramme retenu est confondu avec l'hydrogramme calculé par l'enchaînement des modèles mathématiques. C'est cette méthode de reconstitution des débits par enchaînement qui donne la valeur de pointe de la crue la plus probable car cette méthode permet de prendre en compte les brèches aval. On retiendra dans la suite que le débit de pointe à Beaucaire est de 12500 m³/s. A la décrue, l'hydrogramme retenu rejoint l'hydrogramme calculé avec la nouvelle loi de transformation.

c/ la provenance des hydrogrammes

Les données du Gier à Givors et de la Cance à Sarras³ ont été extraites de la Banque Hydro, base de données hydrométriques de la DIREN.

³ Le gestionnaire de ces stations est la DIREN – Rhône Alpes

Les débits moyens horaires maxi évoqués dans ce rapport sont arrondis à la dizaine de m³/s près.

Afin de mieux comprendre les différents éléments qui ont conduit à l'hydrogramme de crue observé à Beaucaire, nous avons analysé cette crue par secteur géographique.

5.2.2 De Lyon à Valence

a - Les affluents

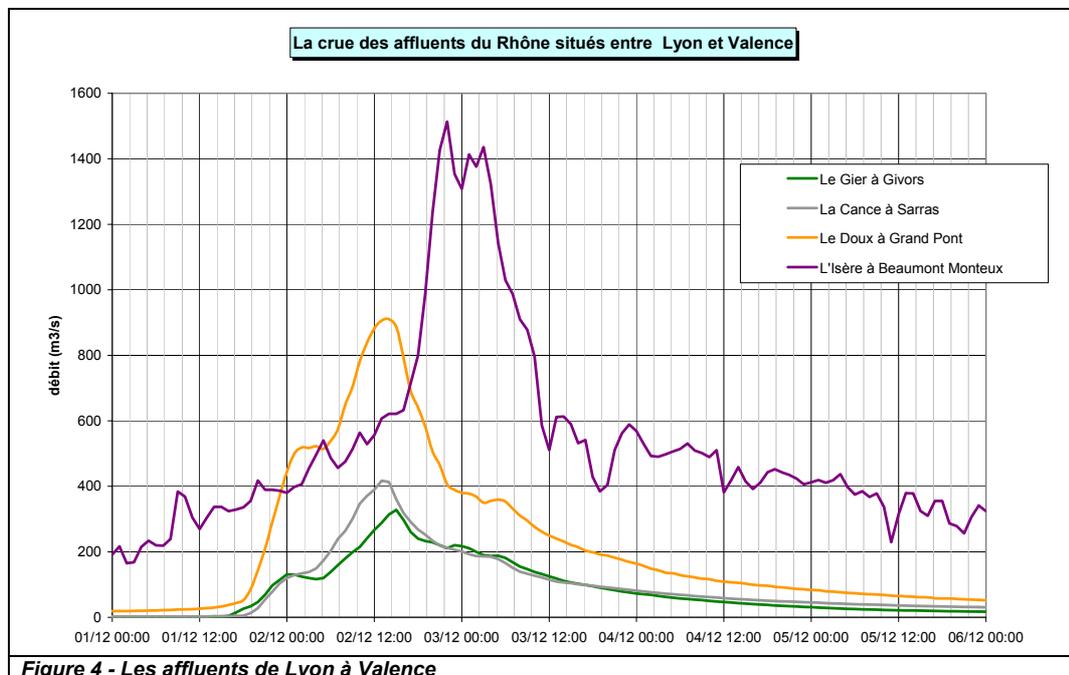


Figure 4 - Les affluents de Lyon à Valence

Le débit des affluents de rive droite, entre Lyon et Valence augmente à partir du 1^{er} décembre vers 19 heures, pour accéder à un premier palier enregistré le 2 décembre entre 0h et 3h, avec environ 130 m³/s à Givors et à Sarras, et 520 m³/s à Grand Pont.

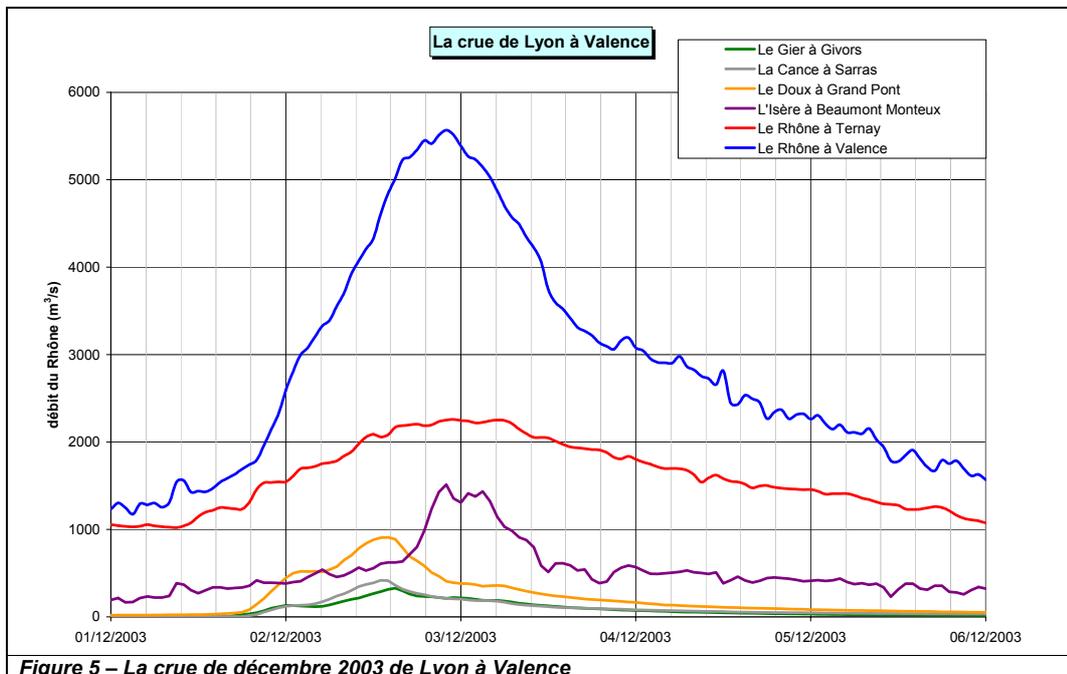
Les débits atteindront le pic de crue le 2 décembre entre 14 heures et 15 heures, avec environ 330 m³/s sur le Gier à Givors à 15 heures, 420 m³/s sur la Cance à Sarras à 13 heures et environ 900 m³/s sur le Doux à Grand Pont à 14 heures.

La décrue est alors entamée, jusqu'au 3 décembre entre 01 heure et 06 heures, où les débits augmentent à nouveau légèrement.

Ce phénomène est observé en particulier sur le Doux.

En rive gauche, seule l'Isère apporte une contribution significative. Son débit, déjà soutenu au début du mois est en augmentation régulière depuis le 1^{er} décembre. Le pic de la crue est observé plus tardivement qu'en rive gauche, le 2 décembre vers 22 heures, avec un débit de 1510 m³/s, soit une période de retour légèrement inférieure à la crue décennale.

b - Sur le Rhône



Le débit du Rhône à Ternay est soutenu pendant la crue de décembre 2003 par les débits des affluents situés en amont, avec notamment la Saône, dont un des affluents principaux, l'Azergues a connu une crue de période de retour 50 ans environ.

Il augmente à partir du 1^{er} décembre 2003 vers 10 heures et atteint un maximum de 2260m³/s le 2 décembre 2003 à 23 heures. Ce débit est largement inférieur au débit de crue décennale, estimé à 4460 m³/s.

Le Rhône à Valence suit les évolutions du débit de l'Isère jusqu'au 1^{er} décembre 20h. A partir de cette date, le gradient de montée se renforce, parallèlement à celui du Doux.

Les affluents soutiennent le débit du Rhône à Valence et la concomitance de l'arrivée des débits engendre une rapide montée des eaux.

La pointe de crue survient le 02 décembre 2003 à 22h, avec un débit enregistré d'environ 5550 m³/s, ce qui correspond environ à une crue décennale.

