



Le Rhône en 100 Questions

Ouvrage collectif sous la direction de
Jean-Paul Bravard et Anne Clémens

ZABR

Zone Atelier Bassin du Rhône

Les crues et inondations du Rhône



Comment se font la surveillance et la prévision des crues dans le bassin du Rhône ?

La réforme de l'annonce des crues mise en place en 2006 en application de la loi «Risques» de juillet 2003 et de son décret 2005-28 du 12 janvier 2005, qui est de la responsabilité de l'État, a pour objectif de passer de l'annonce à la prévision des crues. Il s'agit de gagner en capacité d'anticipation pour gérer les crises provoquées par les inondations et de permettre à tous les acteurs (particuliers, collectivités, etc.) d'accéder en temps réel à toute l'information disponible.

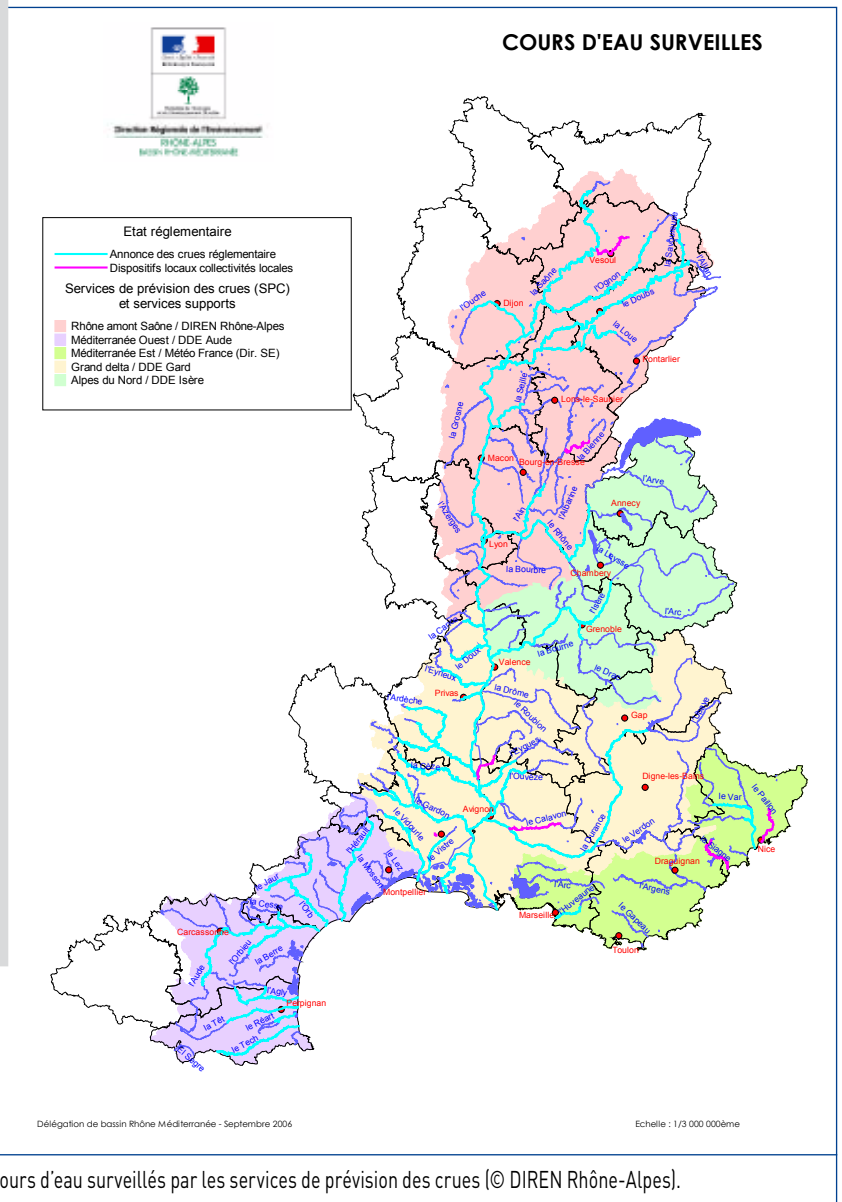
Les services de prévision des crues (SPC), chargés de surveiller, de prévoir et de transmettre l'information sur les crues, ont été créés en respectant une logique hydrologique. Sur le Rhône, la compétence a été répartie principalement entre deux services. Ce découpage est principalement justifié par la typologie des crues (crues méditerranéennes et cévenoles, sans crue amont du Rhône) entre :

- le service de prévision des crues «Rhône amont, Saône» (jusqu'à la limite des départements Loire et Ardèche) ;
- le service de prévision des crues «Grand Delta» sur le Rhône aval et ses affluents.

Les échanges d'information en temps réel entre ces deux services, et également avec le service de prévision des crues «Alpes du Nord» pour les apports de l'Isère, permettent d'avoir une analyse globale des crues du Rhône.

Surveiller

Sur le Rhône et ses affluents, sont installées des stations (une vingtaine sur le Rhône) qui mesurent et transmettent en temps réel la hauteur d'eau.



Cours d'eau surveillés par les services de prévision des crues (© DIREN Rhône-Alpes).

Ces stations sont gérées par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) ou par l'État. Des échelles limnimétriques, installées à proximité de l'appareil de mesure, permettent aux équipes de maintenance de contrôler la mesure et aux riverains d'établir des correspondances entre la hauteur d'eau et les conséquences des inondations.

Des mesures ponctuelles du débit du cours d'eau permettent d'établir une courbe de relation entre les hauteurs et les débits, grandeurs utilisées dans les modèles de prévision.

Prévoir

Les Services de Prévision des Crues (SPC) qui disposent en temps réel, des hauteurs et débits grâce aux stations de mesure implantées tout au long des cours d'eau ainsi que des données de pluies (pluviomètre et radar) et des prévisions de pluies de Météo-France, suivent en permanence les cours d'eau. Ces données alimentent des modèles de prévision (propagation de débit, transformation de la pluie en débit pour l'amont des bassins, modèles hydrauliques...) qui permettent de prévoir des débits et des hauteurs d'eau à des échéances variables suivant la typologie des crues.



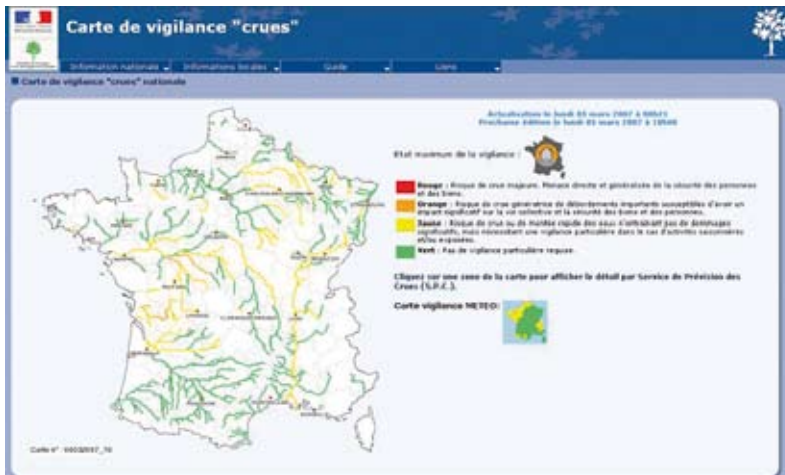
Station de Laguière (© DIREN Rhône-Alpes).

Transmettre l'information

L'information sur les crues, collectée ou élaborée par les SPC, est communiquée en temps réel sur Internet au travers de la carte «Vigilance crues» qui indique le niveau de vigilance (suivant quatre couleurs) sur les tronçons surveillés par l'État, avec en cas de crue des bulletins de suivi réguliers détaillant les prévisions.

Ce site (www.vigicrues.ecologie.gouv.fr) permet également un accès en temps réel aux données hydrométriques (hauteurs et débit).

Cette information est simultanément envoyée aux préfetures, qui alertent les maires concernés, eux-mêmes chargés d'alerter la population.



Exemple de carte de Vigilance «crues» présentée sur www.vigicrues.ecologie.gouv.fr (© MEEDDAT).

Ce qu'il faut retenir

Chaque service de prévisions des crues applique un règlement de surveillance, de prévision et de transmission de l'information sur les crues, qui est disponible sur Internet (sur le site de la DIREN Rhône Alpes, délégation de bassin Rhône-Méditerranée et sur le site de chacun des services de rattachement des SPC), qui décrit le périmètre surveillé par le SPC, ainsi que la nature des prévisions et des informations transmises. Voir le site www.vigicrues.ecologie.gouv.fr

Comment les crues se propagent-elles ?

Sur un tronçon de cours d'eau entre deux affluents, sans apports latéraux, et de géométrie régulière, une crue s'étale et s'amortit de manière progressive vers l'aval : autrement dit, le débit de pointe diminue et le temps de montée augmente régulièrement vers l'aval.

Les paramètres de propagation relativement constants d'une crue à l'autre sont liés aux pentes et aux formes globales des lits mineur et majeur. Les analyses statistiques des hydrogrammes de crues connues et les modèles hydrauliques mettent en évidence ces paramètres.

Les paramètres de propagation

Temps de propagation (ou délai de réaction) : entre deux points où la propagation n'est pas influencée par des apports, ce paramètre est assez facile à cerner. Il reste cependant fonction du débit considéré. Par exemple, entre deux points, le délai d'apparition de la crue n'est pas le même que le temps de passage du maximum de crue. La propagation de la crue ne prend pas ici en compte le raccourcissement du temps de réaction ou de concentration de l'écoulement. Celui-ci reste influencé par l'imperméabilisation du bassin versant, l'encombrement des lits majeurs et les impacts de la chenalisation.

Amortissement : une partie de l'énergie transportée par la crue est dissipée par la rugosité des fonds et des terrains immergés. Ce phénomène se traduit par la déformation classique des hydrogrammes de crue ; la pointe de l'hydrogramme au point aval est inférieure à celle de l'amont et les temps de montée et de descente sont allongés.

Écrêtement : les variations de la géométrie du lit, avec les grandes zones d'expansion des crues, ou au contraire l'occupation des lits peuvent modifier ce comportement. Les eaux, qui se répandent dans les zones d'expansion des crues, sont stockées pendant la phase de montée, puis restituées pendant la phase de décrue. Les volumes écoulés sont conservés mais ils passent au point aval en un temps plus long et avec un débit de pointe plus faible qu'au point en amont. À l'inverse, une diminution du lit majeur (passage du cours d'eau dans un défilé par exemple) peut raidir l'hydrogramme de crue (augmentation du débit de pointe et de la vitesse de propagation, diminution du temps de montée).

Apports : il est évident que la présence d'affluents importants ou d'apports latéraux significatifs contrarie également le comportement ordinaire et peut faire croître substantiellement les débits de pointe vers l'aval.



Arc en crue (© J. Le Coz, Cemagref).

Comment ces phénomènes se mettent-ils en place sur le Rhône ?

À la variété des scénarios climatiques et hydrologiques régissant la formation des crues du Rhône correspondent des conditions de propagation également variées. De plus les affluents sont nombreux et importants. Au total, la dynamique des crues dans le bassin du Rhône ne relève pas d'un simple et unique schéma. En revenant à un découpage par grands tronçons, on peut en présenter les traits principaux.

Sur le Rhône supérieur, en aval du Léman, la propagation de la crue est considérée comme semi-rapide. Les affluents alpins réagissent rapidement aux précipitations et l'augmentation des débits se répercute en

quelques heures dans le Rhône. La crue se forme en une demi-journée après les épisodes de pluie sur le secteur le plus en amont. On notera cependant que la plaine de Chautagne et le lac du Bourget écrêtent jusqu'à 500 m³/s sur un débit de 3000 m³/s du Rhône supérieur.

- Au niveau de la confluence de l'Ain, la crue arrive dans les 24 heures et continue à progresser durant une demi-journée, après avoir été à nouveau écrêtée dans la plaine de Brangues-Le Bouchage, pour des débits supérieurs à 1500 m³/s.
- La crue combinée du Rhône et de l'Ain arrive ensuite à Lyon en moins de 12 heures. Cette relative rapidité de la propagation des crues limite la durée de la phase la plus critique qui ne se prolonge en général pas au-delà de deux jours à Lyon.

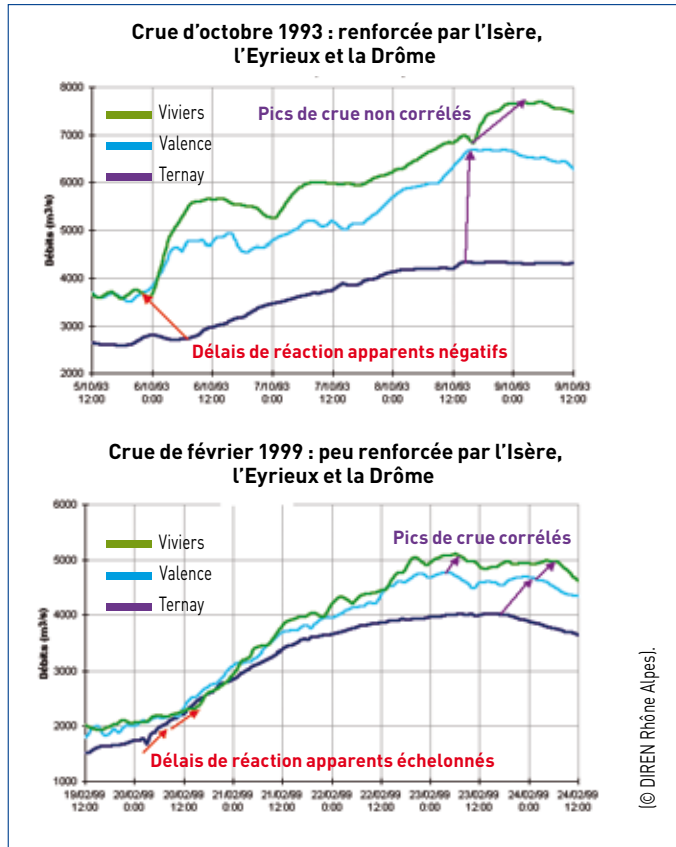
À l'aval de Lyon, la crue semi-rapide du Rhône et la crue très lente et prolongée de la Saône se rassemblent pour se propager avec une double dynamique, souvent plus rapide dans un premier temps, puis plus lente dans un deuxième temps.

Avant d'arriver à Valence, l'Isère et les affluents venant du Massif Central apportent chacun une nouvelle composante à la crue du Rhône en fonction des précipitations qu'ils ont reçues. Le débit de base met environ 12 heures à se propager entre Lyon et Valence, mais il peut être augmenté en quelques heures par celui des affluents de la rive droite et en une demi-journée par celui de l'Isère.

En descendant la vallée, la dynamique de la crue, tributaire des réactions des affluents, se complexifie. On distingue trois principales configurations.

- La première voit les crues formées entre Lyon et Valence s'atténuer vers l'aval quand les bassins des affluents ont été faiblement arrosés.
- La configuration qui produit des crues généralisées correspond à des apports répartis le long du cours. C'est la crue d'octobre 1993 et celle de mai 1856, avec toutefois un phénomène plus complexe comprenant plusieurs ondes de crue.
- La dernière configuration correspond à une production prépondérante des affluents du cours aval. Elle peut s'observer à partir de débits faibles du Rhône à Lyon, la crue se formant essentiellement dans le cours aval (scénario des crues de 2002 et 2003). Les crues des affluents sont souvent décalées dans le temps mais elles contribuent à augmenter les débits propagés.

