

**RAPPORT DU GROUPE D'APPUI ET D'EXPERTISE
SCIENTIFIQUE**

**CONSEIL GÉNÉRAL
DES PONTS ET
CHAUSSÉES**

**CONSEIL GÉNÉRAL
DU GÉNIE RURAL,
DES EAUX ET DES
FORÊTS**

**INSPECTION GÉNÉRALE
DE
L'ENVIRONNEMENT**

Affaire n° 2003-0310-01

Affaire IGE/03/069

**MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU
DÉVELOPPEMENT DURABLE**

**LA SÉCURITÉ DES DIGUES DU DELTA DU RHÔNE
POLITIQUE DE CONSTRUCTIBILITÉ DERRIÈRE LES
DIGUES**

DOCUMENT ANNEXE

L'INONDATION DE DECEMBRE 2003 SUR LE BAS-RHONE

RETOUR D'EXPÉRIENCE

Rapport du Groupe d'appui et d'expertise scientifique piloté par Gérard Brugnot

11 juillet 2004

Introduction

A la suite des inondations qui ont affecté la basse vallée du Rhône en décembre 2003, Madame la Ministre de l'Ecologie et du Développement Durable a demandé à Monsieur le Chef de l'Inspection Générale de l'Environnement d'organiser une mission de retour d'expérience. Cette mission, dès lors qu'elle a été constituée, a souhaité bénéficier de l'appui d'une expertise scientifique collective et, à cette fin, a été créé le groupe d'appui et d'expertise scientifique (GAES). Ce dispositif devait permettre de répondre à un certain nombre de questions posées par la mission.

Ce groupe s'est réuni à Lyon le 18 mars et le 9 juin 2004. La première de ces deux journées a permis de préciser la liste des questions et leur formulation. La seconde a travaillé à partir des réponses recueillies et a commencé à esquisser des synthèses. Elle a fonctionné sous forme d'atelier, après avoir bénéficié d'exposés de membres du GAES ayant mené des études sur certains aspects des événements de décembre 2003.

Le document suivant, qui rend compte des travaux du GAES est organisé de la façon suivante¹.

A. [Présentation](#) de la démarche : indique les conditions dans lesquelles cette opération de retour d'expérience "scientifique" a été conçue. Cette partie fournit un certain nombre d'informations sur le GAES, notamment sa méthode de travail et sa [composition](#).

B. Une deuxième partie contient l'ensemble des [réponses](#) aux questions, chaque contributeur étant cité, avec la date de sa contribution.

C. La troisième partie est le document des [synthèses](#), qui s'est efforcé de reproduire les éléments de consensus obtenus. Selon les questions, la synthèse est plus ou moins aboutie. Un effort important a été fait dans le domaine des sciences de l'ingénieur, en l'occurrence la météorologie, l'hydrologie et le génie civil ; dans le domaine des risques en général et de la contribution des sciences sociales en particulier, il reste inachevé.

D. La quatrième partie renvoie à un certain nombre de [documents](#) qui, outre les bibliographies contenue dans le document "réponses aux questions", présentent l'intérêt d'être en clair.

Gérard Brugnot

¹ Compte tenu de la taille du document, on a préféré une navigation de type "hypertexte" au recours à une table des matières.

Présentation de la démarche

Comme il a été exposé dans l'introduction, le Groupe d'Appui et d'Expertise Scientifique a été constitué pour faire fonctionner un dispositif d'expertise de retour d'expérience. Le processus mis en œuvre s'est inspiré du modèle, mis en place par les EPST à la suite de l'Inserm², de l'expertise collective/collégiale, mais un certain nombre de correctifs ont dû être apportés, du fait de la différence des contextes. Nous n'entrerons pas dans les détails des particularités de l'exercice que nous avons conduit, mais il est clair que l'expertise "scientifique" de retour d'expérience est un exercice en voie de construction.

Le GAES a été formé pour répondre à des questions, ce qui est à peu près conforme au modèle des EPST. On rappellera rapidement que ce modèle repose sur le postulat cartésien qu'un problème "complexe", qui ne peut pas donner prise à un traitement scientifique, peut être décomposé en un ensemble de sous-problèmes élémentaires qui, eux, se prêteront à une analyse scientifique. Dans un second temps, il est supposé que l'on pourra "recomposer" les réponses aux sous-questions pour construire une réponse au problème initial. Dans le modèle des EPST, les experts sont choisis à partir d'une démarche documentaire, qui permet de les sélectionner à travers leurs publications, elles-mêmes recherchées sur la base des mots-clés décrivant les sous-problèmes scientifiques.

Dans le cas d'espèce, ce modèle a subi un certain nombre d'adaptation, mais deux principes de base ont été respectés : réponse à des questions co-construites avec le maître d'ouvrage et indépendance des experts, qui assument totalement le texte qui suit.

[Introduction](#)

² Voir l'article de Jeanne Etiemble "L'expertise collective : la réponse de l'Inserm au besoin d'aide à la décision. Nature, Sciences et Société, 2001, vol. 9, n°4, pages 54-61".

Composition du Groupe d'Appui et d'Expertise Scientifique (GAES)

Prénom	Nom	Discipline	Organisme	Adresse	e-mail	Téléphone
Marcel	Basso	Génie Civil	CETE Méditerranée	107, rue Albert Einstein 13290 Aix-en-Provence	marcel.basso@equipement.gouv.fr	04.42.24.71.46
Philippe	Bois	Hydrologie	LTHE		philippe.bois@hmg.inpg.fr	04 76 82 50 54
Bernard	Chastan	Hydraulique	Cemagref Lyon	3 bis, quai Chauveau CP 220 69336 Lyon Cedex09	bernard.chastan@cemagref.fr	04 76 20 87 62
Denis	Cœur	Histoire	UPMFG	36, rue Bizanet 38000 Grenoble	Denis.Coeur@wanadoo.fr	04 76 63 04 28
Jacqueline	Domenach	Droit	Paris X		jdomenac@u-paris10.fr	01 40 97 74 85
Daniel	Duband	Hydrologie	SHF	6 chemin Croix Gorge 38120 Saint-Egrève	daniel.duband@wanadoo.fr	04 76 75 87 39 01 42 50 91 03
Jean-Michel	Grésillon	Hydrologie	Cemagref Lyon	3 bis, quai Chauveau CP 220 69336 Lyon Cedex09	jean-michel.gresillon@cemagref.fr	04 72 20 87 77
Anne	Honegger	Géographie	U. Montpellier 3 CNRS-MTE	Route de Mende 34090 Montpellier	honegger@club-internet.fr	04 67 14 24 43
Jean-Pierre	Jordan	Hydraulique	OFEG/BWG	Biel/Bienne Suisse	jean-pierre.jordan@bwg.admin.ch	41 (0)32 328 87 76
Franca	Maraga	Géologue	IRPI	CNR-IRPI	F.Maraga@irpi.to.cnr.it	+390113977250
Eric	Martin	Météorologie	Météo France		Eric.Martin@meteo.fr	04 76 63 79 01
Erik	Mosselman	Génie Civil	Université de Delft & WL Delft Hydraulics	B.P. 177 NL 2600 MH Delft	Erik.Mosselman@wldelft.nl	+31 15 285 8569
Luc	Neppel	Hydrologie	Maison des sciences de l'eau Laboratoire Hydrosiences	300 avenue Emile Jeanbrau 34095 Montpellier	neppel@msem.univ-montp2.fr	04 67 14 90 69 Fax 04 67 14 47 74
André	Paquier	Hydraulique	Cemagref Lyon	3 bis, quai Chauveau CP 220 69336 Lyon Cedex09	andre.paquier@cemagref.fr	04 72 20 87 75
Bernard	Picon	Géographie	CNRS Desmid	1 rue Parmentier 13200 Arles	bpicon@wanadoo.fr	04 90 93 86 66 04 90 96 07 99
Paul	Royet	Génie Civil	Cemagref	3275 route Cézanne BP 31 Le Tholonet 13612 Aix-en-Provence Cedex1	paul.royet@cemagref.fr	04 42 66 99 35
Domenico	Tropeano	Hydrologie	IRPI	CNR-IRPI	tropeano@irpi.to.cnr.it	+39011343428
Gérard	Brugnot	Animateur de l'expertise collective	Cemagref	BP 76 38402 Saint-Martin d'Hères	gerard.brugnot@cemagref.fr	04 76 76 27 11 06 07 29 36 42