5.2.3 Le Rhône de Valence à Viviers

a - Les affluents

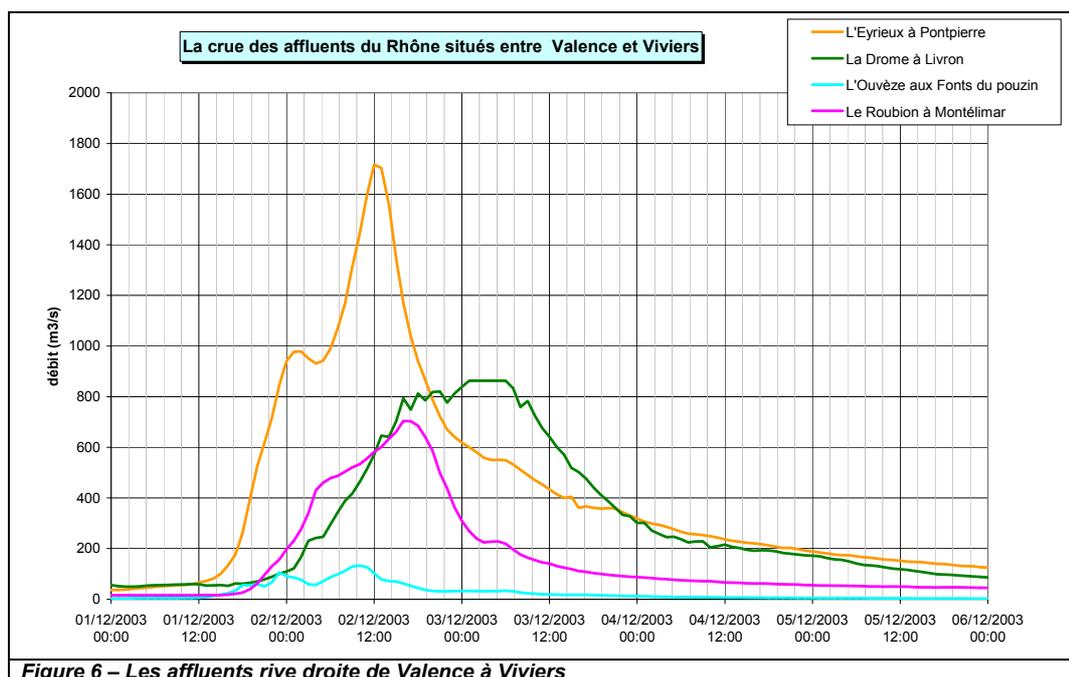


Figure 6 – Les affluents rive droite de Valence à Viviers

L'affluent qui apporte la contribution la plus importante dans ce secteur est l'Eyrieux. Son débit augmente rapidement, à partir du 1^{er} décembre 12h, soit 24 heures environ après le début de l'événement pluvieux (selon enregistrement au poste Le Cheylard). On observe deux gradients de montée : le premier gradient de 85 m³/s/h environ engendre un palier à 980 m³/s le 2 décembre à 02h00 ; puis le débit diminue ensuite légèrement, en lien avec la diminution des précipitations enregistrées. Le débit augmente à nouveau, avec un gradient d'environ 110 m³/s/h jusqu'au 2 décembre 12h00. La pointe de crue est estimée à 1720 m³/s (observée le 2 décembre à 12h00).

Le débit de l'Ouvèze aux Fonts du Pouzin réagit également aux précipitations.

En rive gauche, le débit de la Drôme commence à augmenter à partir du 1^{er} décembre 19 heures, soit 4 heures environ après le début des précipitations enregistrées au poste de Livron et moins de 2 heures après l'apparition du pic de précipitations.

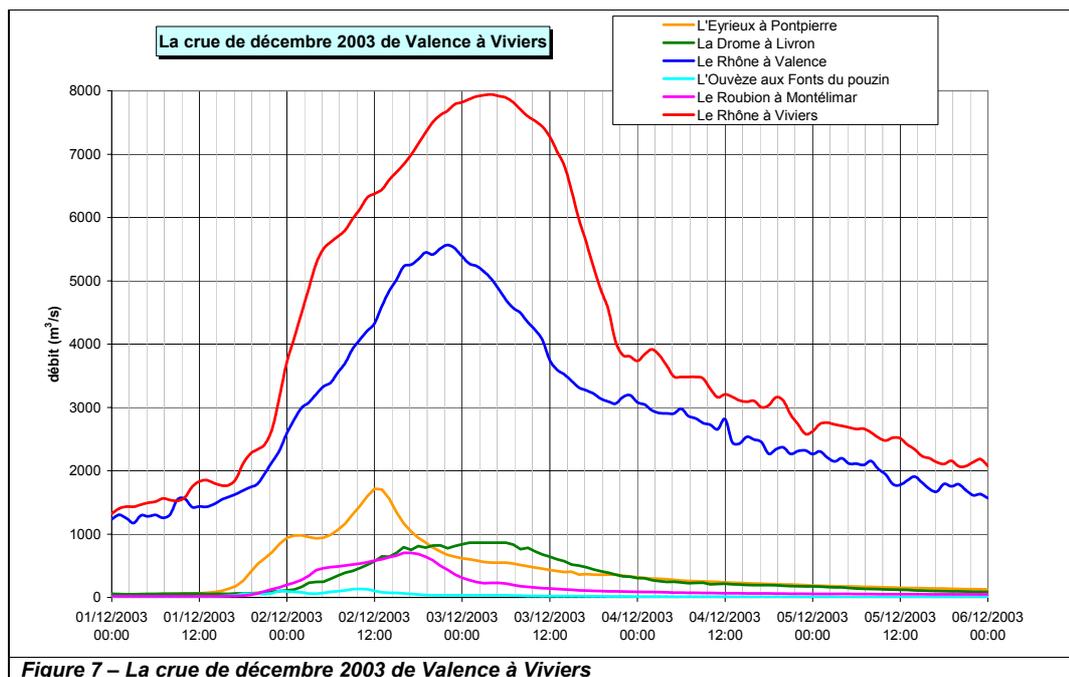
La Drôme réagit donc rapidement aux précipitations et son débit s'accroît en moyenne de 40m³/s/h pour atteindre un maximum estimé à 860 m³/s le 3 décembre à 01h, valeur enregistrée proche du débit de crue centennale.

Les précipitations durent jusqu'au 3 décembre 03 heures, ce qui explique que le débit reste à son maximum pendant environ 12 heures et que la décrue soit relativement lente.

Le Roubion à Montélimar réagit rapidement aux précipitations : son débit augmente 2 à 3 heures après l'observation de précipitations.

Le gradient de montée est important (environ 70 m³/s/h), l'hydrogramme « s'enfle », puis l'inflexion de la courbe change et le gradient diminue jusqu'au pic de crue estimé à 700 m³/s atteint le 02 décembre à 16 heures.

b - Sur le Rhône

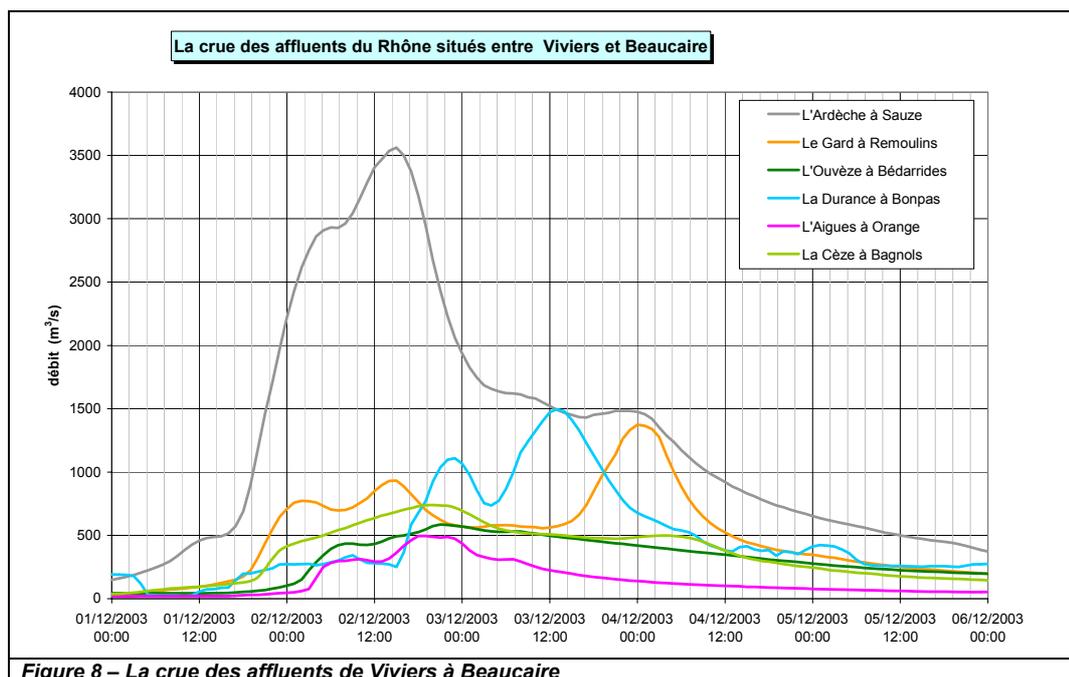


L'hydrogramme du Rhône enregistré à Viviers présente plusieurs phases :

- le débit commence à augmenter dès le 1^{er} décembre 10 heures. A partir du 1 décembre 21 heures, la pente de l'hydrogramme s'accroît (environ 400 m³/s/h). Le Rhône à Viviers réagit dans un premier temps en fonction de l'Eyrieux. A partir du 2 décembre 05h00, le gradient de hausse des débits diminue. Le débit du Rhône à Viviers est soutenu par les affluents tels que le Roubion puis la Drôme. A Viviers, le débit maximal horaire est de 7950 m³/s le 3 décembre à 04 heures. Cette valeur est proche du débit centennal estimé à la station de Viviers à 8100 m³/s.
- la décrue s'amorce dès le 3 décembre après-midi. Tout d'abord très rapide, elle ralentit à partir du 03 décembre 23 heures.