Sur le cours du Rhône aval, en dehors des crues qui se propagent sans renforcement depuis Lyon-Valence en pratiquement deux jours, les réactions se manifestent dans le Rhône en une douzaine d'heures après les épisodes de pluie.



(© DIREN Rhône-Alpes).

Ce qu'il faut retenir

Globalement pour l'ensemble du bassin, la formation des crues du Rhône s'opère dans des délais inférieurs à la journée.

Les événements de crue importants qui peuvent se dérouler sur plus d'une semaine sont quant à eux plutôt des épisodes à plusieurs temps de crue.

La connaissance de la propagation des crues du Rhône est une des préoccupations majeures des services de prévision des crues pour évaluer l'évolution probable des niveaux et des débits.

Les crues sont-elles plus fortes depuis quelques années ?

Quelles sont les valeurs caractéristiques d'une crue ?

La première valeur, qui est la **hauteur** atteinte par les inondations, se mesure tout le long du Rhône et en particulier à certains points historiques. Elle sert à comparer de manière très directe les crues observées et à établir des statistiques. Mais cette valeur est influencée par les conditions d'écoulement au moment des crues : les ouvrages comme les ponts, les rétrécissements du lit peuvent faire obstacle aux écoulements et augmenter les hauteurs de submersion. Les dépôts d'alluvions exhausent le lit mineur et également, sur de longues périodes, le lit majeur. Les niveaux atteints par les crues ne peuvent donc pas servir à comparer strictement les crues et leur éventuelle tendance évolutive.

La valeur indépendante des conditions d'écoulement utilisée par les hydrologues et les hydrauliciens est plutôt le **débit**, exprimé en m³/s. C'est une valeur complexe à mesurer puisqu'il faut opérer pendant la crue en mesurant la vitesse du courant sur toute la largeur et la profondeur des cours d'eau dans une section pour calculer ensuite le débit à cet endroit. Cette opération demande des appareils de mesure précis et rapides. Pour les crues plus anciennes, le débit a souvent dû être reconstitué.

Que nous apprennent les crues historiques ?

Ceci posé, si on s'intéresse aux crues du Rhône connues depuis le milieu du XIX^e siècle, on relève un échantillon de crues importantes dont les débits ont pu être évalués aux principales stations d'observation et de mesure suivantes.

La hiérarchie des crues peut changer suivant que l'on raisonne sur les cotes ou sur les débits.

On connaît au moins deux crues très importantes qui ont touché le Rhône sur l'ensemble de son cours : celle

PLUS FORTES CRUES ANNUELLES DU HAUT RHÔNE (M³/S)

Source DIREN Rhône-Alpes

Rang	POUGNY 1925-2006		BOGNES 1853-2006		LAGNIEU 1891-2006		PERRACHE 1900-2006	
1	24/11/1944	1 520	20/01/1910	2 000	16/02/1990	2 445	25/11/1944	4 250
2	15/11/2002	1 440	23/12/1918	1 920	27/11/1944	2 400	16/02/1928	4 150
3	13/01/2004	1 300	03/10/1888	1 900	25/12/1918	2 100	25/12/1918	3 900
4	14/05/1999	1 300	30/05/1856	1 800	22/01/1910	2 090	26/02/1957	3 700
5	22/09/1968	1 280	25/09/1863	1 800	16/02/1928	2 025	21/01/1910	3 550

PLUS FORTES CRUES ANNUELLES DU BAS RHÔNE (M³/S)

Source DIREN Rhône-Alpes

Rang	TERNAY 1895-2006		VALENCE 1855-2006		VIVIERS 1910-2006		BEUCAIRE 1840-2006	
1	26/02/1957	5 320	31/05/1856	8 300	03/12/2003	8 000	31/05/1856	12 000 12 500
2	16/02/1928	5 120	01/11/1896	7 400	09/10/1993	7 715	03/12/2003	11 500
3	20/01/1955	5 075	08/10/1993	6 700	07/01/1994	7 590	08/01/1994	11 000
4	26/11/1944	4 850	16/11/2002	6 620	17/11/2002	7 580	11/11/1886	10 200
5	02/11/1896	4 830	11/11/1886	6 620	21/11/1951	6 660	10/10/1993	9 800

de mai 1856 à comparer à celle de 1840 décrite comme une crue d'importance comparable sur le Rhône en aval de Lyon. Ensuite, certaines crues ont principalement touché un secteur plus réduit : celle de 1957 à l'aval de Lyon, celles de 1910, 1928, 1944 et 1990 en amont de Lyon. Puis celles de 1994, 2002 et 2003 sur le Rhône aval et en Camargue.

Un zoom sur la crue de 1993, qui est la dernière crue généralisée sur le Rhône aval, permet de comprendre que l'importance de la crue tient autant à l'étendue des inondations qu'à son débit : les ruptures de digues en Camargue ont provoqué la propagation de l'inondation sur un grand territoire.

Que peut-on en déduire ?

La relative rareté des crues importantes depuis un siècle et demi permet difficilement d'évaluer l'évolution de l'importance des crues : les records du XIX^e siècle n'ont pas été dépassés sur le Rhône en aval de Lyon. Les tests statistiques réalisés sur la série de Beaucaire, de 1920 à 2000, ne montrent pas de tendance significative à une aggravation des pointes de crue. Le seul changement détecté correspond à une date plus précoce d'occurrence des crues de la saison janvier-juillet, qui est à relier à l'augmentation des températures.

À l'échelle de la France, une recherche conduite sur deux cents longues séries hydrométriques note comme seul changement cohérent à l'échelle de la France une légère augmentation du débit des rivières glaciaires et une diminution de certains débits d'étiage liées au changement des températures.



Repère de crues historiques du Rhône à Sablons (38).
(© DIREN Rhône-Alpes)

Ce qu'il faut retenir

Les conditions d'écoulement, modifiées depuis le XIX^e siècle du fait des aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) sur le Rhône et d'Électricité de France (EDF) sur les affluents de montagne, et les travaux d'endiguement ont eu des effets peu significatifs sur les crues importantes.

Les études plus générales sur les évolutions des régimes des grands cours d'eau ne montrent rien de significatif pour l'intensité des crues.

Ces résultats ne prouvent évidemment pas l'absence d'impact du changement climatique, maintenant bien avéré sur les températures, mais démontrent la difficulté de distinguer cette influence d'autres sources de changement possibles.

Comment les affluents du Rhône influencent-ils les crues ?

Les affluents du Rhône, qui ont des régimes hydrologiques très contrastés, contribuent à la formation des crues du Rhône. L'analyse des crues nécessite des investigations poussées sur chacun d'entre eux, prenant en compte l'incidence potentielle des barrages et retenues quand ils existent.

Quelle est la contribution des affluents à la formation des crues du Rhône ?

Les principaux affluents contribuant à la formation des crues du Rhône sont de l'amont vers l'aval : l'Arve, le Fier, l'Ain, la Saône, l'Isère, l'Eyrieux, la Drome, l'Ardèche, la Cèze, la Durance et le Gard. Ils se caractérisent par des régimes de crues différents (océaniques au nord, cévenols et méditerranéens au sud) mais, combinés entre eux, ils peuvent produire des crues très importantes sur le fleuve. La figure suivante indique leur importance relative. Les grandes crues du Rhône trouvent leur origine dans la puissance de l'Ain, de la Saône, de l'Isère, de l'Ardèche, de la Durance et du Gard, capables d'engendrer à eux seuls une crue du fleuve, et aussi dans l'addition des débits soutenus des autres affluents.

Quelles incidences ont les ouvrages hydroélectriques des affluents ?

Certains affluents sont équipés d'ouvrages hydroélectriques ou à buts multiples comportant des réservoirs de capacité significative (supérieurs à 100 millions de m³), parmi lesquels : Vouglans sur l'Ain, Tignes et Monteynard. Sur le bassin de l'Isère Serre-Ponçon, et Sainte-Croix sur la Durance.

La gestion en régime de crue est conduite de manière à maintenir en sécurité les ouvrages et à ne pas aggraver les incidences de la crue en amont et en aval des réservoirs. Le débit sortant doit toujours rester au plus égal au débit entrant. Suivant le niveau de remplissage de la retenue, lors de la survenue de l'événement, une rétention des débits plus ou moins importante est opérée jusqu'à la pleine capacité.

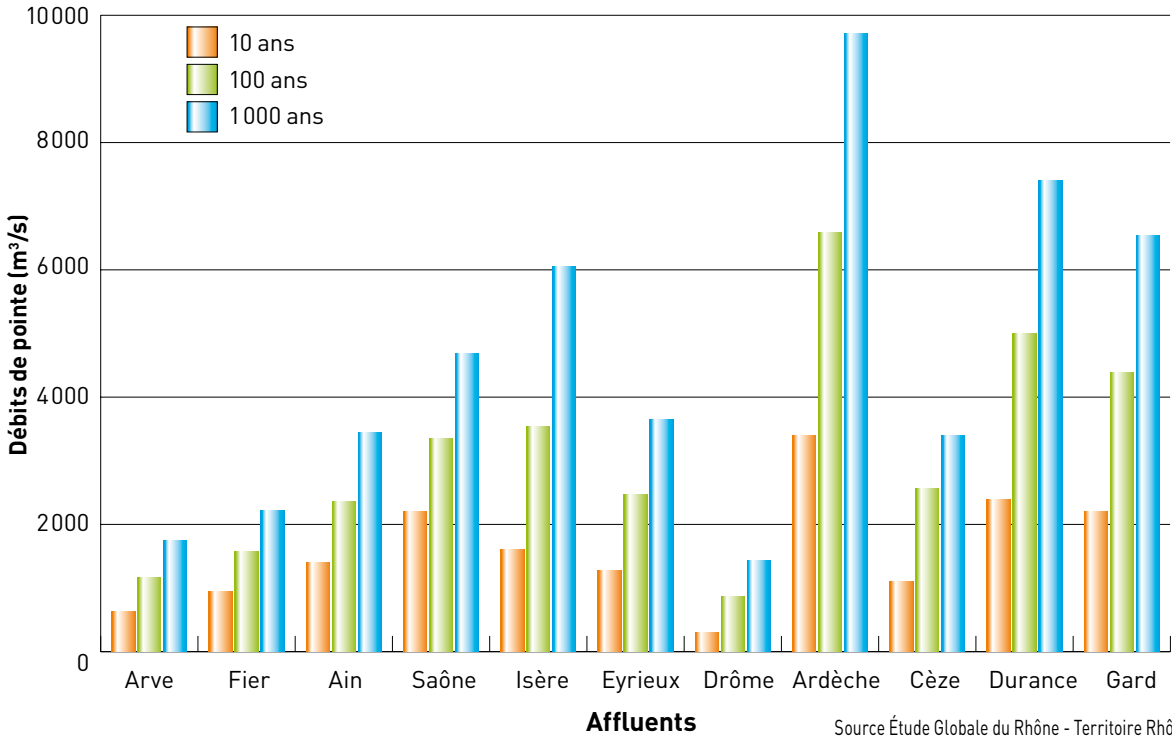
Si la crue se poursuit, l'ouvrage restitue en aval les débits entrants en opérant une légère rétention par le phénomène de laminage. L'incidence de l'ouvrage est donc directement dépendante des paramètres suivants :

- la part du bassin versant interceptée (par cet ouvrage), qui est au maximum de l'ordre de 30% de la totalité des bassins de l'Ain et de la Durance (pour l'ensemble du Rhône, elle se situe à moins de 10%) ;



La Drôme en crue – Ausson (© SMRD)

Débits de pointe des affluents pour les crues de période de retour 10, 100 et 1000 ans



- la capacité de stockage, qui varie en fonction des usages, de la saison et de l'hydrologie durant la période précédant l'événement. Les activités touristiques, la constitution de réserves pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la production d'électricité de pointe nécessitent à certaines périodes le maintien à des niveaux assez hauts qui limitent directement la capacité de rétention ;
- l'importance de la crue, qui peut très rapidement mobiliser des volumes disproportionnés par rapport aux capacités effectives de rétention. Dans la plupart des cas, on peut relever une incidence significative en crue décennale, plus limitée en crue centennale et quasi nulle en crue millénaire.

Suivant la configuration de l'ouvrage lors de l'événement et l'importance de ce dernier, une incidence locale peut être constatée sur les affluents. Elle reste marginale pour ce qui concerne le Rhône, surtout dans le cas de crues de retour supérieur au siècle.

Existe-t-il des marges de manœuvre ?

En ce qui concerne les ouvrages, les marges de manœuvre sont très faibles car les réponses offertes sont insuffisantes en terme de capacité par rapport aux volumes de crue en jeu et les besoins pour les usages existants sont inconciliables avec l'introduction d'une capacité permanente de stockage.

Les enjeux importants sur les affluents se situent dans la protection et la reconstitution des zones humides, des zones d'expansion des crues, de l'espace de mobilité des cours d'eau, la gestion de la couverture des sols avec une limitation de l'imperméabilisation et du ruissellement.

Ce travail au plus près du terrain peut apporter, par ses effets cumulés, des impacts significatifs sur les débits de crues observés sur les affluents et par conséquent sur le Rhône.

Ce qu'il faut retenir

La formation des grandes crues du Rhône trouve son origine dans la puissance de ses affluents, notamment l'Ain, la Saône, l'Isère, l'Ardèche, la Durance, le Gard, capables d'engendrer à eux seuls une crue sur le fleuve et dans l'addition des débits soutenus des autres affluents.

Suivant la configuration des ouvrages, une incidence locale peut être constatée sur les affluents. Elle reste marginale pour ce qui concerne le Rhône, surtout dans le cas de crues de retour supérieur au siècle.

Les aménagements du fleuve ont-ils un effet sur les inondations ?

Dans sa conception l'aménagement hydroélectrique a veillé à conserver les grandes zones naturelles d'expansion des crues telles que le lac du Bourget, les marais de Chautagne et de Lavours, la plaine de Brangues-le-Bouchage sur le Haut Rhône, ou la plaine de Pierrelatte sur le Bas Rhône.

Les digues construites par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) sont destinées à contenir les eaux du Rhône, le niveau de celui-ci ayant été rehaussé à l'amont de l'usine hydroélectrique pour constituer la chute.

En conséquence, et non par objectif, l'aménagement a soustrait à l'inondation des terres qui se trouvent derrière les digues insubmersibles. Les communes concernées sont désormais souvent protégées jusqu'à la crue millénaire.

Quelles sont les terres submersibles derrière des digues CNR ?

On distingue trois modes de submersion des terres derrière les digues CNR.

■ **Par des déversoirs** (notés 3 sur le graphique – cf. également question 03-04 « Quel est le principe de conception des aménagements CNR ? »).

Quand cette protection était susceptible d'avoir un impact significatif sur l'aval ou sur la rive opposée, des déversoirs ont été aménagés dans les digues pour maintenir l'inondabilité du site. Il en est ainsi de la rive gauche entre Tain-l'Hermitage et La Roche-de-Glun (déversoirs de la Mule Blanche et de Chabalet), du sud-ouest de l'agglomération de Valence (déversoir de Mauboule), de l'île de Blaud (déversoir de Blaud), de la plaine de Viviers, de la plaine de Caderousse (déversoir de Caderousse).