[Introduction](#)

Réponses aux questions posées³

1er thème. L'événement

Q11. De quelles données dispose-t-on sur l'événement de décembre 2003 ?	Q11
Q12 Quelle est leur fiabilité ?	Q12
Q13 A partir de ces données, quel événement peut-on reconstituer ?	Q13
Q14 Quelles études complémentaires seraient nécessaires pour améliorer la qualité de cette reconstitution ?	Q14

2^{ème} thème : Le recalage par rapport à d'autres événements

Q21 Comment cet événement se situe-t-il sur le plan historique ?	Q21
Q22 Est-il possible de lui affecter une probabilité ?	Q22
Q23 Quelle analyse juridique peut-on en déduire ?	Q23
Q24 Quels rapprochement peut-on faire avec des événements extrêmes affectant des territoires "comparables" (delta du Pô, Rhin etc.) ?	Q24

3^{ème} thème : Le fonctionnement hydraulique du bassin concerné

Q31 : Dans ce domaine, quelle évaluation peut-on faire de l'incidence des aménagements hydrauliques depuis 1840, en liaison avec l'évolution économique et sociale, notamment de la Camargue ?	Q31
Q32 : Quelles sont les modélisations actuellement utilisées pour représenter le fonctionnement hydraulique du bassin concerné ?	Q32
Q33 : Comment fonctionnent les aménagements dans le cas de crues extrêmes ?	Q33
Q34 : Quel est le rôle de la dynamique fluviale et comment est-elle prise en compte dans l'étude du fonctionnement du bas Rhône et de ses affluents ?	Q34

4^{ème} thème : Les scénarios de réduction du risque du Rhône aval

Q41 : Quels sont les risques pour ces enjeux ?	Q41
Q42 : Quelles sont les possibilités de réduction de ces risques e.g. ralentissement et stockage d'eau de crue?	Q42
Q43 Quelles sont les procédures de négociation qui permettraient de mettre au point ces dispositions ?	Q43
Q44 : Sur quels outils juridiques est il possible de s'appuyer pour les mettre en œuvre ?	Q44

Retour au début du document..... [Introduction](#)

³ On peut accéder à une question en cliquant sur la référence correspondante.

Q11 De quelles données dispose-t-on sur l'événement de décembre 2003 ?

Nom, date	Texte
D.Tropeano 0504	<p>Concernant le Piémont, les pluies des 3 décembre 2003 n'ont guère atteint des niveaux comparables à ceux qui ont provoqué les grandes inondations auxquelles notre région a été soumise historiquement, ainsi que dans le récent passé (septembre 1993, novembre 1994, octobre 2000).</p> <p>Le réseau météo et pluviométrique officiel du Servizio Idrografico Italiano a terminé son existence mais les données pluviométriques sont régulièrement recueillies par le réseau régional de l'ARPA Piemonte (Agence Régionale pour l'Environnement).</p> <p>Des crues des cours d'eau se sont quand même produites, en particulier dans le sud du Piémont (Rivière du Bormida, notamment la branche de Spigno qui a son origine en Ligurie; Fleuve du Tanaro aux alentours d'Alexandrie) et dans la banlieue de la ville de Turin (notamment le Torrent de Chisola).</p> <p>De toutes façons les eaux, bien que sorties de leur lit de crue ordinaire n'ont guère provoqué de dommages, sauf l'inondation des terrains riverains destinés à l'usage agricole.</p>
M.Basso 06/06	<p>Les procédures d'aides financières constituent une bonne source d'information. Ainsi, pour les dégâts aux digues, les recensements faits, pour le compte de la DIREN de bassin, à partir des déclarations des services de police de l'eau, par le Cemagref et le CETE, constituent une source exhaustive.</p>

Bibliographie

Tropeano D., Turconi L. (2003): Piena dei corsi d'acqua (2-4 dicembre 2003) nel Piemonte sud-occidentale. *Rapporto di sintesi RI 2003, CNR-IRPI, Torino*. Ce rapport a été envoyé à tous les membres du GAES.

[réponses](#)

Q12 : Quelle est la fiabilité de ces données ?

Nom, date	Texte
D.Tropeano, 0504	Les données de pluie, ainsi que celles issues des limnigraphes sont réputées assez fiables, grâce à l'entretien régulier auxquels ils sont soumis (se reporter à la réponse à Q11)
P.Royet, 0406	<p>La question du débit de pointe à Beaucaire de la crue de décembre 2003 est bien sûr liée à la fiabilité de la courbe de tarage de la station hydrométrique. Sur ce point, on ne peut qu'attendre les données que fournira CNR qui, semble-t-il, aurait fait deux jaugeages, l'un à la montée de la crue et l'autre à la décrue. On pourra ainsi avoir une idée de la non univocité de la courbe de tarage aux forts débits.</p> <p>Cependant, ce point n'est probablement pas primordial pour l'estimation de la période de retour à affecter à ce débit de pointe. En effet, si les jaugeages de décembre 2003 amenaient à diminuer le débit (initialement annoncé à plus de 13 000 m³/s), il faudrait aussi très probablement diminuer aussi les débits de pointe des autres crues récentes (à moins que la courbe de tarage utilisée jusqu'en décembre 2003 ne s'avère fausse que pour les débits supérieurs à 11 000 m³/s...). La relation débit/fréquence serait décalée légèrement vers le bas, sans modifier significativement les périodes de retour affectées aux divers événements.</p> <p>Par ailleurs, la courbe débit/fréquence doit bien sûr aussi être revue à la lumière de la contribution de D. Cœur à Q21</p>

Bibliographie

D. Tropeano-L. Turconi (2003): Piena dei corsi d'acqua (2-4 dicembre 2003) nel Piemonte sud-occidentale. *Rapporto di sintesi RI 2003, CNR-IRPI, Torino*. Ce rapport a été envoyé à tous les membres du GAES.

[réponses](#)

Q14 : Quelles études complémentaires seraient nécessaires pour améliorer la qualité de cette reconstitution ?

Nom, date	Texte
Royet, 04/06	Aux réserves près sur la courbe de tarage du Rhône à Beaucaire (et peut-être d'autres qui seraient à vérifier), on dispose de données d'hydrogrammes en différents points sur le Rhône ainsi que sur pratiquement tous les principaux affluents. Après vérification, il reste à faire une exploitation de ces données avec toute la rigueur scientifique voulue, pour aboutir à une monographie la plus complète possible de cette crue, qui constituerait une référence pour des études ultérieures. L'équipe technique Rhône est probablement la mieux placée pour assurer la maîtrise d'œuvre d'une telle étude.
Basso 06/06	Il convient pour le moins en effet de lever les contradictions entre les faits constatés et l'étude globale Rhône qui prévoyait notamment pour cet ordre de grandeur de débit des déversements sur le remblais ferroviaire rive gauche entre Arles et Tarascon et en rive droite entre Beaucaire et Fourques.