5.2.4 De Viviers à Beaucaire

a - Les affluents



Pour les trois affluents rive droite : Ardèche, Cèze et Gardon la crue s'amorce dès le 1^{er} décembre vers 17 heures.

Des précipitations sont enregistrées sur les postes pluviométriques du Gard et de l'Ardèche depuis le 30 novembre 00h. Le cumul pluviométrique sur le secteur atteint en début de crue 50 mm sur le Gard et 100 mm sur l'Ardèche. Les pluies continuent à tomber sans discontinuer.

La montée de crue est très rapide jusqu'au 2 décembre aux premières heures de la matinée pour atteindre la première pointe de crue vers 2 heures sur le Gard (environ 770 m³/s) et vers 05 heures sur l'Ardèche (environ 2900 m³/s) et la seconde vers 15 heures avec un maximum de l'ordre de 930 m³/s sur le Gard et 3560 m³/s sur l'Ardèche (crue décennale environ).

Le bassin versant de la Cèze ne répond pas de manière identique aux deux autres bassins versants : en effet l'hydrogramme s'amplifie et se « gonfle ». Les débits sont soutenus et le débit de pointe de 740 m³/s est enregistré le 02 décembre à 20 heures (débit inférieur au débit de crue décennale, 1120 m³/s).

La décrue s'amorce le 2 décembre après 15 heures pour l'Ardèche et le Gard, et le 2 décembre après 20 heures pour la Cèze. La décrue des deux premiers affluents est plus rapide que celle de la Cèze.

Les débits restent tout de même soutenus par des précipitations importantes jusqu'au 4 décembre 06h.

C'est le 4 décembre à 00h que l'on enregistre la pointe de crue du Gard évaluée à 1370 m³/s (inférieure à la crue décennale).

Les affluents rive gauche en aval de Viviers entrent en crue globalement plus tard que les autres affluents.

L'Aigues et l'Ouvèze ont un comportement assez analogue. La crue se développe à partir du 2 décembre 02 heures, alors que les pluies sont apparues sur ces bassins versants aux mêmes dates que les autres événements (le 1^{er} décembre vers 15h). Elle atteint son maximum le 2 décembre à 18h et 21h avec respectivement 500 m³/s sur l'Aigues et 590 m³/s sur l'Ouvèze .

Les débits de l'Aigues à Orange et de l'Ouvèze à Bédarrides esquissent une montée en crue à partir du 02 décembre 3 heures, alors que les pluies sont apparues sur ces bassins versants aux mêmes dates que les autres événements (le 1^{er} décembre vers 15h).

Après avoir atteint un premier palier le 2 décembre vers 09 heures - de 300 m³/s sur l'Aigues et de 430 m³/s sur l'Ouvèze – les débits diminuent pendant deux heures, pour ré-augmenter par la suite.

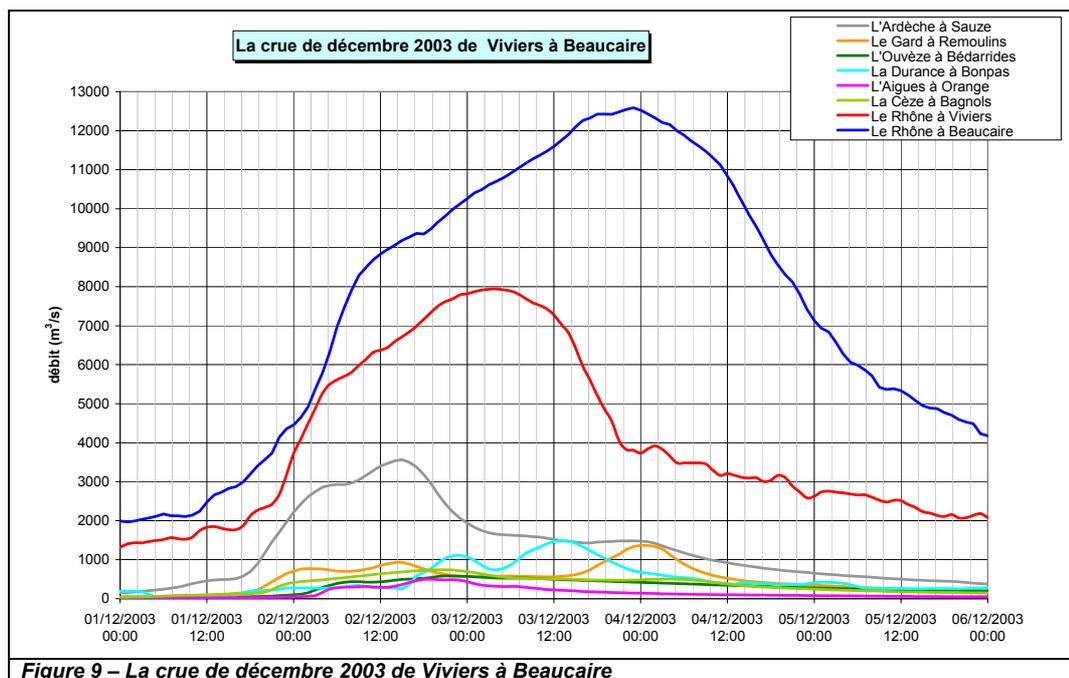
La pointe sur l'Aigues est enregistrée le 02 décembre à 18 heures, puis les débits diminuent régulièrement.

Le maximum sur l'Ouvèze (environ 590 m³/s) est observé le 02 décembre 2003 vers 21 heures. Les débits décroissent ensuite régulièrement pendant la fin de la crue.

Pour la Durance à Bonpas, deux pointes de crues sont observées : la première le 02 décembre 23 heures avec 1110 m³/s et la seconde de 1500 m³/s, le 3 décembre à 13 heures.

Ces valeurs inférieures à la crue décennale résultent d'un déplacement vers l'ouest des précipitations prévues par Météo France.

b - Sur le Rhône



L'hydrogramme de Beaucaire augmente légèrement à partir du 1^{er} décembre 00h00, le gradient de montée est soutenu entre 0h00 et 12h00 le 2 décembre.

Le débit à Beaucaire est dans un premier temps soutenu par le débit des affluents comme le Gard (deux premières pointes de crue). Puis les débits de l'Aigues, de la Durance, de la Cèze, de l'Ouvèze renforcent ce débit et gonflent considérablement l'hydrogramme de crue.

La Durance alimente le Rhône dans la seconde partie de l'événement, à partir du 3 décembre 00h.

Enfin, le pic de crue observé sur le Gard soutient le débit du Rhône à Beaucaire pendant la nuit du 03 au 04 décembre.

Le Rhône à Beaucaire atteint un débit maximum de 12500 m³/s le 04 décembre à 00h00.

Du 1^{er} décembre au 04 décembre, l'hydrogramme à Beaucaire se caractérise par trois pentes différentes, soit trois gradients de montée en crue.

On observe donc :

- du 1^{er} décembre à environ 10h au 02 décembre 01h, soit pendant 15 heures, premier gradient d'environ 170 m³/s/h,
- du 02 décembre 01h au 02 décembre 09h, soit pendant 08heures, un second gradient de 460 m³/s/h
- du 02 décembre 09h au 04 décembre 00h, soit pendant 39 heures, un dernier gradient de 130 m³/s/h.

Le gradient maxi de montée de crue à Beaucaire observé en décembre 2003 est exceptionnel, il est compris en 450 et 500 m³/s/h.

Le gradient moyen de montée de crue est également important, il est estimé à environ 200 m³/s/h

5.2.5 Tableaux de synthèse

Le tableau suivant résume les débits maximaux atteints pendant la crue aux stations hydrométriques du Rhône et des affluents.

CRUE DE DECEMBRE 2003 - BILAN DEBITS MAXIMAUX ATTEINTS								
RHONE (débits arrondis à +/- 50 m ³ /s près)				AFFLUENTS (débits arrondis à +/- 10 m ³ /s près)				
Stations	Débit (m ³ /s)	Heure	Période de retour	Affluent	Stations	Débit (m ³ /s)	Heure	Période de retour
Ternay	2250	02/12/2003 23:00	< Q10 (=4445 m ³ /s)	Saône	Couzon	1260	02/12/2003 03:00	<Q10 (=2200m3/s)
Valence	5550	02/12/2003 22:00	~Q10	Isère	Beaumont Monteux	1510	02/12/2003 22:00	~Q10 (=1600m3/s)
Viviers	7950	03/12/2003 04:00	~Q70	Eyrieux	Pont Pierre	1720	02/12/2003 12:00	~Q30
Beaucaire	12500	04/12/2003 00:00	entre Q200 et Q300	Drome	Livron	860	03/12/2003 01:00	-
				Roubion	Montélimar	700	02/12/2003 16:00	-
				Ardèche	Sauze	3560	02/12/2003 15:00	Q10
				Doux	Grand Pont	900	02/12/2003 14:00	-
				Cèze	Bagnols	740	02/12/2003 20:00	<Q10 (=1110m3/s)
				Aigues	Orange	500	02/12/2003 18:00	-
				Ouvèze	Bédarrides	590	02/12/2003 21:00	-
				Durance	Bonpas	1500	03/12/2003 13:00	<Q10 (=2390m3/s)
				Gard	Remoulins	1370	04/12/2003 00:00	<Q10 (=2200m3/s)

NB : Les périodes de retour sont évaluées à partir des résultats du volet hydrologie de l'étude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône

Tableau 3 - Synthèse des débits maximaux atteints

5.3 Spécificité de la crue

5.3.1 Comparaison des répartitions spatiales des pluies de crues récentes

Afin de comparer d'un point de vue météorologique les différents événements historiques qui se sont produits, nous avons recensé les cartes des hauteurs de précipitations existantes sur ces événements.