(© Photothèque CNR)

Dans tous les cas, le calage du déversoir (son niveau) est tel que la situation des zones d'expansion de crues situées derrière a été améliorée.

■ Par refoulement (noté 2 sur le graphique)

Bien que situés derrière des digues insubmersibles, certains terrains restent inondables par ruissellement ou par les crues des affluents du fleuve. Ils peuvent aussi l'être par refoulement des crues du Rhône qui remontent par les affluents ou les contre-canaux.

Dans ce cas, ils bénéficient d'une amélioration de leurs conditions d'inondation car ces terrains sont maintenant en contact avec le Rhône depuis un point plus en aval, donc à un niveau plus bas.



Crue de novembre 2002. La plaine de Codolet protégée des inondations directes par la digue de rive droite de la retenue de Caderousse est inondée par la Cèze ou par refoulement de la crue du Rhône (© Photothèque CNR).

■ Les Vieux-Rhône (noté 1 sur le graphique)

Ce sont les tronçons dont les modes d'inondation n'ont pas été modifiés qualitativement par l'aménagement hydroélectrique. Pour nombre d'entre eux, ils bénéficient de l'effet du canal de dérivation qu'emprunte une partie du débit. Ce qui réduit d'autant pour le Vieux-Rhône le débit de la crue. Les terres riveraines sont donc inondées plus tardivement qu'avant l'aménagement.

Il faut toutefois considérer que le canal a parfois été implanté dans l'ancien lit majeur où s'écoulait naturellement une partie de la crue. C'est le surplus de dérivation par rapport à ce débit qui constitue l'amélioration réelle. D'autre part l'évolution morphologique du lit enclenchée par la chenalisation du XIX^e siècle (voir question 03-02 « Que reste-t-il des aménagements du XIX^e siècle ? »), tend à rogner cet avantage dans le temps.

À l'aval des aménagements

La conception des ouvrages a cherché l'avantage des communes riveraines, dans la limite de la neutralité des effets pour l'aval. Mais on peut s'interroger sur le respect de cette neutralité à l'aval de l'ensemble des aménagements. Les débits en crue à Beaucaire par exemple ont-ils évolué avec le temps ? À cette question les hydrologues répondent par la négative : les séries de débits avant et après aménagement sont homogènes. Autrement dit, on ne mesure pas d'impact en termes de débits liés à l'aménagement du XX^e siècle. D'autres éléments ont été apportés par la conférence de consensus en août 2005, qui a examiné la distribution statistique des débits depuis 1920 : elle constate que les tests statistiques n'ont pas infirmé le caractère aléatoire des séquences de crues.

Ce qu'il faut retenir

L'aménagement hydroélectrique du Rhône a veillé à conserver les grandes zones naturelles d'expansion des crues. Digos et réservoirs ont créé de nouveaux modes de submersion des terres. Dans la pratique les espaces inondables de la vallée du Rhône ont généralement vu leur situation améliorée. Les aménagements n'ont pas eu d'impact significatif sur la valeur et la distribution des débits à l'aval des aménagements.

À débit égal les niveaux des crues du Rhône sont-ils plus hauts qu'autrefois ?

Les valeurs de niveaux et de débits qui caractérisent le régime d'un cours d'eau au droit des stations d'hydrométrie sont en corrélation à un moment donné, mais elles peuvent évoluer de manière indépendante en fonction des conditions d'écoulement.

Comment sont pratiquées les mesures sur les cours d'eau ?

Pour établir les chroniques de hauteurs et de débits aux stations de référence, les hydrométriciens exploitent les stations qui enregistrent en continu les mesures directes de hauteurs. Mais les débits doivent être calculés à partir de mesures ponctuelles de vitesses et de sections d'écoulement (jaugeages).

De nouvelles technologies capables de mesurer les débits en continu sont maintenant disponibles ; coûteuses, leur installation n'est pas encore généralisée. Les jaugeages restent des opérations complexes en période de crue, qui ne permettent pas d'exprimer des résultats avec une précision inférieure à 5%.

L'objectif de l'hydrométrie est d'établir une courbe de tarage pour chaque station d'observation, c'est-à-dire une relation qui donne pour chaque hauteur observée le débit correspondant. Cette relation est en général extrapolée, à l'aide d'outils mathématiques, aux plus forts débits et cotes jamais observés. Les notions de base de l'hydraulique permettent de comprendre pourquoi cette courbe de tarage n'est pas toujours une relation stable. En prenant le cas d'un canal rigoureusement régulier, la hauteur d'eau pour un débit donné est proportionnelle à la débitance (qui, pour le lit mineur, correspond au débit maximum qui peut transiter sans débordement) et à la pente du fond du canal. Dans un lit moins régulier, les frottements sur les parois, les obstacles et les changements de section

du lit interagissent pour modifier la débitance. Ces freins à l'écoulement provoquent une élévation de la cote d'eau ou, inversement, un abaissement en cas d'incision et d'enfoncement du lit.

Chaque évolution de niveau dans une section d'écoulement modifie ce qui constitue la condition aval pour les écoulements dans la section juste en amont.

Ce phénomène correspond pour les hydrauliciens à un remou.

De cette notion on déduit aisément que les modifications du lit d'une rivière peuvent influencer sur les niveaux atteints pour un débit de crue donné et sur la courbe de tarage.

Quelle est l'évolution du Rhône ?

Sur le linéaire du Rhône, en dehors des stations de mesure, on évalue les niveaux en relevant les lignes d'eau ou laisses de crue. On peut les calculer aussi à l'aide de modèles hydrauliques.

Les causes naturelles de modification des niveaux de crue ou des courbes de tarage sont liées aux phénomènes d'érosion des berges ou de mobilité du lit, aux effets du transport solide créant des zones de comblement ou d'incision. À plus long terme, le développement de la végétation et les dépôts alluvionnaires successifs influent également sur les conditions d'écoulement. Mais ces facteurs peuvent aussi se mettre en œuvre rapidement sous l'action de débits importants pendant une crue.

Les causes anthropiques correspondent aux ouvrages (ponts, digues...) édifiés dans le lit majeur, aux zones remblayées et soustraites aux zones d'expansion des crues. Des causes accidentelles peuvent également survenir comme la formation d'embâcles. Mais les actions humaines peuvent aussi avoir pour objectif d'améliorer les conditions d'écoulement, comme par exemple les mesures compensatoires aux impacts d'un équipement nouveau. Dans la vallée du Rhône, l'activité humaine, particulièrement concentrée, a de tout temps eu des répercussions sur la capacité du lit majeur du fleuve. Les facteurs anthropiques potentiellement défavorables ont parfois été partiellement compensés par des facteurs plus favorables comme la chenalisation du lit et la mise au gabarit nécessaire à la navigation. Dans ce domaine, les épis Girardon ont eu un effet



Configuration de la vallée du Rhône à la fin du XIX^e siècle.
Source SNRS carte crue 1856 établie en 1911



La vallée du Rhône aujourd'hui.
(© IGN - Paris 2008. Reproduction interdite - Autorisation n° 50-8610)

indéniable, sur le long terme, quand ils se sont comblés. Le transport solide peut encore intervenir, même s'il est limité par la diminution des apports provenant des affluents eux-mêmes aménagés.

Que nous apprennent les relevés ?

La comparaison des niveaux et des lignes d'eau relevés entre le XIX^e siècle et aujourd'hui ne montre pas une évolution notable sur l'ensemble du Rhône, sauf pour certains secteurs précis : les niveaux de la crue de 1856 resteraient comparables à ceux atteints pour des débits équivalents aujourd'hui, à l'exception de secteurs qui avaient subi avant les aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) un fort exhaussement du lit du Rhône, notamment les plaines de Donzère-Pierrelatte, Printegarde et Codolet.

Il a par exemple été constaté qu'en une centaine d'années (1856 à 1952) le lit du fleuve s'est exhaussé de manière continue de près d'un mètre dans le secteur de Pierrelatte. Quelques secteurs du Rhône sont encore dans une phase d'évolution. Ces secteurs associent le plus souvent des zones d'incision et des zones de dépôt qui exhausssent régulièrement les fonds du lit mineur. Il s'agit d'un phénomène complexe lié à la capacité de transport du Rhône et à la taille des sédiments. On l'observe dans la section en méandres du bief de Brégnier-Cordon, et dans le secteur de Miribel-Jonage sur le Haut Rhône. La plaine de Donzère-Pierrelatte a maintenant tendance à s'inciser. Enfin, la zone deltaïque de la Camargue est aussi en évolution, principalement sur le Petit-Rhône où les faibles pentes favorisent ponctuellement les dépôts.

Les crues importantes du Rhône aval de ces dernières années ont permis de faire des comparaisons : des niveaux un peu plus élevés que ceux de la crue de 1856 sur quelques secteurs ont été relevés pendant la crue de décembre 2003. Mais ces points restent à éclaircir par l'analyse des effets de la dynamique de la crue, des apports des affluents et aussi par rapport à l'évolution de la vallée du Rhône depuis 1856 : encombrement des plaines, évolution des pratiques agricoles, urbanisation...

Ce qu'il faut retenir

La relation entre les niveaux de crue et les débits est variable, au moins encore localement.

Il convient de rester modeste et de ne pas attendre des niveaux de précision élevés sur ce sujet fortement soumis aux limites des moyens de mesure et aux variabilités des conditions d'écoulement.

Il faut admettre que le Rhône n'est pas entièrement domestiqué et que malgré des périodes d'accalmie, il garde sa dynamique et peut se manifester violemment au moment des crues importantes.

Qu'est-ce qu'une ZEC ? Qu'est-ce qu'une « sur-inondation » ?

La **zone inondable d'un cours d'eau** est l'enveloppe maximale inondable par ce cours d'eau, c'est la vallée ou le lit majeur.

L'inondation de certaines ZEC pour les crues moyennes n'est pas « utile » : au contraire, les volumes d'écrêtement disponibles sont utilisés trop tôt, et sont « gaspillés » avant l'arrivée de la pointe des crues majeures.

Si on relève le seuil de débordement de certaines ZEC, elles pourront accueillir plus d'eau lors des crues très fortes et joueront ainsi mieux leur rôle d'écrêtement pour protéger les secteurs sensibles, alors même que les débits très importants ne seraient plus contenus à l'aval.

Une **zone d'expansion des crues** (ZEC), aussi appelée champ d'expansion des crues, est une zone inondable subissant des inondations naturelles. Ce terme est utilisé pour désigner « des secteurs non ou peu urbanisés et peu aménagés, et où la crue peut stocker un volume d'eau important, comme les zones naturelles, les terres agricoles, les espaces verts urbains et périurbains, les terrains de sports, les parcs de stationnement... » (circulaires du 24 janvier 1994 et du 24 avril 1996).

On donne aussi à l'utilisation de ce terme un rôle plus complet ou complexe qui est de jouer sur l'écrêtement des crues.

Qu'est-ce que l'écrêtement des crues ?

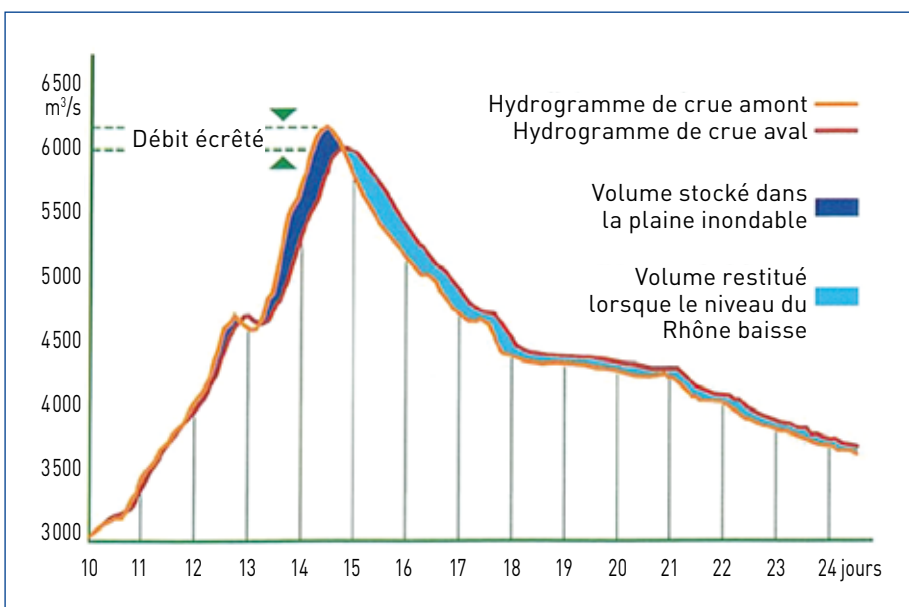
Les ZEC présentent un intérêt pour le stockage des eaux de crues et l'étalement du pic de crue.

Cette fonction hydraulique majeure d'écrêtement des crues (par laminage du débit) permet d'atténuer les inondations à l'aval en retardant et en diminuant le volume des eaux à l'aval, grâce à ce stockage temporaire naturel.

Les ZEC ont donc une fonction essentielle dans la dynamique fluviale :
– sur les débits : l'écoulement en lit majeur permet le transit d'un débit supérieur à celui que peut laisser passer le lit mineur seul (le débit de pointe se définit comme le débit maximal instantané, faisant référence à une période de retour donnée).

Parce que l'eau « déborde » dans la ZEC, le débit à l'aval du point de débordement est ainsi réduit transitoirement, et donc la pente de la ligne d'eau aussi. Les niveaux sont donc plus bas au droit de ce point, ainsi que vers l'amont par effet de remous.

– sur le volume : elles emmagasinent provisoirement des volumes d'eau qui peuvent être considérables.



Exemple d'écrêtement dans la plaine du Tricastin pour une crue moyenne (Étude Globale du Rhône – © Territoire Rhône).

Ce stockage partiel lamine la crue en réduisant le débit maximal à évacuer. La dynamique de leur remplissage et de leur vidange participe aux caractéristiques des crues et des inondations à l'aval.

Cette atténuation est d'autant plus importante que la capacité de rétention des zones inondables est grande. Celle-ci est donc fonction de leur superficie et de leur capacité à retenir l'eau.

Quelles sont les ZEC majeures le long du Rhône ?

L'étude globale pour une réduction des risques dus aux crues du Rhône (édité en 2002) a inventorié treize ZEC majeures et a évalué l'importance de leur rôle dans l'écrêtement des crues du Rhône.

- Certaines de ces grandes plaines inondables ont vu leurs conditions de mise en eau modifiées depuis la réalisation des aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Leur submersion est maintenant contrôlée par des ouvrages (seuils, siphons, digues submersibles). On peut citer le marais de Lavours relié au Rhône par le siphon du Séran, les plaines de Brangues-Le Bouchage et Saint-Benoît, submersibles par des ouvrages vannés puis par surverse au-dessus des digues, les plaines de Vallabrègues et Caderousse inondables par des déversoirs et les plaines d'Aramon-Montfrin et Codolet inondables par remous aval du Rhône dans le Gard et la Cèze.
- D'autres plaines sont inondables par débordement naturel dans le lit majeur et surverse au-dessus de digues syndicales. C'est le cas des plaines de Chautagne, de Miribel-Jonage, de Sablons, de Montélimar, de Donzère-Mondragon, de l'île de la Barthelasse.