[réponses](#)

Q 21 Comment cet événement se situe-t-il sur le plan historique ?

Nom, date	Texte
D.Tropeano, 05/04	Depuis 1990, l'IRPI-CNR de Turin surveille, parmi autres, la Bormida de Spigno (site de jaugeage de Ponti) et la Bormida "réunie" (site de Rivalta). La pointe de crue des 3 décembre se situe à la deuxième place dans la période d'observation, dont le niveau maximal a été dépassé une seule fois (+1.50 m environ) pendant la grande crue des 5-6 novembre 1994.
D. Cœur, 10/05	<p>Une rapide relecture de la bibliographie et documentation existantes sur l'histoire des crues du Rhône (M. Pardé, M. Champion), des contacts avec des historiens locaux, quelques sondages en archives, permettent un premier repositionnement de l'événement de 2003 parmi ceux survenus au cours des deux derniers siècles et même au delà sur le bas Rhône. A ce propos, nous souhaitons faire deux remarques par rapport à l'analyse historique menée dans l'Etude Globale Rhône (SAFEGE, XI-2000). Tout d'abord, la liste des 21 événements présentée dans le rapport général comme "les principales crues du Rhône depuis le XIXe siècle" (7.2, p. 84), est nettement lacunaire pour le secteur qui nous intéresse. Si l'on ne retient que les événements supérieurs à 8500 m³/s. à Beaucaire par exemple, il faut rajouter, entre 1840 et 1920, au moins 6 épisodes : octobre 1841, novembre 1843 avec un événement tout à fait extraordinaire sur la Durance (5500/6000 m³/s), mars 1872, octobre 1872, janvier 1889 et encore décembre 1910. Entre 1801 et 1840, ce sont encore 6 autres crues comprises entre 6500 et 8000 m³/s qui ont affecté durement le secteur : novembre 1801, mai 1810, mai 1811, novembre 1825, octobre 1827 et octobre 1846.</p> <p>Si l'on estime ensuite que l'événement de décembre 2003 a écoulé entre 11000 et 12000 m³/s à Beaucaire – ce qui reste à préciser -, cet épisode rejoindrait, à l'échelle historique des deux derniers siècles, le groupe très réduit des crues qui ont approché ou dépassé les 10 000 m³/s à Beaucaire à savoir : novembre 1886 (à préciser), novembre 1935, octobre 1993, novembre et septembre 2002 (à préciser), janvier 1994, mai 1856 et novembre 1840. A propos de ce dernier événement, une erreur sur l'estimation du débit maximum écoulé à Beaucaire s'est vraisemblablement glissée dans la présentation faite par SAFEGE. Elle annonce 9000 m³/s (annexe 6, p. 5) alors que toutes les analyses ou témoignages s'accordent pour la situer au-delà de 12000 m³/s, peut être 13 000 (M. Pardé retient 12500 / 13000 m³/s).</p> <p>Par ailleurs, pour apprécier la réalité historique du retour de tels phénomènes hydrométéorologiques, il nous semble nécessaire de chercher à élargir la fenêtre chronologique au delà des 150 ou 200 dernières années, même si les informations récupérées par l'enquête historique n'auront pas la précision technique des données instrumentées des XIXe et XXe siècles. Le contexte de la basse vallée du Rhône le permet. Une recherche rapide a permis de repérer au moins six autres événements majeurs sur le secteur au cours de la période 1500-1800, éléments que nous livrons de manière un peu brute et qui mériteraient une analyse critique plus poussée : novembre 1529, novembre 1548 (ou 1544), août 1580, novembre 1674, mars 1711, fin novembre-début décembre 1755. Soulignons que ce dernier épisode, pour lequel nous disposons d'une documentation fournie, a dépassé les 7.20 m à Avignon. Il est resté l'événement de référence dans le secteur avec celui de 1674 et un autre de la première moitié du XVe siècle</p>

	(novembre 1433) avant celui de 1840.
Bernard Picon, 11/05	<p>Sur le plan historique, et pour remonter au-delà du XIXe siècle, on peut évoquer l'article d'Emile Fassin dans la revue sextienne du 15 mai 1891 intitulé "années calamiteuses de l'histoire d'Arles". D'après les archives du grand prieuré de St Gilles (ordre de Malte), on peut relever en Camargue 36 ruptures de digues avec inondations entre 1603 et 1790 : 1636, 37, 47, 51, 53, 57, 58, 60, 74, 79, 88, 94, 97, 1702, 1705, 1706, 1708, 1709, 1710, 1711, 1712, 1713, 1714, 1719, 1720, 1721, 1726, 1729, 1742, 1745, 1748, 1749, 1754, 1755, 1760, 1763, 1765, 1774, 1790.</p> <p>Les plus désastreuses et étendues furent d'après Gérard Gangneux (l'ordre de Malte en Camargue – Lacour 1996) celles d'octobre 1636, octobre 1637, novembre 1651, novembre 1674, 1694, 1705.</p> <p>D'après les spécialistes, cette succession d'épisodes est à attribuer aux conséquences du petit âge glaciaire.</p>
Paul Royet, 04/06	<p>Attention, dans la comparaison des événements historiques sur la Camargue, à bien prendre en compte le fait que le système d'endiguement a été très sérieusement renforcé pendant les années 1860, avec un rehaussement général des digues (de l'ordre du mètre). Idem en amont d'Arles, avec la construction de la ligne PLM qui a été implantée plus ou moins sur le tracé de digues anciennes nettement moins hautes que le remblai de la voie ferrée qui les a remplacées ; dans ce secteur, la ligne PLM a été construite entre les crues de 1840 et de 1856.</p>
D. Cœur, 1-06-04	<p>Selon M. Pardé, les débits maxima de 1856 furent égaux ou légèrement supérieurs à ceux de 1840 à l'aval de la confluence de la Drôme (<i>Régime du Rhône</i>, II, 366). La supériorité des cotes de 1856 sur celles de 1840 serait due au resserrement du chenal suite aux travaux entrepris dans les années 1840-1850. A noter, qu'en 1856 les ruptures de digues ont permis d'abaisser de 0,5 à 1 m les lignes d'eau enregistrées dans la partie aval du fleuve et ainsi diminué la gravité de l'inondation dans la plupart des centres urbains.</p> <p>A ce propos, et cela renvoie plus particulièrement à la Q43, les données historiques disponibles sur l'événement de 1856, permettraient d'envisager aujourd'hui la mise en valeur d'un grand nombre de repères de crue identifiés avec précision à l'époque tout le long de la vallée du Rhône, notamment dans sa partie aval. Cette valorisation pourrait intégrer le volet communication d'une procédure de négociation. Elle répond en même temps aux obligations de l'art. 42 de la loi du 30 juillet 2003.</p>
D. Cœur, 4/06	<p>En ce qui concerne la comparaison et le positionnement de l'événement de décembre 2003 par rapport à la famille d'événements comparables survenus au cours des siècles passés, l'expertise souligne la très grande difficulté qu'il y a aujourd'hui à mobiliser les données historiques, qu'elles émanent de travaux de synthèse anciens ayant donné lieu ou non à des publications, ou de sources originales conservées dans les fonds d'archives publiques, dans les bibliothèques, etc., ou encore dans les services des administrations ou établissements publics ou assimilés. D'une manière générale, les données historiques sur les inondations sont nombreuses, voire très nombreuses pour les deux siècles et demi passés (parfois bien au-delà) pour l'ensemble des grands cours d'eau français. L'ouvrage de M. Champion en rend bien compte. Les raisons à l'origine de cette sous mobilisation sont multiples. Je crois que la principale tient à la suspicion qui pèse sur cette information. Pour aller vite, elle serait, pour les ingénieurs, entachée d'une série de biais a priori inconciliables avec la démarche scientifique & technique. Sur le plan technique, les</p>