Les données trouvées concernent les événements de :

- octobre 1993
- mars 2001 (précipitations cumulées sur le mois)
- novembre 1996
- septembre 2002 (idem)
- novembre 2002

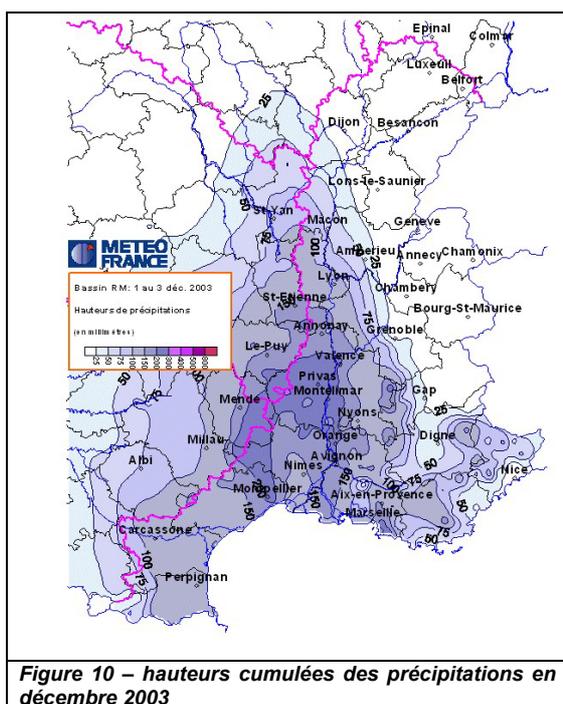


Figure 10 – hauteurs cumulées des précipitations en décembre 2003

Cette carte présente les hauteurs de précipitations pour l'épisode pluvio-orageux à l'origine de la crue de décembre 2003.

Elle montre la perturbation qui a touché l'ensemble des plaines et des zones en altitude du bassin du Rhône en aval de Lyon et qui a donné lieu à des précipitations impressionnantes.

Les cartes suivantes font apparaître les événements qui ont engendré les crues récentes du Rhône.

Elles montrent clairement la spécificité de chacun de ces événements qui engendre à son tour une crue spécifique du Rhône et de ses affluents

L'événement d'octobre 1993 est localisé sur toute la vallée du Rhône.

L'épisode de novembre 1996 est considéré par Météo France comme la meilleure référence d'événement de type méditerranéen extensif comparable à début décembre 2003.

Les précipitations en mars 2001 sont situées sur le massif alpin, le bassin de la Saône...

En septembre 2002, le foyer de pluies est localisé uniquement sur les bassins dits cévenols (situés sur le rebord oriental du Massif Central)

L'événement de novembre 2002 s'apparente à celui d'octobre 1993, avec une analogie au niveau de la localisation des foyers de précipitations, même si les intensités de pluies observées sont moins importantes.

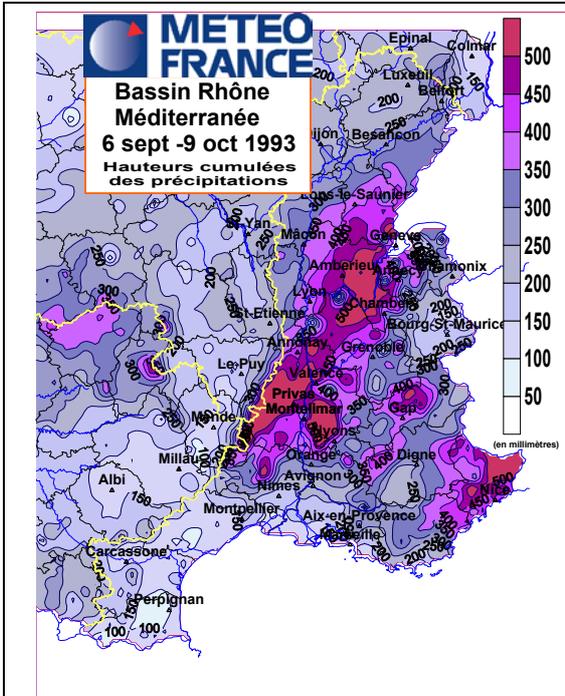


Figure 11 – hauteurs cumulées des précipitations du 6 septembre au 9 octobre 1993

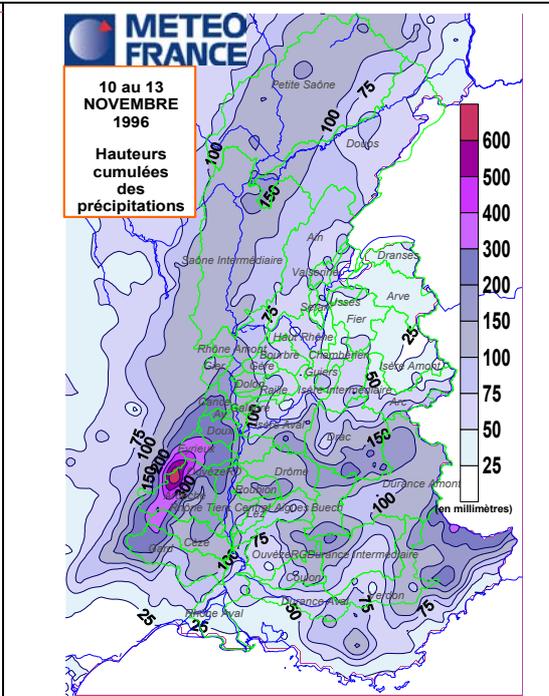


Figure 12 – hauteurs cumulées des précipitations du 10 au 13 novembre 1996

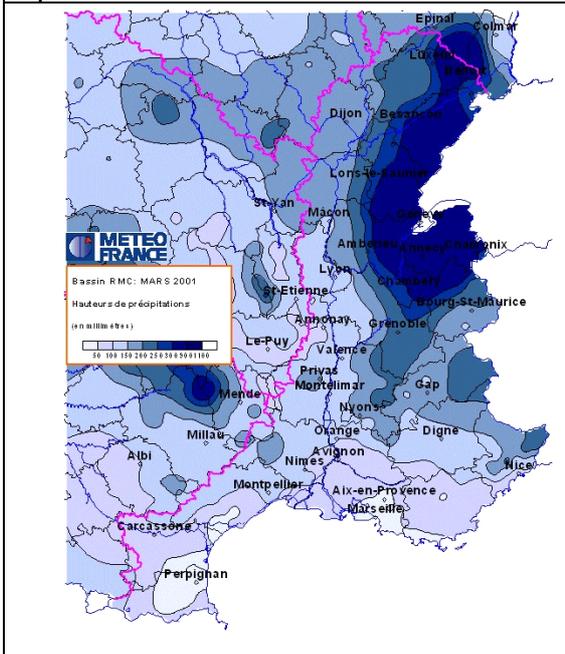


Figure 13 – hauteurs cumulées des précipitations en mars 2001

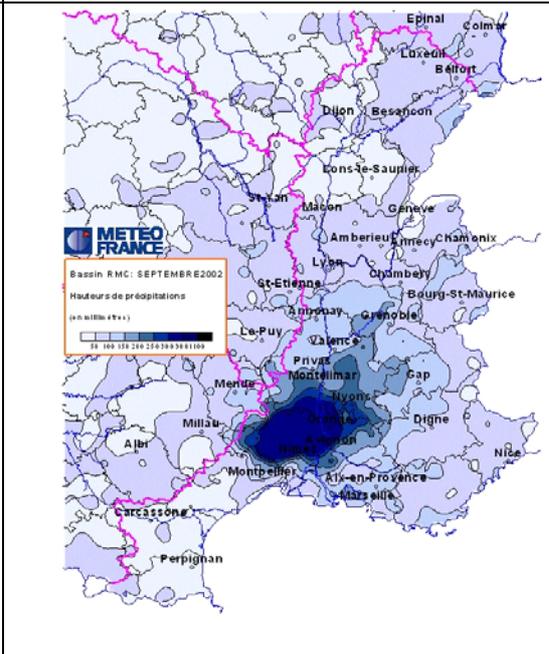
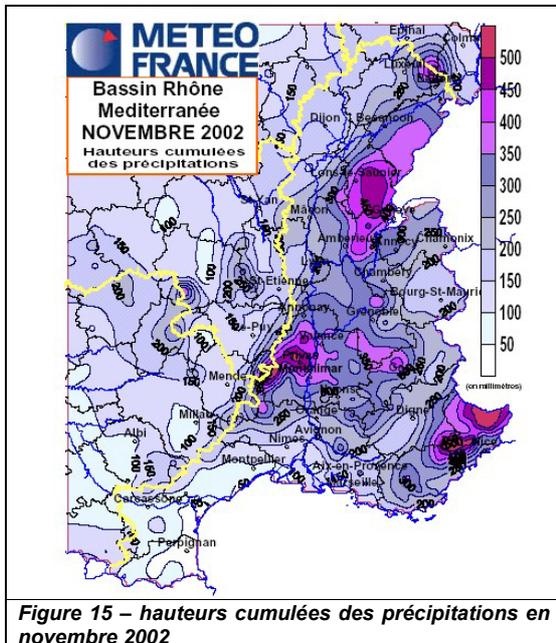


Figure 14 – hauteurs cumulées des précipitations en septembre 2002



D'après Météo France, la comparaison la plus pertinente d'un point de vue météorologique est celle effectuée entre les épisodes de novembre 1996 et décembre 2003, puisqu'il s'agit d'événements de nature météorologique très proche.