ÉCRÊTEMENT EN M³/S ET EN % DU DÉBIT DE POINTE CALCULÉ EN AMONT DES PRINCIPALES PLAINES INONDABLES

Plaine inondable	Crue moyenne		Crue forte		Crue très forte	
	Écrêtement net (m ³ /s)	% du débit de pointe	Écrêtement net (m ³ /s)	% du débit de pointe	Écrêtement net (m ³ /s)	% du débit de pointe
Chautagne - lac du Bourget	110	7	570	7	885	35
Lavours - Plaine de Yenne	70	5	150	7	255	10
Plaine de Bangues - St Benoît	150	9	175	8	485	19
Île de Miribel-Jonage	60	1,5	70	1,6	320	6
Total Haut Rhône	400	13	1000	23	2000	40
Plaine de Livron (Printegarde)	25	0,5	20	0,3	30	0,3
Plaine du Tricastin	210	3,5	200	2,6	960	9,5
Plaine de Caderousse/Codolet	0	0	90	1	70	0,5
Plaine de Rocquemaure - Îles de l'Oiselet et de la Barthelasse	80	1	65	0,5	120	0,8
Plaines d'Aramon/Montfrin et Vallabrègues Boulbon	20	0,2	160	1,3	160	1,1
Total Bas Rhône	350	4	550	5	1400	10
TOTAL Haut et Bas Rhône	750	9	1550	13	3400	23

Source Étude Globale du Rhône - Territoire Rhône

Comment préserver les ZEC ?

Consécutive à l'urbanisation et parfois aggravée par l'édification de digues ou de remblais, la diminution des zones d'expansion des crues a pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau.

Pour préserver voire optimiser ce potentiel d'écrêtement, il est essentiel de maîtriser parfaitement les modes d'utilisation et d'occupation des sols de ces zones, avec toujours comme objectif prioritaire une solidarité amont-aval dans le rôle et la gestion des espaces préservés.

Pour le présent, des outils réglementaires existent : nomenclature «loi sur l'eau» pour les remblais en



ZEC du marais de Lavours (Haut Rhône), crue de février 1990 (© Photothèque CNR)

zone inondable, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), plans de prévention des risques d'inondations (PPRi). Sur le Rhône et ses affluents à crue lente, ces derniers sont encadrés par une doctrine commune pour l'élaboration des PPRi.

Le Plan Rhône en fait également une orientation fondamentale et prioritaire pour l'ensemble du bassin : « préserver les zones d'expansion des crues et optimiser leur gestion ; en reconquérir certaines ».

Peut-on optimiser la gestion des ZEC ?

L'étude d'optimisation de la gestion des ZEC lancée en 2006 s'appuie sur le fait que les différentes ZEC bénéficient de niveaux de protection très disparates, sans rapport avec les enjeux qui s'y trouvent.

La démarche s'attache donc, pour chaque ZEC majeure du tronçon de Viviers à Beaucaire, à évaluer les conditions de mobilisation optimales en fonction des enjeux locaux et des gains possibles pour l'écrêtement des crues les plus dommageables, en testant l'impact et l'efficacité cumulés de ces modifications.

L'objectif de ce pari technique est double : réduire l'inondabilité des ZEC (moins souvent, moins longtemps), tout en protégeant mieux les zones sensibles à forts enjeux lors des crues les plus fortes et donc les plus dommageables.



(© Grand Parc de Miribel Jonage/F. Guy - 1998)

Comment ?

- en modifiant les mécanismes d'entrée (par exemple : création de déversoirs ou relèvement de certains seuils de débordement), de stockage et de sortie des eaux ;
- en jouant sur le moment du stockage (si possible pendant la pointe de la crue) ;
- en minimisant les impacts négatifs éventuels.

Le fait de relever les seuils de débordement peut cependant conduire à aggraver pour l'aval les crues intermédiaires, qui ne seront plus débordantes à l'amont. Ainsi, chaque hypothèse d'aménagement est examinée dans une vision globale et cohérente, et des impacts locaux négatifs sont éventuellement acceptés si le bilan d'ensemble paraît suffisamment positif.

Qu'est-ce qu'une sur-inondation ?

Les zones de sur-inondation sont des zones volontairement surexposées à l'aléa, suite généralement à des travaux d'aménagement réalisés pour permettre un sur-stockage des crues [article 48 de la loi du 31 juillet 2003 sur les risques, codifié à l'article L. 211-12 du code de l'environnement].

Il s'agit de créer des zones de rétention temporaire des eaux de crues ou de ruissellement, par des aménagements permettant d'accroître artificiellement leur capacité de stockage de ces eaux, afin de réduire les crues ou les ruissellements dans des secteurs situés en aval. Elles sont caractérisées par une aggravation de la situation vis-à-vis du risque d'inondation par rapport à la situation antérieure aux aménagements.

Alors que l'inondation naturelle n'a pas vocation à être indemnisée au-delà des régimes d'indemnisation assuranciers classiques des catastrophes naturelles ou des calamités agricoles, la sur-inondation relève de règles de droit spéciales permettant d'instaurer une servitude de sur-inondation.

Cette servitude va au-delà du régime normal dans l'encadrement de l'occupation des sols et les contraintes imposées aux propriétaires et exploitants de zones grevées lorsqu'elle crée un préjudice matériel, direct et certain ; elle s'accompagne d'un régime d'indemnisation spécifique pour le propriétaire et l'exploitant, défini localement et pris en charge par la collectivité bénéficiaire ayant instauré la servitude.



Gué du Morlet, crue de janvier 2004 (© Grand Parc de Miribel Jonage/C. Crepet - 2004)

Ce qu'il faut retenir

Les zones d'expansion des crues présentent un intérêt majeur dans la dynamique des crues : elles permettent l'écrêtement, c'est-à-dire le stockage des eaux pour étaler et amortir le pic de crue. Ce rôle hydraulique essentiel justifie leur préservation et la recherche de leur optimisation, afin d'atténuer les inondations à l'aval, dans un souci de solidarité de bassin amont-aval. Elles ne doivent pas être confondues avec les zones de sur-inondation, qui s'inspirent d'une logique différente.

Quels sont les dommages induits par les inondations du Rhône ?

Pour les économistes, les dégâts d'une crue correspondent aux impacts directs et indirects de l'inondation sur les personnes et les biens. Il peut s'agir de désordres physiques (brèche dans une digue, érosions de berges, ponts et barrages détruits...) ou socio-économiques (habitations et activités touchées, interruption d'un réseau technique ou d'activités de production ou de service).

Les dommages en sont l'expression économique qui reste tributaire d'incertitudes concernant les dommages indirects, toujours difficiles à évaluer, et les dommages directs dont une part seulement est indemnisée par les compagnies d'assurance. Par ailleurs, les désordres d'une catastrophe ne peuvent pas tous être caractérisés de manière quantitative ou monétaire si bien que les conséquences doivent aussi être appréhendées sur le plan humain.

Quelle évaluation économique ?

Le calcul des dommages permet de comparer des catastrophes naturelles en rendant compte de l'ampleur physique des phénomènes et de la vulnérabilité des territoires.

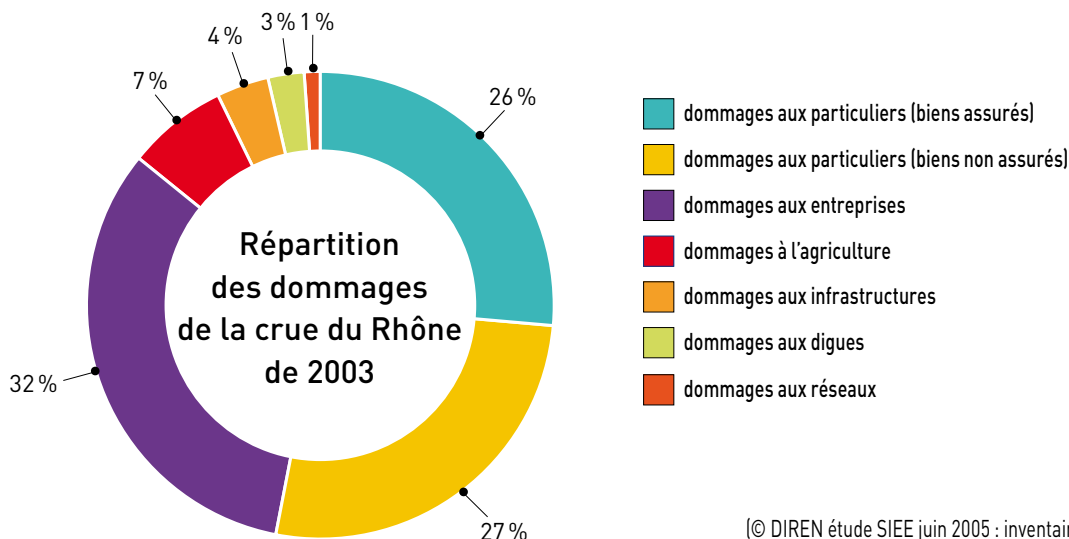
Les dommages de la crue du Rhône de 2003 à l'aval de Lyon sont estimés à plus d'un milliard d'euros, dont :

- plus de la moitié concerne les particuliers (300 millions d'euros pour les biens assurés et 300 millions d'euros pour les biens non assurés) ;
- 370 millions d'euros de dommages aux entreprises ;
- 80 millions d'euros de dommages à l'agriculture ;
- 40 millions d'euros aux infrastructures ;
- 30 millions aux digues ;
- 10 millions d'euros aux réseaux et aux équipements.

Si l'on compare les évaluations globales, les inondations de Nîmes en 1988 représentent 610 millions d'euros, la crue de l'Aude de 1999 de l'ordre de 500 millions d'euros, les inondations du Gard de 2002 environ 1,2 milliards d'euros.



Inondation d'un terrain agricole le long de la RN 570 le 13 décembre 2003 (© E. Delahaye).



(© DIREN étude SIEE juin 2005 : inventaires des zones inondables, des enjeux, des dégâts)



Les péniches habitées, rive gauche du Rhône à Lyon, pendant une crue (© G. Poussard).

Un autre ordre de grandeur apparaît quand on s'intéresse :

- à la tempête de décembre 1999 qui a entraîné plus de 15 milliards d'euros de dommages ;
- aux inondations d'Europe Centrale de 2002 : 28 milliards d'euros (dont 16.5 milliards pour la Saxe) ;
- à l'ouragan Katrina en 2005 au États-Unis : 83,5 milliards d'euros.

Des populations éprouvées

L'approche économique montre qu'une grande part des dommages concerne les particuliers. Au-delà des chiffres, l'expérience de la catastrophe constitue en effet pour les riverains une épreuve marquée par le dénuement et la perte. L'inondation affecte en premier lieu l'univers domestique par l'intrusion de l'eau et de la boue qui mettent sens dessus-dessous les vêtements, les meubles, la nourriture. Un tel chaos provoque un sentiment de pollution et de souillure qui résulte de l'anéantissement de l'ordre domestique (des substances d'ordinaire séparées se retrouvent mêlées).

Le temps de la catastrophe signe aussi une relégation sociale pour les sinistrés qui doivent parfois recourir à des hébergements de fortune ou se trouvent destinataires de dons et d'aides d'urgence. Si la maison individuelle marque, par l'accession à la propriété, l'appartenance sociale de ses occupants aux populations qui ne sont pas dans le besoin, le sinistre de la maison les stigmatise en retour comme des populations en difficulté. La perte des objets personnels affecte en second lieu la mémoire des sinistrés pour qui la destruction des souvenirs peut provoquer des formes d'amnésie et rend plus difficile la transmission de la biographie familiale aux générations futures.

Les interventions des psychologues ainsi que les enquêtes des sociologues montrent que l'épreuve de la catastrophe ne réside pas seulement dans le sauvetage mais se prolonge lors du retour dans la maison, du nettoyage, du tri de ce qui reste entre objet et déchet, de la réappropriation de l'espace domestique. En ce sens, le traumatisme de l'inondation qui relève autant d'une dimension psychologique que sociale, apparaît comme un dommage qui ne serait quantifiable qu'à travers le temps nécessaire à son apaisement.

Ce qu'il faut retenir

La crue du Rhône de 2003 a provoqué plus d'un milliard d'euros de dégâts, ce qui la situe parmi les inondations les plus dommageables en France. Cependant, comme le montrent des désastres étrangers, cette somme pourrait être bien plus considérable (de l'ordre de six milliards d'euros dans l'agglomération lyonnaise pour une crue forte).

Au-delà des chiffres, les conséquences sociales sur les populations sinistrées doivent être prises en compte.

Pourquoi les crues de la décennie 1993-2003 ont-elles touché surtout le Rhône aval et la Camargue ?

Pourquoi la Camargue est-elle vulnérable ?

La topographie de la Camargue est spécifique car très proche du niveau de la mer ; le point culminant est à environ trois mètres d'altitude.

La présence d'anciens cordons de protection contre la mer (cinquante centimètres à un mètre), assez loin dans les terres, peut freiner l'évacuation des eaux.

À titre de comparaison, la cote maximum atteinte à la station d'Arles (Grand-Rhône) lors de la crue de décembre 2003 a été de sept mètres environ.

Ces valeurs permettent de comprendre le rôle joué par les digues de Camargue et les contraintes qu'elles peuvent subir lors des crues fortes et de longue durée.

La Camargue, partie principale du delta du Rhône, a toujours été inondable car elle est l'exutoire d'un bassin versant d'environ 95 000 km² qui peut être soumis à des épisodes pluvieux intenses de type méditerranéen.

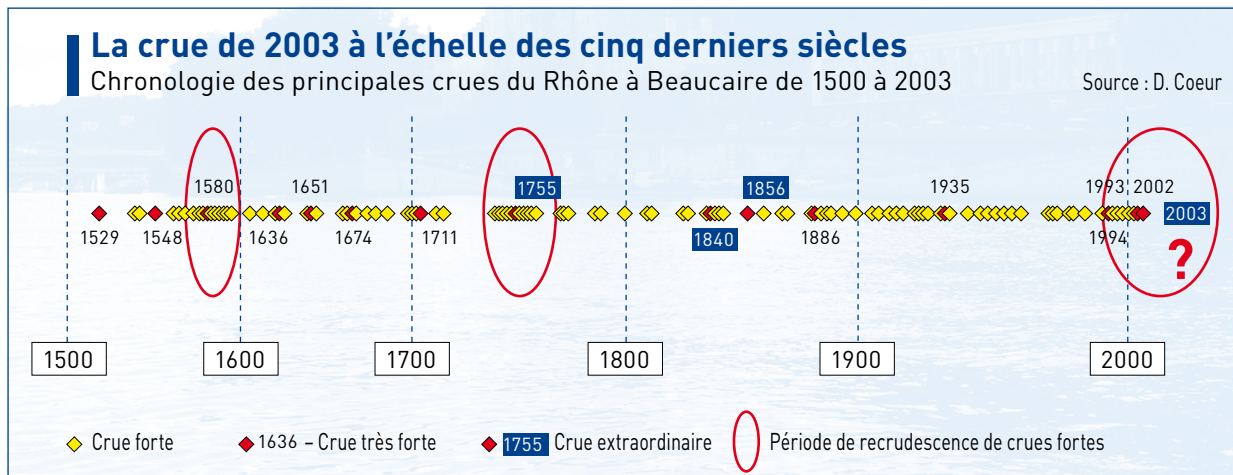
La typologie des crues du Rhône est bien connue ; seules les crues océaniques qui se forment sur la partie amont du Rhône et de l'Isère s'atténuent en général à partir de Valence et sont la plupart du temps sans danger pour les Provençaux. Les autres types de crues, qui ont une composante méditerranéenne, se renforcent à l'aval et peuvent même devenir catastrophiques en cas de concomitance avec une crue forte de l'Ardèche, de la Durance ou des Gardons.