	<p>recherches récentes menées en France par le Cemagref (programmes <i>Historique</i> et SPHERE) ont permis de faire un premier état des lieux et d'avancer dans la proposition de méthodologies de collecte critique des données. Nous nous permettons de renvoyer à ce sujet à un certain nombre de travaux et publications auxquels nous avons participé (voir Bibliographie).</p> <p>Il apparaît aussi clairement que, au-delà des compétences et des outils de recherche, manque aujourd'hui en France, sur cet objet spécifique de la mise à disposition et du partage de l'information historique des crues et inondations, une compétence à caractère administrative et technique, qui assure l'interface entre les utilisateurs de ces données, qui ne se limitent pas aux scientifiques, gestionnaires ou techniciens (cf. travail sur le développement de la conscience du risque avancé par la loi du 30 juillet 2003), et les "détenteurs-producteurs" de ces mêmes données qu'elles soient très anciennes (archives) ou plus récentes. L'expertise menée sur le Bas-Rhône a de ce point de vue clairement souligné les difficultés qu'il y avait aussi à rassembler les données relatives à des événements majeurs récents (cf. crues de 1993, 1994). Dans cette perspective, une démarche associant mobilisation de l'information historique ancienne et retour d'expérience sur les événements récents semble, à moyen terme, le gage d'une réponse efficace à la question de la maîtrise de l'information. De ce point de vue, la démarche de nos collègues italiens de l'IRPI-Turin, nous semble fort instructive.</p>
Eric Martin	<p>Vous trouverez ci-joint suite à notre réunion du 9 juin le site allemand fournissant les types de temps sur l'Europe de 1881 à 1998. Un article décrit les types de temps (avec un exemple de carte), et un fichier est téléchargeable et fournit les types de temps quotidiens. Je n'ai pas eu le temps de regarder en détail le site, ni d'estimer l'apport de cette étude pour la pluviométrie du bassin du Rhône. Il faudrait regarder en particulier regarder si les types de temps associés aux fortes pluviométries sur le Rhône ne sont pas "noyés dans la masse". Si ce n'est pas le cas cela pourrait apporter de l'information sur l'analyse des crues anciennes du Rhône. Il n'y a pas d'accès direct aux cartes de pression sol. Voici l'adresse du site :</p> <p>http://www.pik-potsdam.de/~u Werner/gwl/ <http://www.pik-potsdam.de/~u Werner/gwl/></p>

Bibliographie

Achard, P., *Note chronologique sur les différentes inondations dont la ville d'Avignon et les lieux environnants ont eu à souffrir*, Avignon, 1873.

Barriendos M., Cœur D. [2004] - Flood data reconstruction in Historical times from non-instrumental sources in Spain and France, *Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation – Methodological Guidelines*, Madrid, Centro de Ciencias Medioambientales, Edited by G. Bénito & V. R. Thorndycraft, 29-42.

Champion M., *Les inondations en France du VI^e siècle à nos jours ...*, Paris, Dalmont & Dunod, 1858-1864, 6 vol.

Cœur D., Lang M. [2002] - L'enquête en archives et la connaissance des inondations, in *Avalanches et risques. Regards croisés d'ingénieurs et d'historiens*, actes du séminaire du programme « Histoval » (Grenoble, 16 septembre 1999), Cemagref-Université Pierre Mendès France (CRHIPA/HESOP), Grenoble, MSH-Alpes, 133-144.

Cœur D., Lang M., Paquier A. [2002] – L'historien, l'hydraulicien et l'hydrologue et la connaissance des inondations, *La Houille Blanche* –

Revue Internationale de l'Eau, n°4/5, 61-66.

Lang M., Cœur D., Brochot S., Naulet R. [2003] – *Information historique et ingénierie des risques naturels : l'Isère et le torrent du Manival*, Antony, Cemagref Editions, Collection « Etudes », Gestion des milieux aquatiques, n°18, 180 p.

Pardé M., *Le régime du Rhône et de ses affluents ; étude hydrologique : I-Etude générale, II-La genèse des crues*, Lyon, Librairie P. Masson, 1925.

Pichard G., *Espaces et nature en Provence : l'environnement rural 1540-1789*, Thèse d'histoire, Université d'Aix-Marseille, 1999, 1800 p.

Pichard, G., Les crues sur le bas Rhône de 1500 à nos jours. Pour une histoire hydroclimatique, *Méditerranée*, 3-4, 1995, pp. 105-116

[réponses](#)

Q22 Est-il possible de lui affecter une probabilité?

Nom, date	Texte
J.P.Jordan, 14/05	<p>L'affectation d'une probabilité ou d'une période de retour à la crue va dépendre de la longueur de la série historique prise en compte. Pratiquement systématiquement, il est constaté que lorsqu'on utilise les données historiques du dernier millénaire, la fréquence d'apparition d'une crue est beaucoup plus grande de celle fournie par l'analyse statistique des cent dernières années. Mais, il est souvent difficile d'introduire les crues historiques dans l'analyse statistique en raison des incertitudes sur les débits estimés, notamment à cause des modifications morphologiques du fleuve.</p> <p>Je ne sais pas si cela a été fait, mais l'analyse statistique des valeurs observées doit être effectuée en calculant un intervalle de confiance (seuil généralement admis de 80 ou 90%). Cela permet alors de vérifier qu'en intégrant les crues historiques anciennes, on se situe toujours dans l'intervalle de confiance. Les niveaux de protection devraient être définis compte tenu du seuil supérieur de l'intervalle de confiance. Ce qui permet à mon avis de faire face également aux effets éventuels d'un changement climatique.</p>

[réponses](#)

Q23 Quelle analyse juridique peut-on en déduire ?

Nom, date	Texte
Domenach Jacqueline (cf. Rex Gard, question 5)	<p>Question : Y a-t-il eu des cas de force majeure ?</p> <p>Principe : la force majeure est une cause d'exonération de la responsabilité. Sa qualification résulte de l'appréciation faite par le juge des événements (juge administratif ou juge judiciaire).</p> <p>Conditions : pour qu'un événement soit qualifié de cas de force majeure, le juge exige la réunion de trois conditions : extériorité, irrésistibilité et imprévisibilité.</p> <p>Les inondations à l'origine de conséquences catastrophiques sont souvent le fait de conditions météorologiques exceptionnelles, de pluies d'une extrême violence et de longue durée. Mais de telles caractéristiques, si elles peuvent jouer sur le caractère irrésistible de l'événement sont loin de suffire pour qualifier une situation d'imprévisible.</p> <p>La qualification de force majeure au niveau du juge :</p> <p>L'appréciation de la force majeure est une appréciation <i>in concreto</i> et il est donc difficile de mettre en évidence des solutions générales et de dégager des critères a priori. Les caractéristiques liées à l'inondation, telles que sa violence, son caractère exceptionnel peuvent servir surtout à démontrer le caractère irrésistible de l'événement et attester que les mesures de prévention quant aux conséquences de l'événement ont été adoptées.</p> <p>Par contre, ces caractéristiques sont rarement retenues pour l'appréciation du caractère imprévisible de l'événement. L'imprévisibilité se rattache moins aux caractéristiques de la situation qu'au fait que le contexte ne pouvait laisser prévoir la catastrophe. La condition d'imprévisibilité n'est jamais réunie lorsque des événements semblables se sont déjà produits, même dans un temps éloigné ou que les conditions concrètes pouvaient laisser augurer du risque.</p> <p>Aussi, en matière d'inondation les cas de force majeure sont qualifiés de moins en moins fréquemment.</p> <p>Analyse des deux hypothèses dans lesquelles l'imprévisibilité n'est pas retenue :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>L'existence de précédents</i> <p>Pour apprécier si l'événement était imprévisible, le juge utilise la technique du précédent, sans préciser la durée qui de fait peut être très longue : CAA de Lyon, Buisson et autres. L'imprévisibilité tend à se confondre avec l'événement sans précédent. Aussi du fait des antécédents, il est de plus en plus difficile d'établir que la condition d'imprévisibilité existe. Dès lors qu'un phénomène naturel est susceptible de se produire parce qu'il s'est déjà produit, il n'est pas imprévisible et son intensité ne l'est pas davantage. Dans l'affaire du Grand-Bornand, les précédents ont été analysés entre 1733 et 1936. La violence à elle seule ne peut justifier l'imprévisibilité, dès lors que des inondations se sont déjà produites dans le passé. D'où l'importance des données</p>

connues scientifiquement.