Cependant, après analyse, il apparaît que les valeurs extrêmes des pics de précipitations sur la Haute Ardèche sont plus importantes en novembre 1996 qu'en décembre 2003 : plus de 600 mm atteints en 1996, contre 400 en 2003.

Par contre, la répartition spatiale des précipitations des deux événements est légèrement différente :

- au Nord, un caractère plus extensif des précipitations en 2003 avec sur la Saône une zone d'une superficie importante à plus de 100mm de précipitations
- Au Sud, une zone touchée par des précipitations supérieures à 150 mm plus large en 2003 : **17500 Km² en 2003 contre 11500 Km² en 1996.**

L'événement de janvier 1994 est également comparable à celui de décembre 2003. L'étendue géographique des zones comptabilisant des pluies supérieures à 150 mm est du même ordre de grandeur, mais en 1994 ces zones sont moins homogènes.

Chacun de ces événements a engendré une réponse spécifique du Rhône et de ses affluents, comme le précise le paragraphe suivant.

5.3.2 Comparaison avec les crues historiques

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques hydrologiques des crues engendrées par les différents événements évoqués ci-dessus, estimées à Beaucaire.

On note principalement que le gradient de montée de la crue de décembre 2003 est comparable à celui de la crue de janvier 1994.

Station de BEUCAIRE		crue généralisée	crue généralisée	crue méditerranéenne extensive	crue cévenole atypique	crue généralisée	crue méditerranéenne extensive
		octobre 1993	janvier 1994	Novembre 1996	septembre 2002	novembre 2002	décembre 2003
Débit de pointe (m ³ /s)		9 800	11 000	9 000	10 500	10 200	12 500
Date		10/10/1993 08h00	08/01/1994 07h00	13/11/1996 22h00	10/09/2002 02h00	26/11/2002 09h00	04/12/2003 00h00
Gradient de montée de crue moyen	Gradient	55 m ³ /s/h	180 m ³ /s /h	125 m ³ /s /h	350 m ³ /s /h	80 m ³ /s/h	200 m ³ /s/h
	Durée	101 heures	36 heures	64 heures	26 heures	52 heures	56 heures
nbre d'heures où Q > à 8 000 m ³ /s		54h	41 h	16 h	16 h	74 h	62 h
nbre d'heures où Q > à 10 000 m ³ /s		0h	23h	0 h	8 h	23h	46 h
volume écoulé Milliards de m ³	2 jours	1.6	1.6	1.2	1.1	1.7	2.0
	6 jours	4.0	3.5	2.3	1.6	4.2	3.7

Tableau 4 - Comparaison des caractéristiques des crues récentes du Rhône à Beaucaire

Le graphique suivant permet de comparer les hydrogrammes des récentes crues du Rhône enregistrées à la station de Beaucaire.

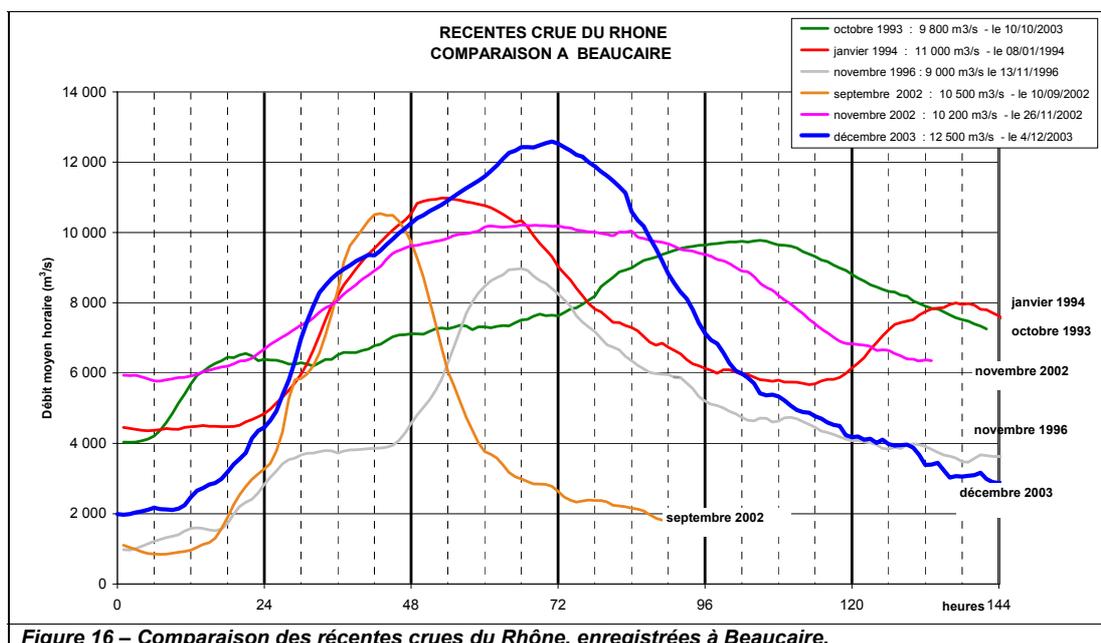


Figure 16 – Comparaison des récentes crues du Rhône, enregistrées à Beaucaire.

Le tableau ci-après permet de comparer l'événement de décembre 2003 avec les grandes crues du siècle passé.

PLUS FORTES CRUES ANNUELLES DU BAS RHONE								
RANG	TERNAY 1895-2003		VALENCE 1855-2003		VIVIERS 1910-2003		BEUCAIRE 1856-2003	
1	26/02/1957	5320	31/05/1856	8300	3/12/2003	7950	4/12/2003	12500
2	16/02/1928	5120	01/11/1896	7400	09/10/1993	7715	31/05/1856	11640
3	01/01/1955	5075	08/10/1993	6700	07/01/1994	7590	08/01/1994	11000
4	26/11/1944	4850	11/11/1886	6620	17/11/2002	7550	10/09/2002	10500
5	02/11/1896	4830	26/11/1944	6620	21/11/1951	6660	12/11/1886	10200
6	25/12/1918	4830	16/11/2002	6600	14/06/1941	6470	26/11/2002	10200
7	23/03/2001	4780	17/02/1928	6480	20/01/1955	6320	10/10/1993	9800
8	27/05/1983	4756	19/01/1955	6300	23/03/2001	6270	14/11/1935	9600
9	05/01/1936	4700	26/12/1918	6100	27/11/1944	6180	22/11/1951	9170
10	12/02/1945	4690	03/01/1883	6040	13/11/1935	6000	21/03/1872	9080
11	26/11/2002	4650	23/03/2001	6020	18/02/1928	5975	02/11/1896	9060
12	30/12/1923	4570	06/01/1936	5830	28/02/1957	5900	13/11/1996	8980
13	10/10/1993	4415	18/05/1983	5690	11/12/1954	5860	30/09/1900	8940
14	21/01/1910	4380	27/02/1957	5680	19/05/1983	5850	01/01/1889	8780
15	17/02/1990	4354	31/12/1923	5630	07/01/1936	5800	11/11/1976	8690
16	23/11/1992	4309	2/12/2003	5500	13/11/1996	5795	08/12/1910	8660
17	16/01/1899	4230	13/11/1935	5470	05/01/1919	5770	10/11/1907	8500
18	19/12/1981	4186	05/01/1919	5450	26/12/1918	5725	29/10/1882	8390
19	01/01/1919	4160	28/10/1882	5440	01/12/1910	5720	06/01/1919	8280
20	12/02/1977	4105	07/01/1994	5380	10/10/1988	5655	24/10/1977	8125
21	14/11/1935	4100	18/12/1981	5376	04/05/1977	5480	28/10/1864	8100
22	06/11/1939	4090	23/11/1992	5328	23/11/1992	5465	09/11/1982	8025
23	08/01/1982	4045	18/01/1899	5300	20/11/1950	5460	19/12/1997	8020
24	23/02/1999	4040	11/04/1922	5280	23/03/1937	5400	08/10/1960	7960
25	28/12/1925	4030	02/06/1877	5235	06/10/1960	5390	22/12/1958	7920
26	05/09/1956	3960	20/12/1910	5220	18/11/1940	5390	21/05/1917	7850
27	12/04/1922	3940	01/01/1924	5220	15/02/1945	5375	03/01/1936	7820
28	26/02/1995	3883	15/03/1876	5200	08/05/1932	5375	23/10/1891	7800
29	09/03/1914	3870	17/02/1990	5189	31/12/1923	5375	27/02/1978	7800
30	27/11/1950	3840	03/11/1859	5160	17/02/1990	5345	06/10/1924	7600

ATTENTION Toutes les dates commençant par 01/01 sont incertaines en ce qui concerne le jour et le mois

Tableau 5 - Les plus fortes crues annuelles du bas Rhône

A Ternay l'événement n'est pas réellement significatif ce qui montre bien que la crue s'est développée sur le tronçon Valence – Beaucaire.