En ce qui concerne le mode d'inondation, la Camargue est concernée à plusieurs titres : risque de surverse au-dessus des digues pour les crues très fortes, risque de brèches dans les digues lors des crues de longue durée et également risque d'inondation directe par les pluies locales puisque les terrains sont très plats.

Quelle est la répétition des épisodes de crue et quels sont leurs impacts sur la Camargue ?

Depuis 1993, on constate une succession d'épisodes pluvieux de type méditerranéen, qui ont peu ou prou concerné la Camargue.

En remontant dans le passé, plusieurs périodes présentent une répétition d'événements de crue : vers 1580 et 1755 et également entre 1840 et 1856. Toutefois, on dispose de peu d'éléments sur les périodes marquées par les crues de 1580 et de 1755.





Brèche de Claire Farine, 5 décembre 2003 (© Syndicat Mixte Camargue Gardoise).

■ Première période représentative : 1840-1856

Outre la crue très exceptionnelle de 1840, les crues d'octobre 1841 et novembre 1843 ont causé également des dégâts considérables dans les digues (la crue de 1843 a été amplifiée par une grave crue de la Durance : 4 400 m³/s estimés à Bonpas).

Sur cette période, deux crues majeures et deux crues fortes ont sérieusement endommagé les digues de Camargue et provoqué à chaque fois l'inondation d'une grande partie de ce territoire, auxquelles s'ajoutent une dizaine de crues relativement importantes.

■ Une «répétition» sur la période 1993-2003

Le Rhône a connu en octobre 1993 et janvier 1994 deux crues fortes alors que pendant près de quarante ans les riverains n'avaient pas eu à faire face à des inondations, excepté sur d'autres secteurs (par exemple février 1990 et novembre 1992 sur le Haut Rhône).

Entre 1993 et 2003, le Rhône aval a connu une crue majeure en décembre 2003 et quatre crues fortes :

- Octobre 1993 (crue générale - Saône et Haut Rhône) ;
- Janvier 1994 (méditerranéenne extensive - crue forte de la Durance) ;
- Septembre 2002 (crue très forte des Gardons et de la Cèze - cévenole atypique) ;
- Novembre 2002 (crue générale).

Si les crues de 1993 et 1994 avaient largement inondé la Camargue entre le petit et le grand Rhône à la suite de nombreuses ruptures de digues, en 2003, c'est la Camargue gardoise qui a été concernée par deux brèches importantes (communes de Fourques et de Saint-Gilles).

Lors de cette dernière crue, la Camargue entre le Rhône et le Petit-Rhône n'a été inondée que par son impluvium, phénomène aggravé par des remontées de nappes généralisées.

Ce qu'il faut retenir

La Camargue est particulièrement exposée aux crues du Rhône, du fait de sa topographie très plate et peu élevée et du régime hydrologique pluvial méditerranéen sur la partie aval de ce fleuve.

Les épisodes pluvieux méditerranéens se produisent en général entre les mois de septembre et de novembre ; les tempêtes marines à cette époque de l'année pouvant aggraver le niveau des eaux.

Les ruptures de digues sont le plus préjudiciables car elles sont pratiquement imprévisibles.

Le réseau d'évacuation des eaux vers la mer est très complexe et les eaux stagnent longtemps avant de s'évacuer, ce qui accroît le coût des dommages.

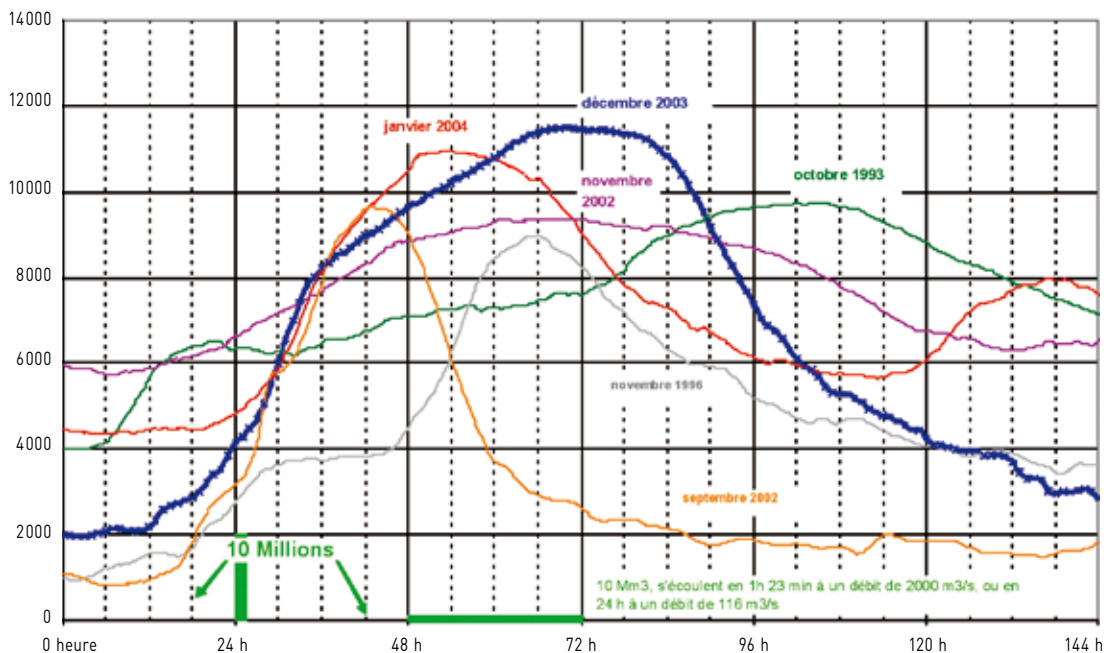
Est-il possible d'utiliser les ouvrages de la CNR pour abaisser les niveaux d'eau ?

Est-il possible d'utiliser les ouvrages de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) pour écrêter les crues ?

Quels sont les volumes en jeu ?

Il faut avoir à l'esprit quelques ordres de grandeur concernant les volumes d'eau en jeu lors des crues, ceux des retenues et ceux que dégagerait un abaissement préventif du niveau de la retenue. Prenons l'exemple des fortes crues récentes (1993 à 2004) mesurées à Beaucaire. Le graphique ci-dessous montre l'évolution des débits de ces crues.

Crues récentes du Rhône à Beaucaire



Source CNR

VOLUME DES CRUES EN MILLIONS DE M³ ÉCOULÉS

Source CNR

Octobre 93		Janvier 94		Septembre 02		Novembre 02		Décembre 03	
2 jours	6 jours	2 jours	6 jours	2 jours	6 jours	2 jours	6 jours	2 jours	6 jours
2300	4000	2200	3900	1300	1700	1600	3900	1900	3500

Distinguer le volume des retenues et le volume retenu par les barrages !

Le volume d'eau présent dans le bief à l'amont du barrage est situé entre le plan d'eau et le fond du lit (voir figure 1). On peut rappeler les volumes à l'étiage des différentes retenues :

Chute	Génissiat	Seysssel	Chautagne	Belley	Brégnier-Cordon	Sault-Brénaz	Pierre-Bénite	Vaugris	Péage-de-Roussillon
Millions de m³	53	6	12	16	17	33	20	15	42
Chute	Saint-Vallier	Bourg-lès-Valence	Beauchastel	Baix-le-Logis-Neuf	Montélimar	Donzère-Mondragon	Caderousse	Avignon	Vallabrègues
Millions de m³	35	25	30	40	45	20	47	34	82

Source CNR

S'agissant d'aménagements au fil de l'eau, ces volumes sont bien inférieurs à ceux des grands barrages-réservoirs. Ils sont très faibles par rapport aux volumes d'eau écoulés en crue (2300 Millions de m³ écoulés en deux jours en 2003). Si le barrage était entièrement ouvert, il subsisterait un volume d'eau à l'amont du barrage correspondant à l'écoulement naturel.

Le barrage ne retient donc en crue ou à l'étiage que la différence entre ces deux volumes (volume dans le bief, moins volume qui subsisterait s'il n'y avait pas de barrage). En crue, le volume retenu en amont du barrage est de plus en plus faible, puisque les lignes d'eau des situations naturelles et aménagées se rapprochent (voir question 03-05 « Quel est le mode de gestion des ouvrages du Rhône ? »).

Ainsi, pour la retenue de Vallabrègues en amont de Beaucaire, qui représente à faible débit la plus grosse retenue de la vallée (82 millions de m³), le volume résiduel retenu par le barrage, de l'ordre de 12 millions de m³ pour un débit de 10000 m³/s s'annule aux environ de 14000 m³/s (crue millénale) puisque c'est le débit de dimensionnement pour lequel le barrage est complètement ouvert. Il est donc important de distinguer le volume des retenues et le volume retenu par les barrages.

■ Les retenues écrêtent-elles les crues ?

Comme le montre le graphique ci-contre relatif à la retenue de Vallabrègues, la conception des aménagements et la consigne d'exploitation actuelle sont telles que le volume de la retenue croît avec le débit.

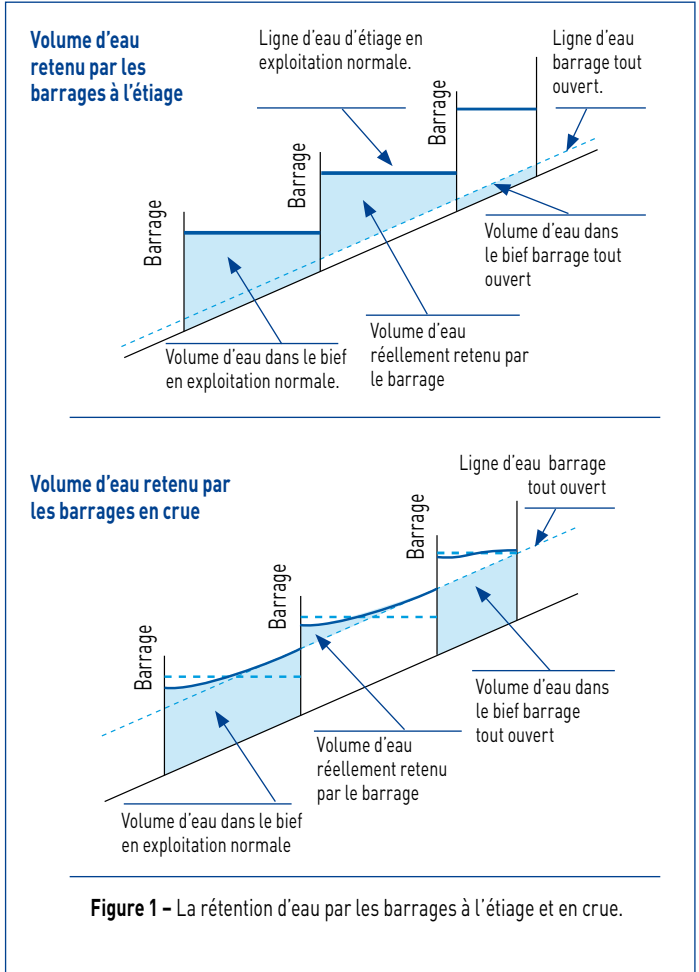
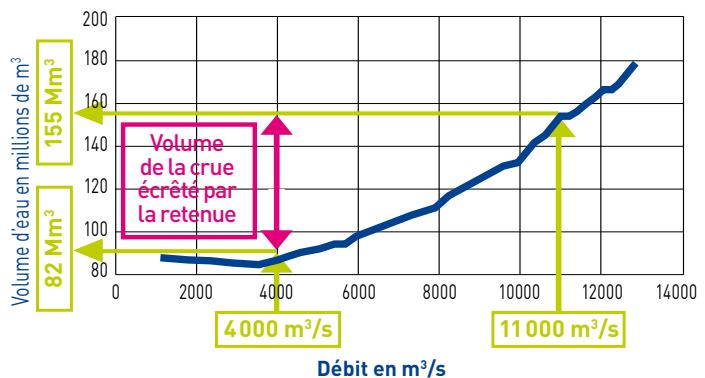


Figure 1 - La rétention d'eau par les barrages à l'étiage et en crue.

Les retenues écrêtent les crues (exemple de Vallabrègues)



■ L'aménagement hydroélectrique peut-il mieux écrêter les crues ?

Pour rester sur l'exemple de Vallabrègues, le volume retenu par le barrage (de l'ordre de 9 millions de m³ aux environs de la crue centennale) pourrait être stocké pour réduire le débit à l'aval si le barrage avait été préalablement complètement effacé. Mais il est très faible en comparaison du volume d'eau des crues. Il ne représente que 0,3% du volume de la crue de 2003 par exemple. D'autre part le gain très faible à attendre est à son tour susceptible de créer de nouveaux risques.

■ Quels sont les risques d'une autre procédure ?

Un des principes de l'exploitation du Rhône en crue est que la gestion des ouvrages doit être étudiée, déterminée et programmée à froid et respectée sans improvisation lors de la crue. Actuellement, les consignes d'exploitation précisent des objectifs de niveau à des points de réglage et la répartition du débit entre la dérivation et le tronçon court-circuité en fonction de la connaissance du débit en temps réel (voir question 03-05 « Quel est le mode de gestion des ouvrages du Rhône ? »).

L'utilisation du volume résiduel de la retenue devrait, comme les consignes en vigueur, être réfléchie et décidée à froid et être automatisée.

Deux options sont imaginables :

- **Soit une gestion « passive »** qui ne ferait pas appel aux prévisions. On pourrait envisager une vidange partielle programmée pour une certaine valeur de débit et le remplissage pour une autre. Mais il y a des risques :
 - l'opération de vidange de la retenue pourrait coïncider avec la crue d'un affluent confluant avec le Rhône à l'aval de celle-ci ;
 - pendant la phase de remontée du niveau de la retenue, la vitesse de montée de l'eau se trouverait accélérée à l'amont ;
 - enfin, lorsque le volume de la retenue serait reconstitué, il faudrait à nouveau évacuer au barrage le débit entrant dans la retenue. Si la capacité de stockage était insuffisante, celui-ci aurait atteint une valeur supérieure à ce qu'elle était au début de la manœuvre, ce qui créerait une montée de débit brutale à l'aval. Dans les cas sur lesquels on aura fait les simulations, la situation pourra être améliorée, mais le risque de faire pire plutôt que mieux est tout à fait réel.
- **Soit une gestion « active »** qui se baserait sur la prévision des débits du Rhône et de ses affluents. Le nombre infini des combinaisons possibles fait qu'il est impossible de programmer tous les scénarios possibles.



Vue depuis l'aval du barrage de Caderousse et du bief amont (© Photothèque CNR).

D'autre part il convient de rappeler que la connaissance en temps réel des débits est entachée d'une incertitude de 5 à 10% au moins. L'incertitude sur les prévisions de débit est encore bien supérieure, et s'y ajoute l'incertitude sur l'instant où se présentera ce débit. Pour une crue de l'ordre de $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$, l'incertitude dans la connaissance du débit à 24 heures est de l'ordre de $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ à $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Pour garder l'exemple de Beaucaire, si l'on fait l'hypothèse d'un volume mobilisable de l'ordre de 10 millions de m^3 , cela pourrait correspondre à une réduction du débit de $500\text{ m}^3/\text{s}$ pendant 6 heures. L'objectif est incompatible avec la précision actuelle en matière de prévision de débit.