- *L'analyse de la situation dans une période et non pas seulement dans le cadre d'un événement circonscrit.*

L'événement en lui-même peut présenter un caractère exceptionnel, mais les circonstances dans lesquelles il est survenu pouvait montrer que des mesures de précaution s'imposaient : exemple, les terrains étaient déjà gorgés d'eau et ce fait pouvait laisser prévoir une catastrophe. Ainsi, ce n'est pas l'événement en lui-même qui est analysé, mais les conséquences prévisibles du fait de l'événement. Telle est la solution retenue dans l'affaire du Grand-Bornand. Alors que le TA de Grenoble avait rejeté les demandes des victimes en estimant que la crue revêtait les caractéristiques d'un événement de force majeure, la CAA de Lyon a rejeté ce raisonnement en soulignant que les sols étaient gorgés d'eau et que par conséquent le danger était prévisible. En l'espèce, un orage d'une rare violence d'était abattu sur la chaîne des Aravis le 14 juillet 1987, créant une catastrophe importante tant pour les personnes que pour les biens. Mais la CAA de Lyon pour analyser la question de l'imprévisibilité ne se limite pas à l'analyse de l'événement du 14 juillet, mais à la situation avant l'orage et en particulier au fait que des pluies abondantes étaient tombées en juin qui avaient totalement saturé les sols en eau. **Par conséquent, les autorités compétentes doivent tenir compte, pour agir, de l'ensemble du contexte et non pas seulement de l'événement qui s'est produit dans un temps très court.** Cette mise en relation entre un événement exceptionnel et la situation de pluviosité dans un temps plus long tend à réduire encore la qualification du cas de force majeure, comme cause exonératoire de responsabilité, au regard notamment de l'obligation de sécurité qui s'impose aux autorités locales (*conc. Lucienne Erstein, sur CAA Lyon, Le Grand-Bornand, Droit administratif, juillet 1997, p. 7*). Une telle exigence est devenue d'autant plus importante que s'applique le principe de précaution.

La force majeure existe-t-elle en matière d'inondation ?

Loin d'être inutile, cette question est devenue importante en matière d'inondation. Il est clair que **dès lors qu'un événement s'est déjà produit antérieurement dans un lieu donné, l'événement ne sera pas qualifié d'imprévisible et cela même s'il s'est produit longtemps auparavant. De plus, les autorités compétentes doivent prendre en compte la situation générale et en particulier la pluviosité sur plusieurs jours et assumer leur responsabilité, sans que l'événement lui-même puisse venir les exonérer de leur responsabilité.**

Le juge ne retiendra donc le cas de force majeure que dans deux hypothèses :

Un tel événement ne s'est jamais produit auparavant dans le lieu concerné

La réunion de circonstances particulières est constitutive d'un cas de force majeure : CE 27 mars 1987, Société des grands travaux de Marseille : « Considérant qu'il résulte de l'instruction et notamment du rapport d'expertise, que l'inondation dont les propriétaires des zones maraîchères ont été victimes est exclusivement imputable à la conjonction exceptionnelle d'une pluviosité d'une extrême gravité, d'une crue importante de la Garonne et d'une marée particulièrement forte, conjonction qui doit être assimilée à un cas de force majeure ». C'est donc davantage la conjonction d'événements qui est susceptible de révéler un cas de force majeure que la survenance d'un seul événement.

Q24 : Quels rapprochement peut-on faire avec des événements extrêmes affectant des territoires "comparables" (delta du Pô, Rhin etc.) ?

Nom, date	Texte
J.P.Jordan, 14.5.04	Il me paraît essentiel que la réflexion sur le Rhône intègre les enseignements tirés des événements d'Europe centrale de 2002. En particulier, la possibilité d'avoir des crues qui dépassent largement tout ce qui a pu être observé par le passé. Le dispositif d'intervention d'urgence, notamment, doit pouvoir intégrer de tels événements.
F.Maraga, 07.06.04	L'analyse de comparaison des effets produits par les événements extrêmes sur des situations différentes par l'évolution morphologique et sédimentaire du delta porte à la définition de scénarios représentatifs de la vulnérabilité des territoires. Sur le long temps d'aménagement avec les digues il est aussi possible d'évaluer la récurrence des causes de rupture, soit par submersion, soit par érosion de berge, soit par siphonnement. Voir aussi le site Internet de l'Autorité de Bassin du Pô www.adbpo.it .

[réponses](#)

Q31 : Dans ce domaine, quelle évaluation peut-on faire de l'incidence des aménagements hydrauliques depuis 1840, en liaison avec l'évolution économique et sociale, notamment de la Camargue ?

Nom, date	Texte
Bernard Picon, 11/05	<p><i>Incidence des aménagements hydrauliques en liaison avec l'évolution économique et sociale de la Camargue.</i></p> <p>Mise en place d'un système "socio-hydrologique" particulier</p> <p>Les sociétés humaines ont toujours cherché à exploiter les alluvions du delta du Rhône. Elles ont commencé par s'endiguer parce qu'en terre basse, chaque année, le fleuve inondait la plaine et empêchait d'y habiter en permanence. Le premier travail humain a donc été l'endiguement. Ensuite, les hommes se sont retrouvés confrontés à un deuxième problème, celui de la salinité des sols.</p> <p>Les nappes phréatiques sont salées puisque les alluvions ont gagné sur la mer et que des masses considérables d'eau de mer sont restées captives dans le sous-sol. Ces nappes sont réapprovisionnées par la mer. La région est caractérisée par un déficit hydrique de 500 mm. Il tombe du ciel moins d'eau qu'il ne s'en évapore. Donc, l'eau des nappes remonte à la surface des sols ainsi que le sel qu'elle contient et salinise les sols de surface. Il a fallu, après avoir endigué, recréer artificiellement le mécanisme naturel des inondations pour dessaler les sols de surface.</p> <p>Les inondations du Rhône avaient un effet bénéfique parce que l'eau douce amenée par le fleuve dessalait les sols. A partir du moment où l'endiguement a été complet, ce dessalement ne se produisait plus. Progressivement et surtout au 19^{ème} siècle, grâce à l'invention de la machine à vapeur, des pompes ont été installées au bord des deux bras du Rhône pour introduire l'eau douce qui faisait défaut à l'agriculture. Il y a aujourd'hui environ 80 stations de pompage électrique qui introduisent dans le delta 400 millions de m³ d'eau douce par an qui sont répandus sur les sols pour les dessaler. Pour rentabiliser ces entrées d'eau, on cultive essentiellement du riz.</p> <p>La superficie des exploitations agricoles oscille entre 200 et 2000 hectares. Cette structure foncière exceptionnelle s'explique par les contraintes de la mise en valeur du milieu. Une petite paysannerie locale n'aurait jamais pu consentir à des frais aussi considérables pour la mise en valeur de cette région. Des capitaux accumulés ailleurs que dans l'agriculture se sont investis dans ce territoire et, avec leur aide, on a endigué et construit des milliers de kilomètres de canaux d'irrigation et de drainage. A la fin du 19^{ème} siècle, l'industrie salinière, qui est aujourd'hui la Compagnie des Salins du Midi et des Salines de l'Est, s'installe dans le sud est du delta pour produire du sel à usage industriel. Dans ce delta, se trouve le plus grand salin d'Europe en production : 1 million de tonnes par an, sur une superficie de 15 000 hectares.</p> <p>Le paradoxe du delta – Un décalage symbolique</p> <p>A la fin du 19^{ème} siècle, un conflit d'usage de l'eau éclate entre les agriculteurs qui adoucissaient l'eau et renvoyaient de l'eau</p>