A Valence, le débit n'est pas classé parmi les plus forts, alors qu'il est considéré comme le plus important de la période 1910-2003 à Viviers.

A Beaucaire, la crue de décembre 2003 est la plus importante sur la période 1856-2003.

5.4 Volumes écoulés

5.4.1 Les principales stations du Rhône et de ses affluents

Le tableau suivant présente les calculs des volumes écoulés entre le 1^{er} décembre 2003 et le 10 décembre 2003 aux principales stations du Rhône et de ses affluents.

Ces volumes sont comparés aux volumes annuels écoulés en 2003 :

Stations Rhône Affluents	Volume écoulé en Millions de m3		Rapport (2) / (1)
	2003 (1)	Du 1/12/2003 au 10/12/2003 (2)	
PERRACHE	15 152	423	3%
COUZON (la Saône)	8 056	532	7%
TERNAY	23 251	1 012	4%
GRAND PONT (le Doux)	201	109	54%
BEAUMONT MONTEUX (l'Isère)	9 087	340	4%
VALENCE	34 061	1 714	5%
LIVRON (la Drome)	650	158	24%
PONT PIERRE (l'Eyrieux)	563	216	38%
LES FONTS DU POUZIN (L'ouveze)	39	11	29%
MONTELIMAR (le Roubion)	231	84	36%
VIVIERS	36 397	2 342	6%
VALLON (l'Ardèche)	1 928	663	34%
BAGNOLS (la Cèze)	567	190	33%
ORANGE (l'Aigues)	298	81	27%
BEDARRIDES (l'Ouvèze RD)	908	192	21%
BONPAS (la Durance)	1 250	281	23%
REMOULINS (le Gard)	577	261	45%
BEUCAIRE	43 836	4 368	10%

Tableau 6 – Comparaison des volumes écoulés aux principales stations du Rhône et de ses affluents pendant la crue de décembre 2003 avec les volumes annuels en 2003

En 10 jours, soit 3 % environ de l'année 2003, cet épisode a généré sur le Rhône entre 5 et 10 % du volume annuel.

Sur les affluents, les rapports sont beaucoup plus importants, exceptées la Saône et l'Isère, et valent en moyenne 40 %. Le caractère élevé de cette valeur résulte de la convergence de deux phénomènes

- une année 2003 caractérisée par une hydraulité faible sur les affluents
- un événement - décembre 2003 très important sur les affluents.

5.4.2 Impact des affluents sur le Rhône

Les tableaux suivants (n°7 et 8) précisent sur chaque tronçon du Rhône la part de débit provenant de ses affluents.

Les volumes sont calculés à partir des débits moyens horaires sur une période de 10 jours du 1^{er} décembre au 10 décembre 2003.

Le premier tableau (n°7) présente la part en volume entre les affluents mesurés et les affluents non mesurés.

Entre Perrache et Ternay, la Saône constitue le principal apport en volume, avec 90% du volume entre les deux stations.

Au niveau du tronçon suivant, les affluents mesurés constitués par l'Isère et le Doux représentent 64 % du volume écoulé entre Ternay et Valence, pour une superficie correspondant à 78% du bassin intermédiaire. Enfin, entre Valence et Viviers et entre Viviers et Beaucaire, les affluents mesurés représentent 80% du volume apporté entre les stations du Rhône.

Ce tableau permet de mettre en exergue des affluents dont la contribution a été importante :

- Le Doux : son bassin versant représente 4% du bassin versant entre Ternay et Valence et il participe à hauteur de 16% au volume intermédiaire.
- l'Eyrieux, dont le bassin versant représente 18% du bassin intermédiaire et qui a apporté 34% du volume intermédiaire.
- L'Ardèche a contribué à 33% des apports intermédiaires entre Viviers et Beaucaire pour un bassin versant équivalent à 9% du bassin compris entre ces deux stations.
- Notons enfin le bassin versant intermédiaire non mesuré entre Viviers et Beaucaire, qui ne constitue que 8% du bassin total et dont l'apport représente 18% du volume écoulé entre les deux stations.

Le second tableau (n°8) précise la part du volume apporté par les affluents dans le volume écoulé à la station aval du tronçon considéré.

Les affluents dont les contributions par rapport au volume écoulé sur le Rhône sont les plus importantes sont :

- L'Isère : 20% du volume écoulé à Valence
- L'Eyrieux et La Drôme, avec respectivement 9 % et 7% du volume écoulé à Viviers
- L'Ardèche : 15 % du volume écoulé à Beaucaire.

Affluents	Volume en Mm³	% / au volume apporté entre Perrache et Ternay	Superficie des bv / bv entre Perrache et Ternay
La Saône	532	90%	99%
Total affluents mesurés	532	90%	99%
Total bassins versants intermédiaires non mesurés	57	10%	1%

Affluents	Volume en Mm³	% / au volume apporté entre Ternay et Valence	% Superficie des bv / bv entre Ternay et Valence
l'Isère	340	49%	74%
Le Doux	109	16%	4%
Total affluents mesurés	449	64%	78%
Total bassins versants intermédiaires non mesurés	252	36%	22%

Affluents	Volume en Mm³	% / au volume apporté entre Valence et Viviers	% Superficie des bv / bv entre Valence et Viviers
La Drôme	158	25%	37%
L'Eyrieux	216	34%	18%
L'Ouvèze	11	2%	3%
Le Roubion	84	13%	14%
Total affluents mesurés	469	75%	72%
Total bassins versants intermédiaires non mesurés	159	25%	28%

Affluents	Volume en Mm³	% / au volume apporté entre Viviers et Beaucaire	% Superficie des bv / bv entre Viviers et Beaucaire
L'Ardèche	663	33%	9%
La Durance	281	14%	58%
Le Gard	261	13%	8%
La Cèze	190	9%	5%
L'Aigues	81	4%	4%
L'Ouvèze	192	9%	8%
Total affluents mesurés	1668	82%	92%
Total bassins versants intermédiaires non mesurés	357	18%	8%

Tableau 7 - Apport des affluents mesurés et des bassins versants intermédiaires

Stations de référence	% / au volume de Ternay	Surface du Bassin versant en Km ²
Perrache	42%	20 300
<i>La Saône</i>	53%	29 908
<i>Autres apports</i>	6%	352
Ternay	100%	50 560

Stations de référence	% / au volume de Valence	Surface du Bassin versant en Km ²
Ternay	59%	50 560
<i>Le Doux</i>	6%	623
<i>L'Isère</i>	20%	11 800
<i>Autres Apports</i>	15%	3 467
Valence	100%	66 450

Stations de référence	% / au volume de Viviers	Surface du Bassin versant en Km ²
Valence	73%	66 450
<i>La Drôme</i>	7%	1 640
<i>L'Eyrieux</i>	9%	818
<i>L'Ouvèze</i>	0.5%	123
<i>Le Roubion</i>	4%	610
<i>Autres Apports</i>	7%	1 259
Viviers	100%	70 900

Stations de référence	% / au volume écoulé à Beaucaire	Surface du Bassin versant en Km ²
Viviers	54%	70 900
<i>Ardèche</i>	15%	2 240
<i>Durance</i>	6%	14 225
<i>Gard</i>	6%	2 050
<i>La Cèze</i>	4%	1 305
<i>L'Aigues</i>	1.9%	1 055
<i>L'Ouvèze</i>	4.4%	1 860
<i>Autres Apports</i>	8%	1 955
Beaucaire	100%	95 590

Tableau 8 –Volumes écoulés aux stations de affluents par rapport aux volumes écoulés aux stations du Rhône

6 - Information des débits aux tiers pendant la crue

Le serveur Videotex INFORHONE, conçu et géré par la CNR, permet à toute personne intéressée : riverains, navigants...de consulter 24h sur 24 les débits, les niveaux d'eau et les possibilités de navigation en temps réel.

La source des informations du serveur 3615 INFORHONE⁴ est la base de données hydrologiques CNR THALIE.

En temps normal, ce serveur enregistre en moyenne 50 connexions par jour.

Ce chiffre augmente de manière notable à chaque crue.

Le serveur Vidéotex INFORHONE a été très sollicité tout au long de l'événement. Ainsi il a été totalisé plus de 5 000 connexions en 4 jours, du 2 au 5 décembre inclus. A titre d'information, le nombre de connexions comptabilisées au cours du 1^{er} semestre 2003 est de l'ordre de 4 250 appels.