Inondation de la plaine alluviale par débordement d'un Vieux-Rhône. À droite, le canal. (© Photothèque CNR)

Peut-on améliorer la situation en modifiant le débit dérivé en crue ?

Une question fréquemment posée est la possibilité, par une gestion différente des barrages et des usines CNR, de réduire l'importance ou l'effet des crues. Un débit différent en crue dans le canal de dérivation ne pourrait-il pas avoir des effets positifs sur les niveaux ?

Dans la situation actuelle à l'aval de Lyon, les consignes d'exploitation ne prévoient pas en crue de réduction du débit dérivé, à l'exception des chutes de Péage-de-Roussillon et Donzère-Mondragon, leurs digues n'ayant pas été dimensionnées pour une exploitation en crue à pleine charge. À l'amont de Lyon, les débits dérivés sont en général réduits (voire annulés sur Belley). L'objet de la présente approche n'est pas d'expliquer la valeur actuelle des débits dérivés en crues mais d'examiner quels seraient les effets de leur modification.

Dans le cas où il serait possible d'augmenter en crue le débit dérivé, l'effet direct serait de réduire le débit de la crue dans le tronçon court-circuité par la dérivation, dont résulterait un abaissement des niveaux d'eau. Cet abaissement des lignes d'eau réduirait l'inondation des terres riveraines. Il en résulterait à l'aval de la restitution, pour une certaine gamme de débits (situés entre l'ancien et le nouveau seuil de submersion), une augmentation des débits de pointe et une accélération de la propagation de la crue par réduction de l'écrêtement. Cet effet serait bien sûr limité et s'éteindrait lorsque les terres riveraines du Vieux-Rhône seraient à nouveau inondées. La réduction du débit dérivé aurait bien sûr les effets contraires.

Dans le cadre de l'Étude Globale Rhône des simulations ont été faites pour estimer les avantages et inconvénients d'une gestion différente des débits dérivés sur le Haut Rhône. Elles ont mis en évidence des impacts peu significatifs qui n'ont pas justifié d'approfondir cette piste.

Des investigations complémentaires sont en cours pour le Bas Rhône dans le cadre du Plan Rhône. Elles semblent montrer que les effets sont sensibles dans les Vieux-Rhône mais peu significatifs en termes de modification des hydrogrammes aval pour les fortes crues.

Ce qu'il faut retenir

Les retenues des aménagements au fil de l'eau représentent des volumes négligeables en comparaison du volume d'eau écoulé par la crue.

Elles contribuent malgré cela dans leur gestion actuelle à écrêter les crues en stockant une partie de leur volume.

Toutefois une optimisation de leur gestion dans cet objectif reste illusoire en l'état de l'art en matière de prévision des débits et, pour un résultat positif insignifiant, pourrait aggraver certaines situations.

Les villes de la vallée du Rhône sont-elles menacées ?

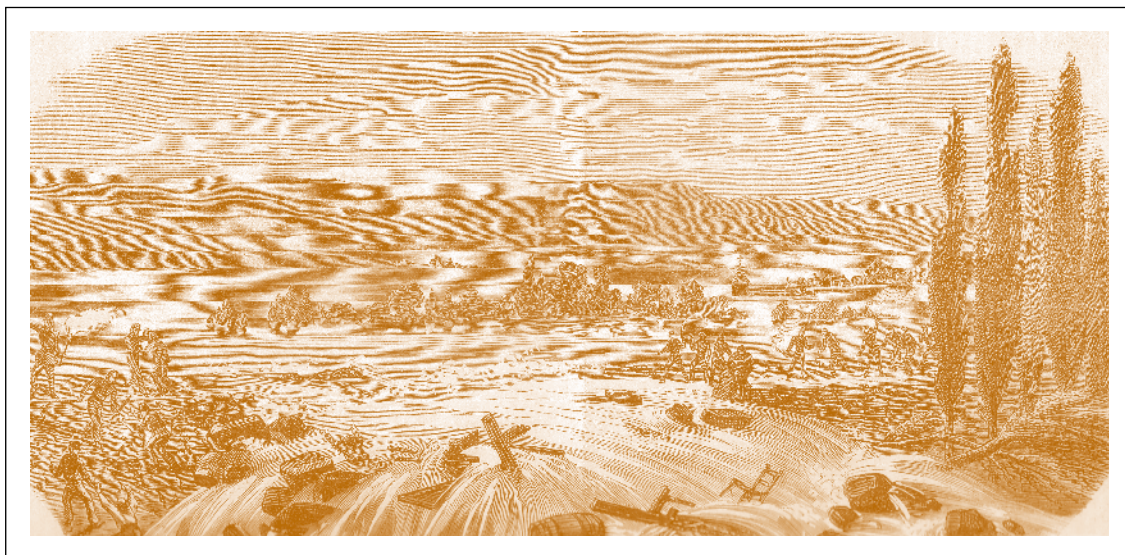
Le Rhône constitue l'artère principale d'échanges et de développement économique de la vallée ; les villes se sont implantées en utilisant les sites les plus propices.

Ensuite, les nécessités du développement ont poussé à investir progressivement des sites moins propices, comme la rive gauche du Rhône à Lyon, autrefois constituée de îlots et de brotteaux, ou les marais asséchés autour d'Arles.

Quels travaux au XIX^e siècle ?

Des protections ont progressivement été mises en place pour diminuer l'exposition au risque d'inondation. Les archives font mention d'anciens réseaux de digues mais les grandes crues du XIX^e siècle ont largement submergé la plupart de ces protections. Les récits des crues de 1840 et de 1856 font état de tous ces ouvrages détruits et de quartiers balayés par les eaux.

Un point primordial est également porté à la connaissance des élus : d'un point de vue écologique, le fonctionnement de l'écosystème fluvial a été altéré, mais il serait possible de y remédier, du moins en partie.



Brèche dans la digue de la Tête d'Or à Lyon en mai 1856 (*L'illustration, Journal Universel*)

À Lyon, c'est toute la rive gauche du Rhône qui a été ravagée. Avignon a connu des hauteurs de submersion de près de deux mètres.

Ces crues ont fourni des repères pour concevoir de nouvelles protections. Les villes importantes ont conforté leurs quais en les dimensionnant par rapport à la ligne d'eau de la crue de 1856. D'autres équipements ont contribué à ces dispositifs de protection ; les infrastructures ferroviaires et routières ont souvent remplacé ou prolongé, en les confortant, d'anciennes digues (un remblai ferroviaire est superposé à l'ancienne digue de protection d'Arles, dite « digue du Trébon »).

Dans certaines villes, des dispositifs mobiles de protection sont mis en place avant l'arrivée de la crue : en Avignon, les portes dans les remparts sont obturées par des batardeaux.

Quelle est la situation au début du XXI^e siècle ?

Les aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) ont aussi contribué à protéger d'autres secteurs urbanisés, comme le sud de l'agglomération lyonnaise (Saint-Fons, Solaize), les rives du Rhône à Valence.

Aujourd'hui, un ensemble de digues, d'ouvrages et de quais offre des niveaux de protection plus ou moins complets pour les villes du Rhône. Les crues récentes et les études sur des sites qui n'ont pas connu de crues aussi importantes fournissent des informations sur la situation réelle.



Digue de Codolet (Vaucluse), au Sud du village (© DIREN Rhône-Alpes).

À Lyon, une modélisation a mis en évidence que des débordements se produiraient pour

une crue d'importance cinq-centennale au niveau du quartier de Gerland, ou à partir d'une crue bi-centennale dans la ville de Vaulx-en-Velin.

Les crues de 1993, 1994 et 2002, survenues après une cinquantaine d'années sans crues importantes du Rhône, ont occasionné des ruptures de digues et des débordements touchant des secteurs habités, mais évitant les grands centres urbains.

La crue de décembre 2003, très impactante pour les villes riveraines du Rhône aval, notamment la ville d'Arles, a mis en évidence les limites de certains ouvrages de protection et les risques de rupture.

Comme la crue de 1856, la crue de décembre 2003 attire l'attention sur la nécessité de compléter les dispositifs de protection et d'assurer leur bon état dans la durée. Les conséquences de surverses ou de ruptures de digues au droit de zones densément occupées sont encore plus dangereuses que celles des débordements progressifs : la montée des eaux est alors très rapide et laisse peu de temps pour organiser la mise en sécurité des personnes et des biens. L'urbanisation rapide et l'installation d'infrastructures sensibles dans ces secteurs augmentent fortement la vulnérabilité.

Depuis le Plan Rhône, l'ensemble des ouvrages de protection entre Avignon et la mer fait l'objet de programmes de mise à niveau et de confortement.

Quel aléa ?

En dehors des possibilités d'événements accidentels, la protection par des digues ne peut pas être considérée comme totale. Ces sites restent exposés à des remontées de nappes à travers les terrains alluvionnaires de la vallée du Rhône, aux effets du ruissellement, qui accumulent l'eau dans les dépressions que le réseau d'assainissement ne peut pas entièrement évacuer.

Enfin, les constructions en sous-sol dans les villes contribuent à augmenter la vulnérabilité vis-à-vis de ces aléas si des précautions ne sont pas prises pour ne pas voir les niveaux en sous-sol, les plus exposés, abriter progressivement quantité de biens et d'équipements coûteux, ou encore pour éviter que ces espaces ne soient convertis en pièces habitables.

Ce qu'il faut retenir

Une protection contre les inondations n'est jamais absolue, elle est définie pour un risque donné (en général inférieur à une probabilité d'un pour mille).

La meilleure protection reste la prévention qui consiste à réduire la vulnérabilité par la réduction des enjeux exposés, à préserver le mieux possible les espaces de respiration du fleuve et à mettre en place un dispositif efficace et permanent de surveillance des ouvrages de protection.

Quel est le niveau de la protection apportée par les digues du Rhône ?

Une digue est un ouvrage longitudinal, orienté le plus souvent dans la direction de l'écoulement du cours d'eau, par opposition aux barrages disposés transversalement au lit mineur.

Le long du Rhône on rencontre deux catégories de digues très différentes dans leurs fonctions, leur conception, leur gestion et donc leur efficacité contre les inondations et leur niveau de sécurité. Il existe plusieurs mécanismes de rupture des digues.

Ce n'est qu'en connaissant ces divers éléments que l'on sera en mesure de répondre à la question posée, en introduisant une nuance entre efficacité et sécurité.

Deux types de digues sont construits le long du Rhône

■ **Les digues récentes.** Les digues de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) (voir question 03-04 « Quel est le principe de conception des aménagements CNR ? ») servent à créer des biefs pour la production hydroélectrique et la navigation. Leur dimensionnement les rend aptes à assurer, sans débordement, le transit de débits très élevés. Il s'agit d'ouvrages en remblai dont la conception répond aux règles de l'art de la seconde moitié du xx^e siècle ; ils sont construits avec des matériaux sélectionnés et des techniques modernes.

Ces digues sont en permanence soumises à la charge hydraulique et font l'objet d'un programme de surveillance (visuelle et par mesures d'auscultation) très régulier qui permet de déceler rapidement tout indice d'évolution négative du comportement.

■ **Les digues anciennes,** dénommées « digues syndicales » car pour l'essentiel elles sont la propriété de syndicats mixtes ou d'associations syndicales, ont pour unique fonction la protection contre les crues. Il s'agit d'ouvrages remontant pour la plupart au xix^e siècle, suite aux crues de 1840 et 1856. Ces digues ont été construites avec les matériaux de remblai disponibles sur place et avec les moyens de génie civil de l'époque ; certaines parties sont en maçonnerie. Elles sont traversées par de nombreux aqueducs et conduites d'irrigation ou de drainage qui sont autant de points potentiels de fragilité.



La digue de Vigueirat dégradée par une crue (© M. Provansal)

Les crues récentes du Rhône sont venues rappeler le rôle de ces digues tombées dans l'oubli pendant des décennies et ont conduit à mettre en place récemment un ambitieux programme de remise à niveau de leur connaissance, de leur sécurité et de leur maintenance, qui va s'étaler sur plus d'une dizaine d'années. On conçoit donc que le niveau de sécurité de ces deux catégories d'ouvrages ne soit pas identique.

Quels sont les principaux mécanismes de rupture ?

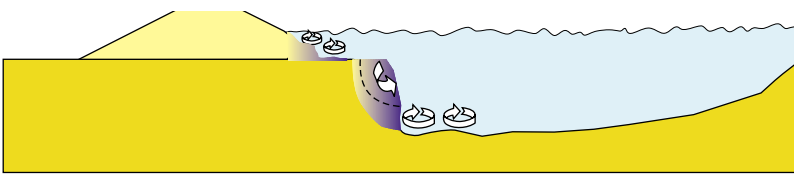
Sans entrer dans l'exhaustivité des mécanismes potentiels de rupture des digues, voici les trois mécanismes en jeu dans le contexte rhodanien.

■ **La surverse**, c'est-à-dire le débordement de l'eau au-dessus de la crête de la digue, conduit rapidement, pour les digues en remblai, à la formation d'une brèche par érosion régressive du talus puis de la crête. Même si l'on dispose d'éléments qualitatifs pour apprécier la plus ou moins grande rapidité du phénomène, on ne sait pas aujourd'hui répondre précisément à la question : pendant quelle durée et à quelle lame d'eau une digue est-elle capable de résister à la surverse ?

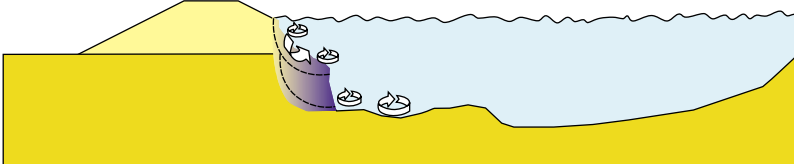
C'est donc le principe de précaution qui prévaut en la matière. Cependant, certains tronçons de digue peuvent être spécifiquement équipés d'une carapace (perré, enrochements, béton...) qui les rend aptes à supporter, dans certaines limites, la surverse : on parle alors de tronçon déversant ou de déversoir.

■ **L'érosion interne** se développe le long de chemins préférentiels empruntés par l'eau à l'intérieur de la digue ou de sa fondation. Ces chemins préférentiels peuvent être liés à des hétérogénéités dans les matériaux, à des terriers d'animaux, aux racines des arbres (en particulier après leur mort) ou peuvent se localiser le long de conduites traversant la digue. L'érosion interne se développe lentement dans sa phase initiale et se traduit par une augmentation des fuites, ce qui démontre l'intérêt d'une surveillance et d'une auscultation régulières des digues toujours en eau. Mais ensuite, dès qu'un conduit s'est formé à travers la digue, le phénomène peut évoluer très rapidement par agrandissement du conduit et formation d'une brèche. Le contrôle de la végétation et la lutte contre les animaux fouisseurs sont donc essentiels pour les digues, particulièrement pour celles qui sont en charge uniquement lors des crues et dont les fuites ne peuvent être auscultées en continu.

Le pied de berge se dégrade, des glissements en masse se produisent dans les matériaux saturés.