douce dans les étangs centraux par drainage et l'industrie salinière qui utilisait ces étangs pour la concentration du sel. Un procès, dont les clauses n'ont jamais été respectées par les parties, en a découlé. Agriculteurs et saliniers ont trouvé tout à fait raisonnable de se créer une zone "démilitarisée", une zone tampon entre milieu doux et milieu salé, en confiant ces étangs centraux à la Société Nationale d'Acclimatation de France, qui est aujourd'hui la Société Nationale de la Protection de la Nature.

Ainsi le territoire est maintenant divisé en zones agricoles irriguées qui dessalinisent les sols du Nord, de l'Ouest et de l'Est du delta ; au sud, une industrie salinière qui salinise au maximum les sols et au centre du delta, une réserve intégrale de nature de 15 000 hectares, la plus grande réserve de France, dont les milieux saumâtres, biologiquement très productifs donnent à la Camargue l'image surfaite de milieu naturel. En effet, ces milieux sont artificiellement approvisionnés en eau. Ainsi, la création de la réserve de Camargue a déteint sur la façon dont notre société aujourd'hui, y compris les représentants des politiques publiques et des services de l'Etat, se représente le delta du Rhône, c'est-à-dire comme un espace naturel. Pour l'exemple, je peux citer une phrase éditée par le Parc Naturel Régional de Camargue qui date de 1992, à l'occasion de la publication d'une carte d'occupation du sol. Cette carte présente des milieux saliniers, des milieux agricoles, des milieux urbains et une réserve nationale et paradoxalement, le prospectus nous dit : "*La Camargue, delta du Rhône, est un haut lieu de nature, c'est actuellement le dernier grand espace naturel intact de toute la côte méditerranéenne*". Ainsi, les représentations ne sont pas absentes des politiques publiques et le Ministère de l'Environnement, appuyé par la DIREN, n'a cessé de traiter le delta du Rhône comme un espace naturel.

Avec la mode contemporaine du goût pour la nature et pour l'environnement, beaucoup de gens sont venus habiter dans ce territoire pour vivre près de la nature ou dans la nature. Quand les digues ont cassé en 1993 et en 1994, la population s'est tout à coup rendu compte qu'elle n'était pas dans la nature. Elle a redécouvert qu'elle habitait dans un polder agricole et salinier.

Pour la mission Dambre, mission interministérielle chargée d'évaluer les raisons de cette inondation, "*Ces digues n'étaient plus entretenues depuis une centaine d'années*" Des arbres, des buissons y poussaient ; des blaireaux, des lapins, des ragondins y vivaient. C'était très joli dans un espace naturel. La catastrophe est effectivement due au non-entretien des digues mais le non entretien des digues est dû très largement à un décalage entre l'image symbolique de ce territoire et son fonctionnement réel.

La recherche fondamentale reconstruit, objectivise ce territoire comme un polder agricole et salinier. Il faudrait aussi que certaines institutions publiques prennent ce recul et fassent preuve de plus de réflexivité par rapport aux représentations dominantes actuelles sur la nature. En fait, le Parc Naturel Régional avait été créé en 1966 pour faire de cette région une coupure verte entre les aménagements de Fos-sur-mer et les aménagements touristiques du Languedoc Roussillon.

En conséquence, une **première proposition** en découle: faire très attention aux représentations dominantes et faire attention à ce que ces représentations ne finissent pas par imprégner les politiques publiques.

Un décalage normatif

On s'est aperçu avec stupéfaction quand les digues ont cassé, qu'elles étaient gérées par une association dont les statuts dataient de 1849, révisés en 1883 et qui n'avaient pas évolué depuis. Ces statuts avaient été inventés dans le cadre d'une société agraire, pour des agriculteurs et par des agriculteurs, grands propriétaires. "*L'assemblée générale des intéressés se compose des propriétaires possédant, dans le périmètre de l'association des immeubles portés pour un revenu de 50 francs au moins dans la*

*matrice du rôle de la contribution foncière. Chaque propriétaire a autant de voix que le minimum d'intérêt, contenu de fois dans le revenu cadastral de ses immeubles*⁴. En d'autres termes, les statuts rentraient dans le cadre d'un système censitaire, c'est-à-dire que seuls les plus dotés avaient le droit de voter (une voix par 100 hectares). Les grands propriétaires géraient les digues de Camargue uniquement en fonction de leurs intérêts et ceux-ci ont été progressivement de ne plus internaliser le coût des digues et donc, de ne pas les prendre en charge.

Ainsi, un deuxième décalage apparaît. Il n'est plus entre le symbolique et le réel mais entre un système normatif hérité du passé, qui perdure dans le cadre d'une société qui a complètement changé et évolué. Aujourd'hui, en Camargue, il n'y a pas que des intérêts agricoles, il y a des intérêts touristiques, de loisirs, résidentiels, etc.

La **seconde proposition** serait, dans le cas des catastrophes, de prendre en compte le temps long. Il s'est passé 150 ans entre les deux inondations. 1856, 1993. En 150 ans, personne n'est venu regarder si les normes de gestion des digues étaient toujours adaptées. Dans les zones où les catastrophes peuvent arriver tous les 100-150 ans, la proposition serait de revisiter régulièrement les réglementations concernant la gestion des risques.

La segmentation des politiques publiques au cœur de la problématique du risque

Le troisième point concerne ce qui a été révélé, non pas par les causes de la catastrophe, mais par ce qui s'est passé après.

Je plaiderai pour une dé-segmentation des politiques publiques. Dans la science ou dans la recherche, traiter les questions de l'environnement n'est envisagé qu'avec un minimum d'interdisciplinarité entre sciences de la nature, sciences de l'homme, etc. Une bonne gouvernance ne peut plus se satisfaire des segmentations qui existent entre les institutions publiques : DDE, DDA, DIREN, service maritime, voies navigables de France.

Par exemple, en 1996, un syndicat mixte de gestion des digues a été créé, c'est-à-dire que le statut d'association privée a été cassé. En 1997, le préfet a autorisé les travaux d'urgence pour 12 millions de francs, les travaux d'urgence ne doivent pas dépasser 12 millions de francs. Ces travaux d'urgence échappent à la loi sur l'eau de 1992.

En 1998, l'Etat a voté 300 millions de francs pour restaurer les digues de Camargue. C'est seulement en 2003, que les travaux de confortement des digues ont commencé, c'est-à-dire qu'il a fallu 10 ans de dossiers pour pouvoir attaquer les travaux parce qu'en 1998, le préfet a décidé d'arrêter les procédures d'urgence et de passer par la loi sur l'eau, mais il accepte un compromis en déterminant des secteurs prioritaires sur lesquels des travaux seront réalisés.