Deux arrêts du service ont été constatés suite à des problèmes informatiques pouvant être liés à une saturation du serveur :

- le 1^{er} : dans la nuit du 2 au 3 décembre 2003 entre 3h et 8h pendant la phase de montée de crue, pendant cette période, le débit enregistré à Beaucaire a évolué de 10 200 m³/s à 10 600 m³/s,
- le 2^d : dans la matinée du 4 décembre de 10h à 12h soit en début de décrue du Rhône, le débit à Beaucaire était alors de 11 500 m³/s.

Les trois graphiques suivants illustrent ces différents constats.

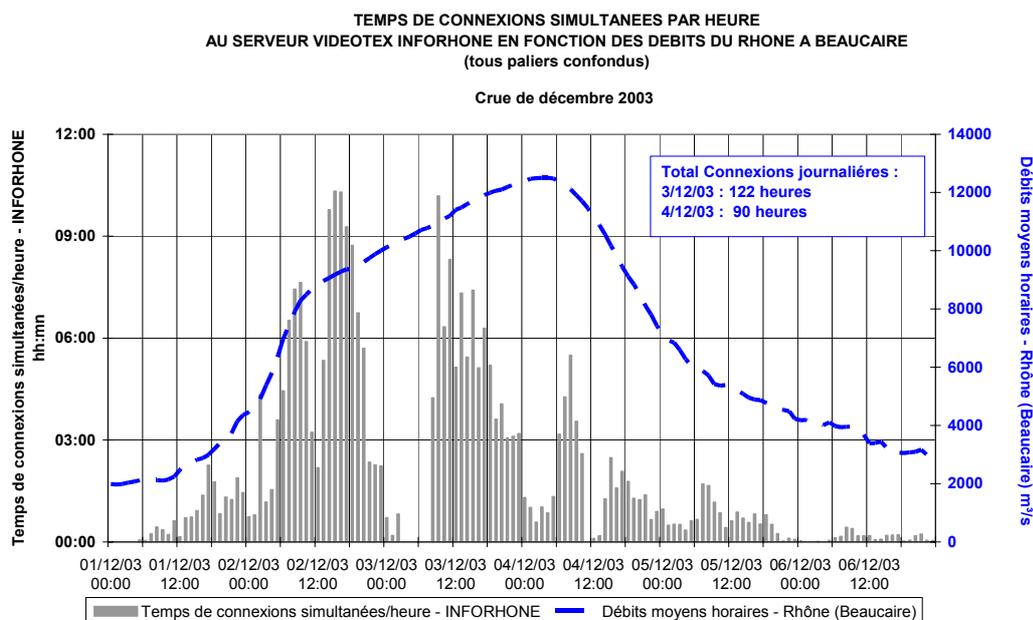


Figure 17 - Temps de connexions simultanées par heure

⁴ 3615 INFORHONE : site payant - tarification : 0.020 € HT à la connexion et 0.351€ HT/mn

**NOMBRE DE CONNEXIONS HORAIRES
AU SERVEUR VIDEOTEX INFORHONE EN FONCTION DES DEBITS DU RHONE A BEUCAIRE
(tous paliers confondus)**

Crue de décembre 2003

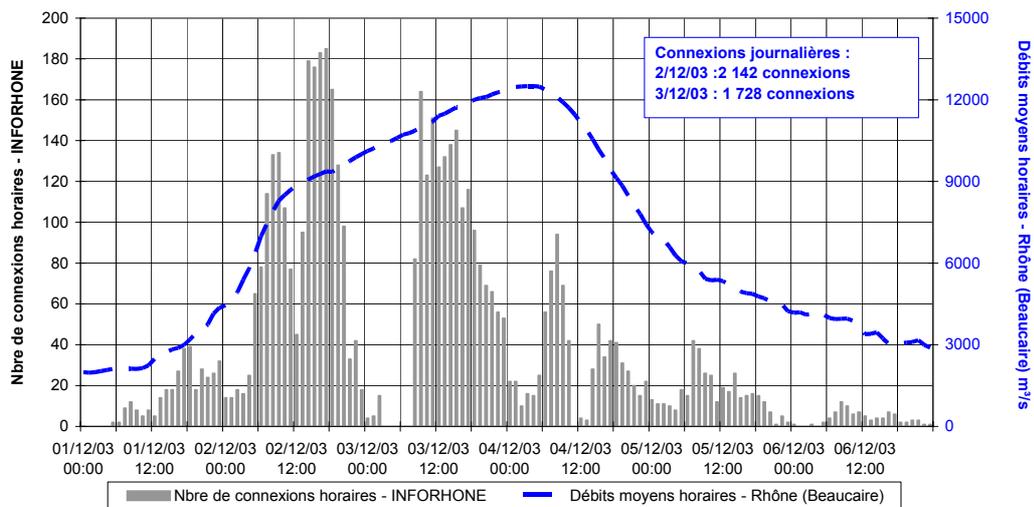


Figure 18 – Nombre de connexions horaires / Débit moyen horaire du Rhône à Beaucaire

**NOMBRE DE CONNEXIONS HORAIRES
AU SERVEUR VIDEOTEX INFORHONE EN FONCTION DES DEBITS DU RHONE A BEUCAIRE
(tous paliers confondus)**

Crue de décembre 2003

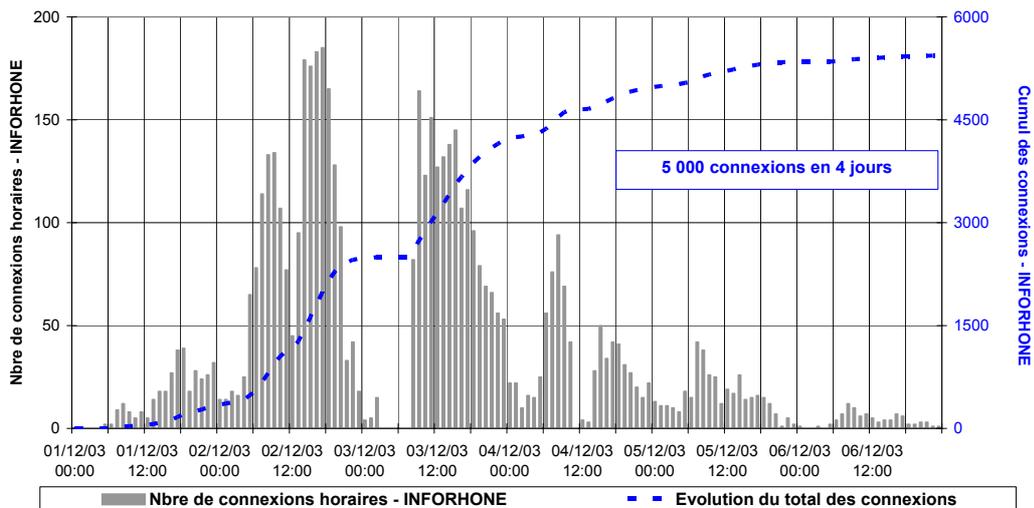
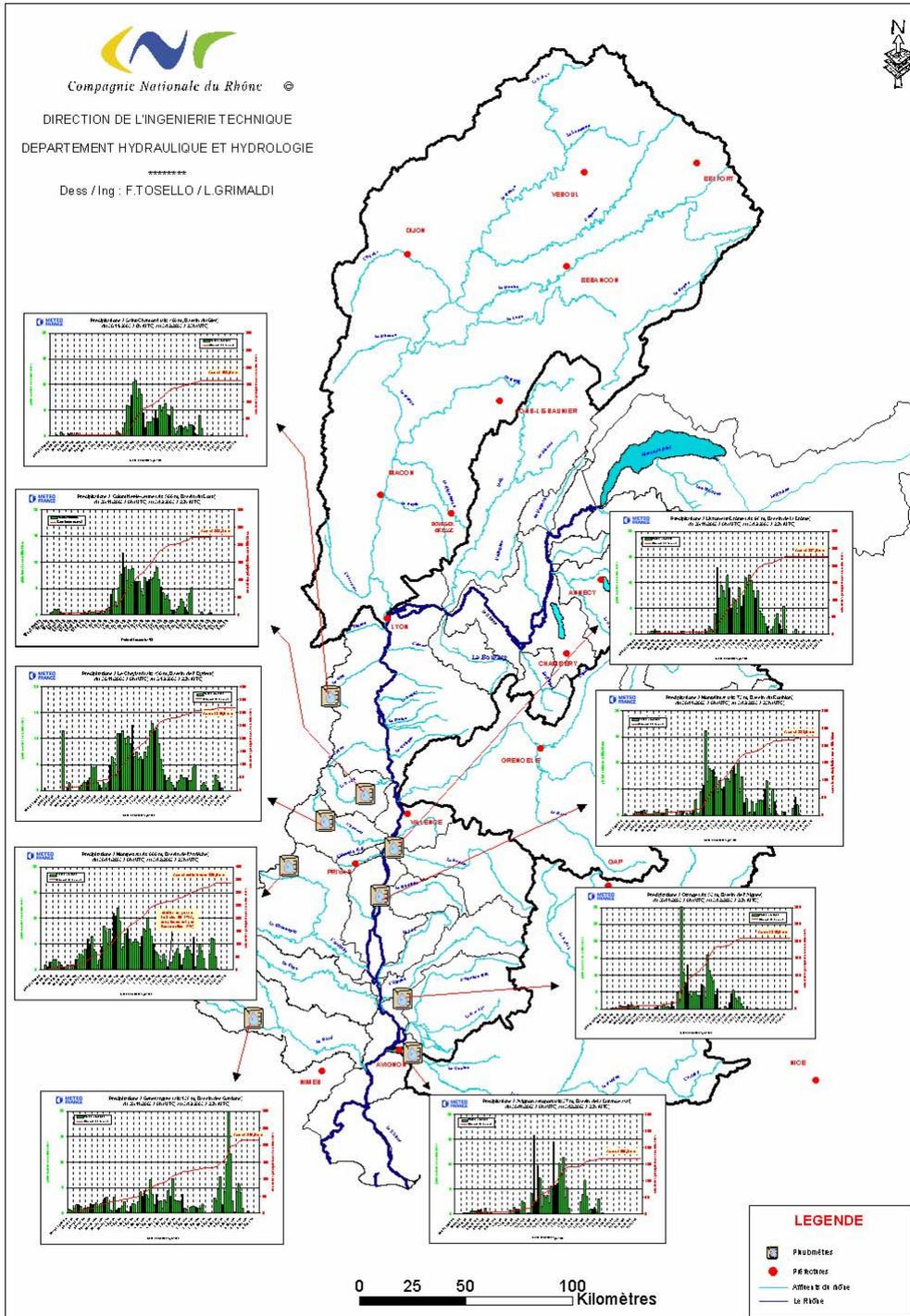