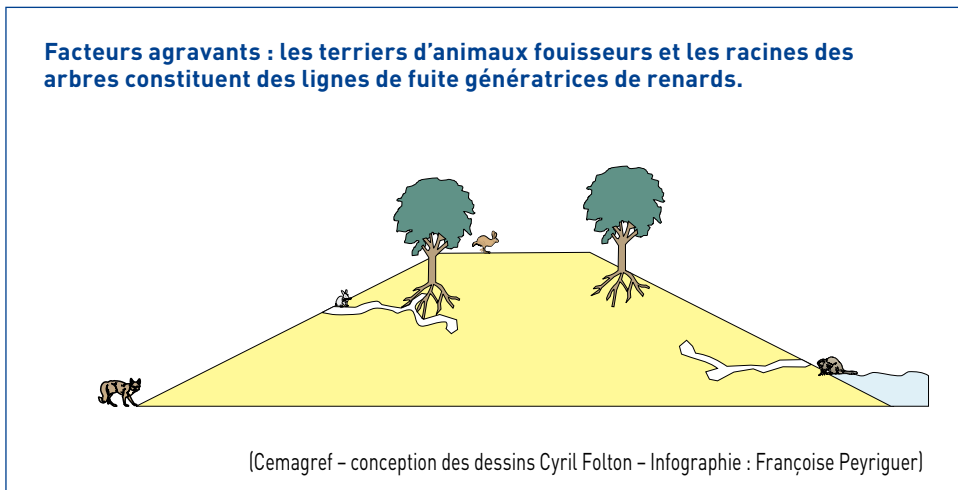
La berge, verticalisée est très instable. Les matériaux saturés glissent par pans, entraînant la digue.



(Cemagref – conception des dessins Cyril Folton – Infographie : Françoise Peyriguer)

■ **L'affouillement** est un phénomène d'érosion externe qui affecte le talus de la digue exposé aux courants hydrauliques du cours d'eau. L'origine est souvent liée à des irrégularités de la berge ou du talus qui provoquent localement des courants plus intenses. Les anses d'érosion ainsi créées vont renforcer le phénomène de tourbillons et donc d'érosion, jusqu'à attaquer le corps de digue et, en situation extrême, créer une brèche.

Le fait de disposer d'un franc-bord entre la berge du lit mineur et le pied de la digue apporte une sécurité vis-à-vis de ce mécanisme et une surveillance régulière permet alors d'intervenir avant une situation critique.



Quel est le niveau de protection actuel ?

Vis-à-vis de la surverse, les digues CNR sont dimensionnées pour contenir la crue millénaire (avec une revanche de sécurité), alors que les digues syndicales peuvent contenir au mieux la crue centennale. C'est ainsi que des débordements sont apparus en décembre 2003 sur la digue rive droite du Petit-Rhône et que les deux brèches de Mas d'Argence et de Claire Farine ont été attribuées à la surverse.



Brèche de Fourques, 5 décembre 2003 (© Syndicat Mixte Camargue Gardoise).

Vu qu'il n'est pas raisonnable (et qu'il serait illusoire) de vouloir systématiquement augmenter le niveau de protection apporté par les digues syndicales, la diminution du risque de brèche par surverse passe par l'aménagement de tronçons déversants où les débits de crue excédentaires pourront être dérivés dans la plaine en toute sécurité pour les autres tronçons de digue.

Vis-à-vis de l'érosion interne, les digues CNR n'ont connu aucune rupture à ce jour, mais plusieurs incidents ont été détectés grâce à la surveillance régulière et ont été réparés. Les digues de Camargue ont connu seize ruptures lors des deux crues successives d'octobre 1993 et janvier 1994.

Les observations faites pendant et après ces crues ont permis d'attribuer ces brèches à l'érosion interne, des conduites traversantes étant en cause dans trois cas et des terriers d'animaux dans treize cas.

La sécurité a été améliorée après ces crues grâce aux actions entreprises par le Syndicat mixte d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la mer (SYMADREM) : travaux d'urgence et programme d'entretien et de surveillance réguliers. Ainsi, lors de la crue de décembre 2003, les digues de Camargue n'ont pas connu de brèche par érosion interne, mais plusieurs ruptures liées à ce mécanisme ont été évitées de justesse, ce qui montre que le risque est encore bien présent.

Vis-à-vis du risque d'affouillement, aucun incident grave n'a été relevé sur les digues CNR, tandis que les digues syndicales ont connu quelques dommages lors des crues de ces dernières années, mais sans aller jusqu'à la brèche complète.

La présence assez générale d'un ségonal (bande de terrain du lit majeur comprise entre la berge et les digues) plus ou moins large est un facteur positif pour diminuer ce risque. À contrario, l'enfoncement du lit mineur, constaté par endroits, est un élément de fragilité.



Dégâts dus à la surverse d'une digue lors de la crue des 12-13/11/1999 : importante loupe d'érosion et de glissement dans le talus aval (© E. Josse DDE 66).

Ce qu'il faut retenir

Grâce à leur dimensionnement, les digues CNR apportent un haut niveau de protection contre les inondations dans les zones où elles assurent cette fonction.

La conception, le mode de réalisation et le programme de surveillance des digues CNR leur confèrent un haut niveau de sécurité vis-à-vis de la rupture.

Les digues syndicales apportent un niveau plus faible et variable, l'objectif visé étant la crue centennale.

Les digues syndicales présentent aujourd'hui un niveau de sécurité plus faible, mais qui est en voie d'amélioration grâce au programme de diagnostic, de confortement (incluant l'aménagement de tronçons déversants) et de surveillance qui se met en place depuis quelques années et qui est rendu possible par des évolutions préalables dans la maîtrise d'ouvrage.

Qu'appelle-t-on « crue de référence » ?

La notion de « crue de référence » renvoie à des dispositions réglementaires : c'est en effet sur cette base que sont élaborés les Plans de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI).

La définition qui en est donnée par de nombreuses circulaires interministérielles est celle de « la plus forte crue connue, ou si cette crue est plus faible qu'une crue centennale, cette dernière ».

Ce choix répond à une double volonté : d'une part se référer à des événements qui se sont déjà produits (et sont donc susceptibles de se produire de nouveau), et d'autre part privilégier la mise en sécurité de la population en retenant des crues de fréquence rare.

La crue de référence est donc soit une crue historique documentée (crue du 28 janvier 1910 de la Seine à Paris, crue de novembre 1840 dans le Val de Saône, crue du 2 novembre 1859 de l'Isère à Grenoble, etc.), soit une crue modélisée pour une occurrence centennale (basse vallée de l'Ain, Eyrieux, Lez, Bourbre, etc.).



Repères de crues (© DIREN Rhône-Alpes)

Quelle est la crue de référence du Rhône ?

■ **À l'amont de Lyon.** La crue de référence est, selon les secteurs, celle de 1927, 1944 ou 1990 ; toutes sont proches de la crue centennale ou supérieures.

■ **À l'aval de Lyon.** Dans la liste des grandes crues qui ont affecté le Rhône à l'aval de Lyon, l'événement de mai 1856 constitue le record depuis 1840, date des premières observations bien documentées ; elle est notamment supérieure aux crues de 1840 et 2003. Au titre de la plus forte crue connue, elle constitue donc la « crue de référence » à l'aval de Lyon.

Exemple parfait de crue généralisée, la crue de mai 1856 a affecté l'ensemble du bassin du Rhône, soumis à des pluies océaniques au nord et méditerranéennes au sud ; la concomitance quasi-généralisée des apports des affluents, Isère et Durance en particulier, conduisit à des combinaisons désastreuses. Pardé écrivit ainsi : « la crue de 1856 fut la plus simple et la plus brutale des crues généralisées du Rhône ; [...] par les désastres engendrés, elle compte parmi les plus terribles des cataclysmes qui aient dévasté les rives des fleuves français ».

Crue centennale : déterminée par traitement statistique, une crue centennale présente une probabilité d'être atteinte ou dépassée au moins une fois de 1 % sur 1 an (soit 1 « chance » sur 100) ; sur 100 ans continus, une telle crue présente une probabilité d'occurrence de 63 % (soit quasi 2 « chances » sur 3).

Aléa : phénomène naturel, d'occurrence et d'intensité données. Les inondations se caractérisent par leur nature (de plaine, crues rapides, crues torrentielles, par remontée de nappe...), notamment par leur hauteur d'eau, la vitesse de montée des eaux et du courant, la durée de submersion.

Quel est l'aléa de référence ?

La cartographie de l'aléa est un des éléments de base du PPRI. Elle fournit les limites de la surface inondable pour la crue de référence : en fonction du niveau de gravité de l'aléa, des règles relatives à l'urbanisation et à l'usage des sols peuvent être édictées.

L'aléa de référence du Rhône sera déterminé par une modélisation du débit de la crue de référence (donc selon les secteurs des crues de 1927, 1944 ou 1990 à l'amont de Lyon, et de la crue de 1856 à l'aval de Lyon) aux conditions d'écoulement actuelles.

En effet, les modifications de ces conditions d'écoulement ont été importantes depuis 1856 : évolution du lit mineur (épis Girardon, incision ou exhaussement des fonds, développement des marges boisées), aménagements de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), implantation dans le lit majeur d'infrastructures... Il convient donc maintenant de connaître comment les débits historiques s'écouleraient et quelles inondations ils occasionneraient dans le contexte actuel.

Ce qu'il faut retenir

La crue de référence est la plus forte crue connue, ou si cette crue est plus faible qu'une crue centennale, cette dernière.

Elle est caractérisée notamment par son aléa de référence, qui dans le cas du Rhône est une modélisation du débit de la crue de référence aux conditions actuelles d'écoulement. Selon les secteurs du Rhône, les dates de crue de références sont donc différentes.

Peut-on construire en zone inondable ?

Historiquement, les habitants ont toujours cherché à mettre hors d'eau les constructions en zone inondable ou à permettre le refuge à l'étage, même s'il est sans doute illusoire de proposer une image idéale de la prise en compte du risque d'inondation par le passé.

Les nombreuses maisons détruites ou emportées par les eaux qui figurent dans la presse illustrée lors de la crue du Rhône de 1856 témoignent des limites de ces pratiques vernaculaires.

À Sablons, par exemple, les murs sont en maçonnerie jusqu'à la hauteur des plus hautes crues pour résister à l'eau et au-delà en pisé. Dans les archives, de nombreux récits témoignent des pratiques qui consistaient à monter le bétail à l'étage pour le sauver des eaux, comme l'écrit Armand Landrin en 1880 à propos de la crue de 1856 : «À Tarascon, la salle de spectacle où l'on avait abrité une partie des bestiaux a été envahie à une telle hauteur, qu'on a été obligé de placer aux premières et deuxième loges les porcs, les mulets et les brebis. Les barques chargées de fourrages arrivaient à rames déployées dans le parterre».



Gravure publiée dans *l'illustration* suite à la crue de 1856.

Comment luttait-on contre les inondations au XIX^e siècle ?

Après la crue généralisée du Rhône de 1856, Napoléon III annonce à Pourrières (83) la mise en place d'une politique de «défense du territoire contre l'invasion des eaux». La protection par les digues trouve en effet ses limites : «Aujourd'hui, chacun demande une digue quitte à rejeter l'eau sur son voisin. Or, le système des digues n'est qu'un palliatif ruineux pour l'État [...] car il faudrait toujours élever le niveau de ces digues, les prolonger sans interruption sur les deux rives et les soumettre à une surveillance de tous les instants. [...] Avant de chercher le remède à un mal, il faut en bien étudier la cause».

À l'époque, la cause des inondations est rapportée au déboisement des montagnes qui limite la rétention des eaux de ruissellement. Une vaste politique de restauration des terrains de montagne est donc lancée sur des milliers d'hectares à travers l'action des ingénieurs forestiers (dont George Fabre est une figure

emblématique) à partir de 1860-1870 ainsi que l'aménagement de retenues en amont. Les premiers documents réglementaires en matière d'occupation des sols en zone inondable remontent au début du xx^e siècle. Le Plan des zones inondables prévu par la loi du 28 mai 1858 et approuvé sur le Rhône en 1911 vise à contrôler la construction des digues ; le Plan des surfaces submersibles instauré par la loi du 30 octobre 1935 impose que les constructions nouvelles ne s'opposent pas au libre écoulement des eaux et ne restreignent pas les champs d'expansion de crue. La réglementation vise d'abord le bon fonctionnement hydraulique du fleuve, plus que la prévention du risque à proprement parler.

Comment s'est opérée la maîtrise de l'urbanisation en zone inondable au xx^e siècle ?

En 1955 les articles R111.2 et R111.3 du code de l'urbanisme donnent la possibilité de refuser ou d'imposer des prescriptions « si les constructions, par leur situation ou leurs dimensions, sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique ». La Loi d'orientation foncière de 1967 permet de définir des zones ND non urbanisables pour cause de risque naturel. Mais la maîtrise de l'aménagement dans des zones exposées à un risque naturel n'est véritablement lancée qu'à partir de la loi de 1982 relative à « l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles ». L'idée est de lier la prévention et l'indemnisation : le fond « catastrophe naturelle » financé par une surprime sur l'assurance incendie est constitué en échange de la mise en place de Plan d'expositions aux risques qui imposent aux collectivités des mesures de prévention et de protection. Pour les particuliers, la meilleure indemnisation en cas de catastrophe naturelle doit s'accompagner de contraintes plus strictes sur la constructibilité dans les zones à risques. La loi Barnier de 1995 instaure les Plans de prévention des risques (PPR) qui établissent à l'échelle communale un zonage réglementaire relatif à l'urbanisation : pas de contrainte particulière en zone blanche en l'absence d'aléa, des prescriptions sur les constructions en zone bleue où l'aléa est modéré (en terme de hauteur et de vitesse des eaux) et enfin l'inconstructibilité en zone rouge où l'aléa est fort.

Quelle est la doctrine commune pour l'élaboration des PPRi du Rhône ?