Le SYMADREM⁵, le syndicat mixte, définit les sites où les digues sont fragiles et propose de commencer les travaux dans ces zones. La DIREN refuse et demande des études pour définir les secteurs prioritaires, en prenant en compte par exemple le nombre de mètres cube seconde qui arriveraient si la digue cassait un endroit particulier, le niveau d'eau supposé dans la plaine et la densité d'urbanisation. Le SYMADREM se lance alors dans ces études : appels d'offres, bureau d'études...

En 1999, le SYMADREM sort 7 rapports pour un poids de 15 kilos. En avril 2000, les services instructeurs de l'Etat n'ont

⁴ Statuts de l'association

⁵ SYMADREM : SYndicat Mixte d'Aménagement Des Rives du Rhône et de la Mer

	<p>toujours pas donné leur avis sur ce rapport. Le préfet les incite à donner une réponse. Le service maritime conclut que le rapport est insuffisant car il fallait dissocier le secteur maritime et le secteur fluvial. Le SYMADREM élabore un nouveau rapport qu'il remet fin 2001. La DIREN le conteste parce que dans le secteur fluvial les nouveaux linéaires des digues ne sont pas précisés. Le rapport est à nouveau modifié. Fin 2002, les travaux sur le secteur maritime peuvent commencer et en 2003, sur le secteur fluvial. Ce va et vient a duré 10 ans.</p>
J.P.Jordan, 14/05	<p>Je me permets de mettre mon grain de sel dans la problématique de dé-segmentation des politiques publiques en faisant part de l'organisation en Suisse. Les responsabilités sont clairement établies pour la protection contre les crues qui incombe aux cantons. Ceux-ci disposent en général d'un seul service administratif qui coordonne les actions et définit les bases nécessaires, même si le maître d'ouvrage peut être la commune ou un syndicat. Cela n'empêche évidemment pas la coordination indispensable avec les différents intéressés tout au long de la planification.</p>
D. Cœur, 04/06	<p>Pour donner un éclairage complémentaire au développement de B. Picon dans les perspectives duquel je m'inscris tout à fait, j'apporterai un certain nombre d'éléments sur le dispositif d'endiguement du Rhône de Viviers à la mer, en particulier sur les continuités/ruptures observables suite à la grande inondation de 1856. Certains éléments intéressent aussi les Q33 & 42.</p> <p>Au milieu du XIXe siècle, le morcellement est le trait le plus caractéristique de la situation des ouvrages d'endiguement en amont de Beaucaire alors qu'à l'aval on dispose d'ouvrages pratiquement continus jusqu'à la mer (cf. digue de Beaucaire à la mer). Ces derniers sont d'ailleurs fort anciens et remontent pour la plupart au Moyen Age. Entre Viviers et Beaucaire, ces aménagements médiévaux ne représentent que 20% des ouvrages et sont établis en général à proximité des bourgs (cf. digue de ceinture de Caderousse, digue de la Basse Vallergue, digue de Boulbon). La grande majorité des alignements défensifs existant en 1850 a été construit après 1750, et un grand nombre au cours de la première moitié du XIXe siècle, pour des raisons agricoles surtout.</p> <p>Les ouvrages consistent principalement en des "chaussées" longitudinales au fleuve (mais pas forcément implantées directement le long des berges, c'est-à-dire en des levées ou remblais en terre ou gravier, submersibles ou non). L'usage de la pierre en couverture (perrés maçonnées ou non) ou pour la structure même de l'ouvrage, était réservé en général à la proximité des ponts ou villes (cf. digues de Châteauneuf, Roquemaure, Avignon, etc.). Ailleurs, le gazonnement constituait le revêtement habituel. Selon les dispositions locales du fleuve (méandrement, îlons, espaces de confluences), les ouvrages pouvaient prendre des directions multiples, constituant au fil du temps des assemblages complexes, inscrits dans une bande plus ou moins large de part et d'autre du chenal principal, et dont le fonctionnement global en cas de grande crue échappait totalement à ceux qui, localement, avaient établi ou entretenu ces ouvrages en vue d'assurer la défense de leurs biens. On notera qu'en 1856, les 2/3 des brèches aux ouvrages l'ont été suite à leur submersion, contre 1/4 à peu près par infiltration.</p> <p>En matière de financement des travaux, il faut souligner que le dispositif des Associations Syndicales (AS) forcées établi par la loi de septembre 1807, s'il marque un interventionnisme accru de l'Etat, ne marque ni la naissance officielle des groupements de riverains (on en trouve dès l'époque médiévale à Avignon, Arles, etc.), et surtout, ne va pas forcément apporter plus de cohérence dans l'établissement des ouvrages d'endiguement à l'échelle du Bas Rhône. Sans véritable démarche (technique, juridique et administrative) de mise en cohérence globale avancée par l'administration des Ponts et Chaussées, le développement des AS</p>

après 1830 et surtout après l'inondation de 1840, va au contraire fortement rajouter aux morcellements des initiatives.

L'événement de 1856 est l'occasion d'une série de prises de conscience et d'orientations de la part de l'administration technique d'Etat (Ponts et Chaussées) sur les choix techniques faits jusqu'alors (les hauteurs maximales atteintes par l'inondation de 1856 ont dépassé sur le Bas Rhône celles de 1840). La première est l'abandon officiel d'un système d'endiguement général insubmersible entre Lyon et Tarascon qui ne ferait qu'aggraver l'exposition des villes. Kleitz, ingénieur en chef du Service Spécial du Rhône précise en 1860 "qu'il aurait pour effet d'élever le niveau d'une crue pareille à celle de 1856 d'au moins 2 mètres à Beaucaire et Tarascon, et rendrait la défense de ces villes à peu près impossible". Seule la partie située à l'aval de Beaucaire-Tarascon (Camargue) doit accueillir et conserver ses ouvrages insubmersibles du fait notamment, selon lui, de sa position défavorable qui l'expose aux conséquences de tous les aménagements amont. En outre, l'endiguement développé ici n'a aucune conséquence sur l'aval (rejet également d'un nouveau canal de dérivation des grandes crues en Camargue). La seconde conclusion technique importante faite par Kleitz est l'abandon de la solution des barrages réservoirs (inefficaces et d'un coût exorbitant), et de conclure notamment pour le Bas Rhône : "Il faut donc renoncer à l'illusion de voir diminuer les crues du Rhône par des barrages de retenue et se borner à en atténuer les dommages par des défenses locales".

L'option générale adoptée pour le Rhône moyen et le Bas Rhône jusqu'à Beaucaire va donc avoir pour objectif d'assurer la réalisation d'un endiguement submersible aux crues "extraordinaires" mais insubmersibles aux crues "ordinaires". Pour cela, le niveau des ouvrages à réaliser au-dessus des berges naturelles ne doit pas dépasser 1,5m/2m. Critères abondant dans ce sens : coût raisonnable, capacité de résistance aux crues extraordinaires, faible influence sur la hauteur des eaux avec des conséquences "raisonnables" sur les secteurs aval. Il est donc prévu de conserver et renforcer les ouvrages existant en tête des plaines qui vont former des "têtes de défense insubmersibles" tout en laissant les plaines submersibles du côté aval. Un certain nombre de dispositions complémentaires sont prévues : la possibilité d'assurer des colmatages fertilisants dans certains secteurs, le renforcement de la lutte contre les courants par le développement des plantations de lisière et quelques ouvrages transversaux. Le tout est calé sur un calcul économique précis des dépenses à engager et des gains à attendre notamment en matière agricole. La balance est positive selon Kleitz. "En ce qui concerne les crues ordinaires, nous pensons donc que l'inconvénient de leur exhaussement trouvera un correctif dans un léger surhaussement des digues dans les régions d'aval, et sera en tous cas plus que compensé par les avantages résultant de l'endiguement"

Les projets et réalisations effectives de la seconde moitié du XIXe siècle vont consister pour la plupart en un renforcement, quelques surélévations, et surtout un prolongement des alignements existants. Sauf exception, on veilla à ce que les nouvelles digues insubmersibles devant assurer la protection des villes (loi du 28 mai 1858) ne diminuent pas les sections d'écoulement. En 1856, les villes plus particulièrement concernées par les dégâts et travaux de protection furent : Lapalud (83 maisons écroulées), Mornas (200 maisons inondées), Caderousse (4 m d'eau ; toutes les maisons inondées), Sorgues (2,5 m d'eau), Avignon (4000 maisons inondées), Aramon (520 maisons inondées), Vallabrègues (420 maisons), Tarascon (2,5m d'eau), Villeneuve-lès-Avignon (2 m d'eau).