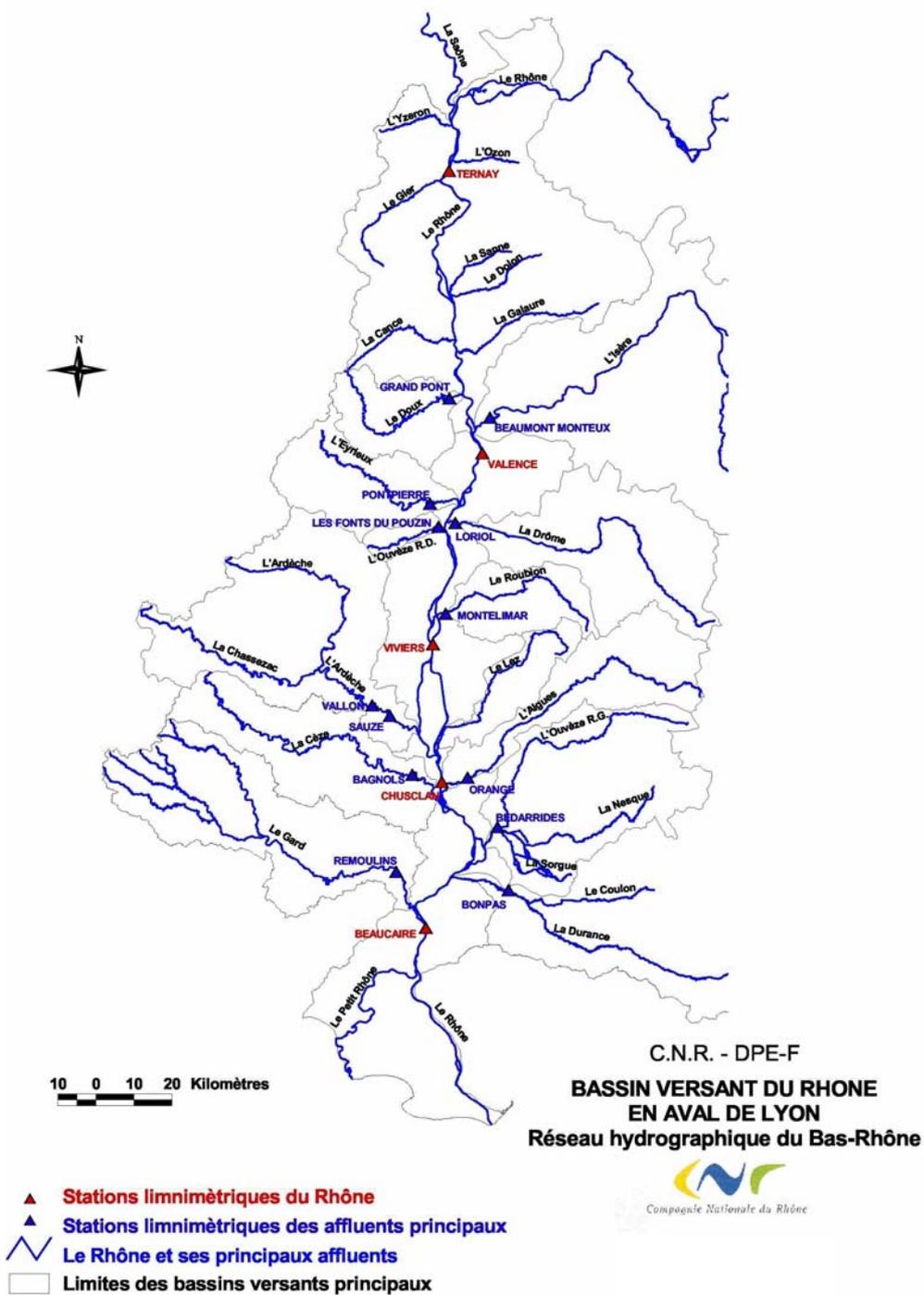
Figure 19 - Nombre de connexions horaires - Cumul des communications INFORHONE

PLAN DE SITUATION DU BASSIN DU RHONE



ANNEXES

Annexe 1. Réseau hydrographique et stations hydrométriques du Rhône et de ses principaux affluents



Annexe 2. Caractéristiques du Bassin versant : surface et pente

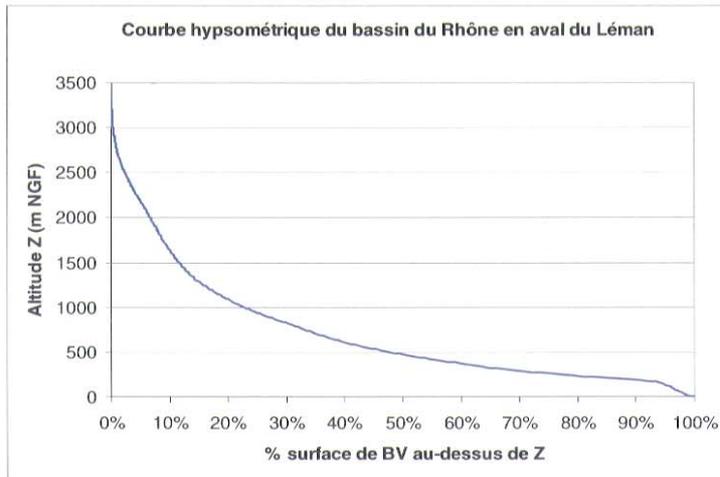


Figure 2 : courbe hypsométrique du bassin versant

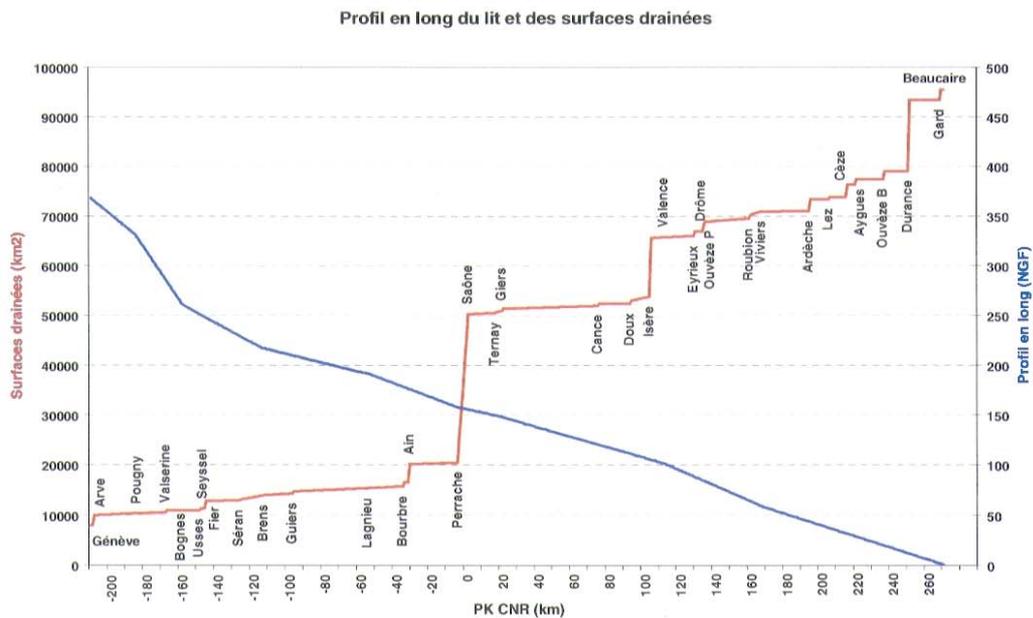


Figure 3 : Profil en long du fond du lit et des surfaces drainées