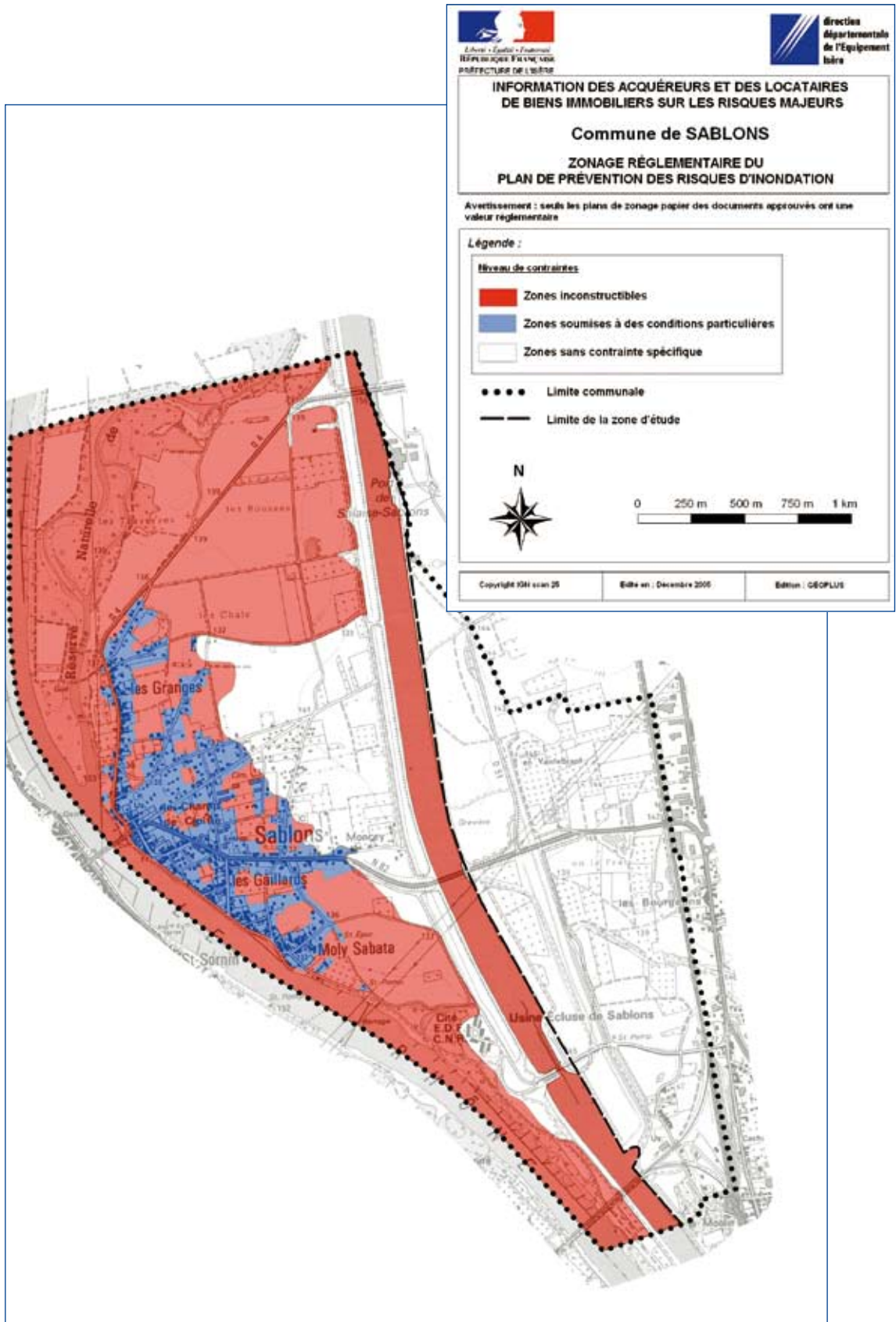
La crue de 2003, qui a causé la mort de sept personnes et qui représente plus d'un milliard d'euros de dommages, témoigne de la vulnérabilité du couloir rhodanien. Pour y répondre, la doctrine commune pour

		Zones urbanisées		Zones peu ou pas urbanisées
		Centre urbains	Autres zones urbanisées	
Espaces inondables	Aléa	Règles d'urbanisation		

Dans l'enveloppe de la crue de référence				
Par submersion, sans ouvrage de protection	Fort			
	Modéré			
Protégés par des digues non résistantes à la crue de référence	Fort			
	Modéré			
Protégés par des digues résistantes à la crue de référence	Bande de sécurité			
	Autres			
Protégés par des digues CNR	Bande de sécurité			
	Autres			

Interdit Possible avec prescriptions (sans prescriptions pour les espaces protégés par des digues CNR) Éventuellement possible avec prescriptions (pour assurer la continuité de vie et le renouvellement urbain, en intégrant la réduction de la vulnérabilité)

Tableau synthétique des règles de constructibilité. Les règles de constructibilité dépendent de la gravité de l'aléa (fort ou modéré), de la nature des espaces considérés (urbanisés ou non urbanisés) et des éventuelles protections contre les inondations (digues ordinaires, digues qualifiées de résistantes à l'aléa de référence, digues de la CNR).



Le PPR de Sablons sur Rhône approuvé en 1997

Les espaces non urbanisés en zone inondable, qualifiés en rouge, sont inconstructibles. Dans les espaces déjà urbanisés en zone inondable, qualifiés en bleu, des constructions peuvent être possibles à condition de respecter une hauteur plancher et de limiter l'emprise au sol.

l'élaboration des PPRi du Rhône décline le cadre réglementaire national dans le contexte rhodanien de manière à ce que les mêmes règles soient appliquées de manière cohérente et équitable sur l'ensemble du fleuve, d'amont en aval, d'une rive à l'autre.

Les PPRi visent à ne pas augmenter les enjeux exposés en zone inondable et à préserver les champs d'expansion des crues. Dans un contexte de fort développement urbain et périurbain, les règles de constructibilité ne résultent pas seulement de l'emprise de la crue de référence mais sont modulées selon le type d'urbanisation des espaces concernés :

- les zones non urbanisées doivent le rester alors que dans les espaces déjà urbanisés, des constructions peuvent être autorisées sous conditions (selon que le projet est exposé à un aléa fort ou modéré, qu'il est en centre urbain ou pas, qu'il intègre des modalités de construction adaptées au risque...);
- les espaces protégés par des digues restent des zones soumises au risque car on ne peut avoir de garantie absolue sur l'efficacité des ouvrages. En conséquence, les espaces non urbanisés derrière les digues doivent le rester. Dans les secteurs déjà urbanisés et dans le respect du principe de limitation de l'extension de l'urbanisation en zone inondable, des constructions peuvent être autorisées sous conditions, en dehors d'une bande de sécurité à l'arrière immédiat des digues.

Pour les espaces protégés par des digues de la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) qui assurent une très haute protection et sont l'objet d'un entretien et d'une surveillance continus, il n'y a pas de contrainte sur la constructibilité sauf pour les établissements publics nécessaires à la gestion de crise. Une bande de sécurité sera cependant conservée en arrière immédiat des digues de la CNR.

La construction de maisons sur pilotis ou l'aménagement de quartiers lacustres ne constituent pas des choix durables dans la mesure où ils augmentent la vulnérabilité des territoires exposés et ne protègent que très relativement la sécurité des personnes qui est davantage mise en jeu dans les déplacements automobiles qu'à l'intérieur de l'habitat.

La prévention des risques repose sur la maîtrise de l'urbanisation en zone inondable et doit s'accompagner d'une réflexion à une échelle intercommunale pour trouver des solutions alternatives.



Rhône en crue à Arles (© F. Eyrolle).

Ce qu'il faut retenir

La crue catastrophique de 1856 marque le début d'une politique générale de lutte contre les inondations qui s'oriente au xx^e siècle vers la prévention par la maîtrise de l'urbanisation en zone inondable.

Aujourd'hui, la doctrine Rhône donne les règles communes de constructibilité pour prendre en compte de manière cohérente et équitable le risque d'inondation dans l'aménagement des territoires.

Quelles sont les mesures préconisées pour réduire le risque ?

Suite aux crues récentes, l'État et les régions, ainsi que tous les acteurs du bassin, se sont engagés dans une politique volontariste de définition et de mise en œuvre d'une stratégie globale de prévention des inondations du Rhône et de ses affluents qui a été validée au niveau national en juillet 2005 : elle constitue le volet « inondations » du Plan Rhône.

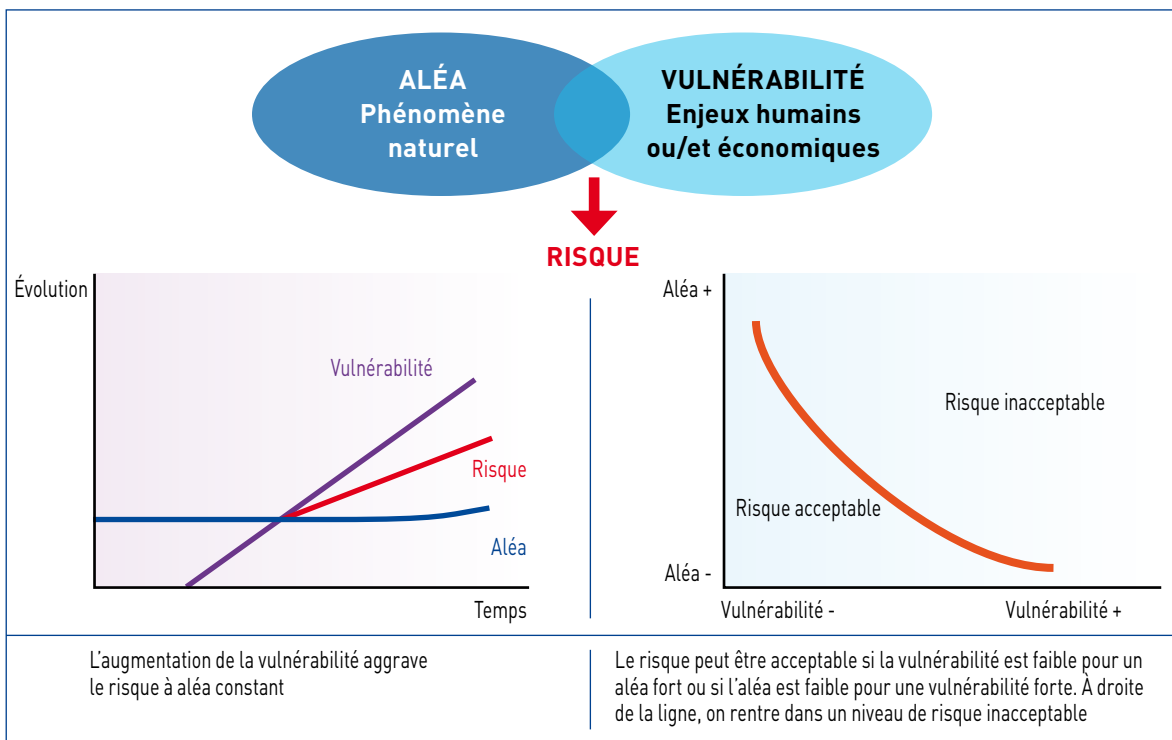
Mais d'abord, qu'entend-on par risque ?

Le risque se définit comme le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité ; plus exactement, il est fonction de l'aléa et de la vulnérabilité (cf. figure ci-dessous).

■ **L'aléa** désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène, il est également fonction de son intensité et de sa durée dans l'espace pris en compte.

■ **La vulnérabilité** s'évalue en fonction des dommages que cet événement peut engendrer, que ce soit sur les populations, les biens (le bâti privé, les bâtiments publics et les équipements tels les réseaux), les activités économiques (industrielles, agricoles, commerciales, artisanales) ou encore sur les ressources naturelles.

Les sociétés modifient donc certains aléas et apprécient différemment leur degré de vulnérabilité au cours du temps. La limite entre risque acceptable et risque inacceptable est donc fictive, floue et évolutive en fonction du temps et des acteurs.



La prévention du risque d'inondation est souvent prioritairement abordée à travers la réduction de l'aléa, c'est-à-dire tous les moyens permettant de favoriser l'écoulement maximum des débits de crue dans le lit du fleuve. Si cette démarche est logique, elle ne suffit cependant pas à protéger les populations. Toute protection, peut un jour ou l'autre être dépassée par une crue plus forte et mettre en danger des populations, ignorantes du risque. Chaque crue importante a ainsi vu se produire des ruptures de digue provoquant parfois des pertes de vies humaines et souvent de lourds dommages matériels.

Pour réduire le risque il faut agir dans trois directions :

- réduire les inondations, en agissant sur le phénomène lui-même ;
- réduire la vulnérabilité des personnes et des biens aux évènements ;
- savoir mieux vivre avec le risque en développant la connaissance et la compréhension des inondations.

Comment réduire les inondations ?

L'Étude globale des crues du Rhône, réalisée en 2002, a démontré qu'une protection totale et systématique tout au long du fleuve n'était possible que pour des gammes de crues modérées.

En cas de crue forte (centennale ou supérieure), elle ne pouvait être garantie : enfermer le Rhône entre des murs aggrave les débits aval et accentue les risques dans les secteurs très urbanisés, en particulier Lyon et Avignon ; pour ces gammes de crues fortes, des déversements par dessus les digues sont inévitables et doivent être organisés.

Il est nécessaire de préserver toutes les zones d'expansion des crues actuelles, de limiter les ruissellements et de coordonner les efforts faits sur le Rhône et ses affluents, afin de retenir le plus d'eau possible à la source. Il faut aussi fiabiliser le système d'endiguement existant en organisant les déversements et diminuer la durée de submersion des terrains inondés en renforçant les capacités de pompage et d'évacuation des eaux et en restaurant les chemins à la mer.



Pompage route de Fontvieille le 13 décembre 2003 (© E. Delahaye).

Comment réduire la vulnérabilité ?

La priorité est de ne pas exposer de nouvelles activités au risque et d'intégrer la problématique des inondations dans l'aménagement du territoire : imaginer le développement en priorité en dehors des zones inondables par exemple sur les piémonts et coteaux, élargir les possibilités par des démarches intercommunales... La maîtrise de l'urbanisation est un levier majeur de la politique de prévention, notamment grâce à l'élaboration de PPRI, qui engage l'État et les collectivités. La société civile et les activités économiques touchées par les inondations sont aussi des acteurs indispensables qui peuvent réduire la sensibilité de leurs biens par des dispositifs individuels : mise en place de batardeaux, surélévation des équipements, création d'un niveau refuge dans les habitations, modification des lieux de stockage...

Savoir mieux vivre avec le risque

Une vigilance accrue des populations, par une meilleure connaissance des phénomènes (cartographie des zones inondables, repères de crue, information des locataires et acquéreurs) et des consignes à prendre en cas de crise, alliée à une amélioration du dispositif de prévision des crues, réduisent notablement le risque.

Plus globalement, c'est la culture du fleuve et la conscience du risque qu'il faut conforter pour généraliser les comportements individuels et collectifs appropriés, en lien avec le Rhône mais pas en l'occultant.

Ce qu'il faut retenir

La contribution de chacun est nécessaire pour réduire le risque : de l'État, qui a l'obligation d'élaborer les règles générales en matière de prévention et d'urbanisme, d'organiser la prévision des crues, au maire qui veille à la sécurité et à l'information des populations jusqu'aux entreprises et particuliers, qui doivent prendre les précautions nécessaires en s'informant, en s'assurant, en se protégeant individuellement et collectivement.

La ZABR – Zone Atelier Bassin du Rhône

Labellisée par le CNRS en 2001, structurée en Groupement d'Intérêt Scientifique depuis 2005, la ZABR rassemble treize établissements de recherche qui s'inscrivent dans une démarche d'aide à la décision publique en matière de gestion durable des cours d'eau et de leurs bassins versants.

Son objectif est de mettre à la disposition des décideurs des méthodes d'évaluation des effets des opérations de réhabilitation sur le fonctionnement des hydrosystèmes aquatiques en terme de biodiversité, de durabilité et d'usages potentiels. L'ensemble des actions de la ZABR est structuré par site et par thème.

Dans ce cadre, elle a trois finalités :

- élaborer et conduire des programmes de recherches pluridisciplinaires avec mise en commun des données acquises ;
- organiser des séminaires d'échanges visant à favoriser le dialogue et la construction des programmes de recherches communs et interdisciplinaires ;
- développer des moyens adéquats permettant la diffusion des résultats et la prise en compte des attentes des utilisateurs potentiels des produits de la recherche.

L'animation de la ZABR est assurée par le GRAIE, Groupe de recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau.

La coordination de l'ouvrage a été réalisée par la ZABR en appui sur toute l'équipe du GRAIE et avec la participation de Christian Guyard, journaliste.