Les options techniques pour assurer la protection du Bas Rhône contre les inondations vont faire l'objet de débats récurrents après chaque événement. Ainsi, après les crues de décembre et janvier 1955, l'habituelle opposition ville/campagne voit cette fois

	<p>les représentants de l'Agriculture insister pour promouvoir des ouvrages insubmersibles pour préserver les terres, alors que les villes demandaient elles toujours le maintien de zones d'expansion et champs d'épandage. Les projets d'aménagement de la CNR intégreront en partie ces contraintes en cherchant des compromis techniques : abaissement du niveau des chutes par rapport aux projets initiaux, digues à l'amont des barrages pour la protection des terres exposées par la remontée des lignes d'eau, canaux de Montélimar et Donzère offrant possibilité de dérivation lors des crues. Si l'on évoque une nouvelle fois l'idée des barrages réservoirs et de l'insubmersibilité totale (M. Pardé la proposait à partir de Pont-Saint-Esprit), l'option digues submersibles/champ d'inondation sera encore la solution la plus partagée. Les conclusions et propositions restent d'une manière générale très techniques, renvoyant sans le dire aux AS de riverains tout ce qui aurait pu relever d'une négociation locale entre les acteurs de l'espace fluvial.</p>
A.Paquier, 04/06	<p>On pourrait avancer que les aménagements hydrauliques depuis 1840 ont conduit principalement à une modification des activités dans le lit majeur mais cela peut aussi être considéré comme une cause de la réduction des zones d'expansion des crues, ceci se traduisant par une augmentation de la vulnérabilité engendrée par une meilleure maîtrise de l'eau. En conclusion de ce mutuel renforcement, il apparaît une réduction des alternatives de fonctionnement hydraulique du système.</p>

Bibliographie

Allard P., *Eléments pour une problématique de l'histoire du risque. Du risque accepté au risque maîtrisé. Représentations et gestion du risque d'inondation en Camargue, XVIIIe-XIX siècles*. HDR, Université d'Aix-Marseille II, 2000, 200 p.

Béthemont J., *Le thème de l'eau dans la vallée du Rhône. Essai sur la genèse d'un espace hydraulique*, St-Etienne, Impr. Le feuillet blanc, 1972, 641 p.

Pailhès S., La digue à la mer ou les mésaventures de l'État en Camargue, *Provence Historique*, fascicule 200, avril-mai-juin 2000, pp. 189-206.

Méjean A., Utilisation politique d'une catastrophe : le voyage de Napoléon III en Provence durant la grande crue de 1856, *Revue Historique*, n°597, Janv-Mars 1996.

[réponses](#)

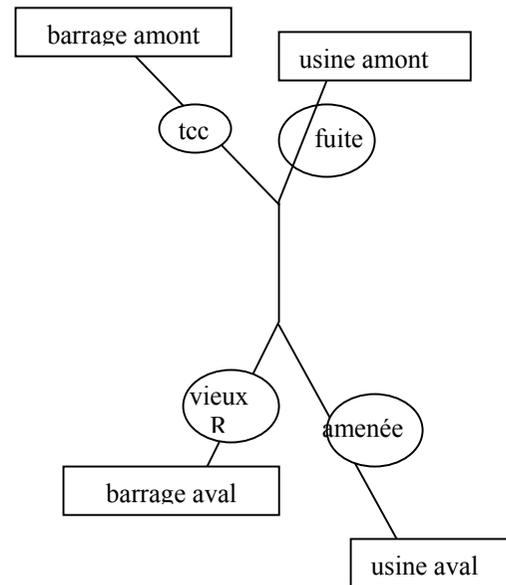
Q32 : Quelles sont les modélisations actuellement utilisées pour représenter le fonctionnement hydraulique du bassin concerné ?

Nom, date	Texte
Erik Mosselman, 26/04	Aux Pays-Bas, la loi prescrit que les niveaux d'eau de la Meuse et des bras du Rhin lors d'une crue de référence soient calculés avec un modèle bidimensionnel. Les calculs sont refaits chaque cinq ans pour vérifier la situation actuelle. L'effet des mesures proposées est calculé avec le même modèle.
Jean Pierre Jordan, 14/05	<p>Il ne faut pas oublier également la simulation du transport solide (sédiments et charriage). Le concept de gestion des crues doit en effet se baser sur une modélisation à long terme des bilans sédimentaires et définir à la fois le profil en long d'équilibre et des mesures de gestion des sédiments (prélèvements). Des modèles 1D sont généralement suffisants, l'important étant de pouvoir disposer de différents levés de profils au cours du temps pour le calage du modèle.</p> <p>Pour l'hydraulique pure, les simulations sur le Rhône à l'amont du lac Léman se font à l'aide d'un modèle 1D de type HECRAS. Les incertitudes sur les coefficients de rugosité (influence de la végétation notamment) sont telles qu'un modèle plus sophistiqué n'est pas requis. Les zones inondables sont en revanche modélisées avec un modèle 2D.</p>
E.Mosselman, 31/05	Malgré les incertitudes considérables sur les coefficients de rugosités, un modèle 2D à l'écoulement non permanent a des avantages pertinents : (1) la bidimensionnalité rend les schématisations moins ambiguës (si le lit mineur consiste en méandres dans un lit majeur moins sinueux, les distances le long du fleuve changent avec le débit de la crue), (2) la bidimensionnalité permet une représentation, et donc une évaluation, plus précise (moins subjective) des mesures proposées pour réduire les niveaux d'eau, (3) la non-permanence de l'écoulement permet la simulation de l'atténuation et de l'écrêtement de l'onde de crue.
Paul Royet 04/06	<p>Pour le Rhône, se référer aux études réalisées par CNR pour l'EPTB "Territoire Rhône". Ces études couvrent toute la gamme des débits jusqu'à 14 000 m³/s. Elles sont basées sur un modèle 1D, en régime non permanent, avec zones de stockage et casiers. Il serait intéressant de confronter les résultats de ces études avec les hauteurs d'eau constatées en décembre 2003.</p> <p>Dans le cadre de la modélisation de l'onde de rupture du barrage de Serre-Ponçon, EDF a effectué une modélisation 2D en régime transitoire de la zone en aval de Mallemort sur la Durance. EDF arrête le calcul 8 km en aval de Beaucaire et justifie cet arrêt du calcul par la difficulté de la modélisation et par le fait qu'on a un débit maximal (15 900 m³/s) peu supérieur à celui de la plus forte crue connue (crue de 1840) dont le débit, estimé entre 13 000 et 14 000 m³/s serait de l'ordre de celui de la crue millénaire. Du coup, EDF considère que toutes les digues sont submergées et se rompent, et reprend la cartographie de la zone inondée lors de la crue de 1840 (cartes établies par Pardé).</p>
André Paquier, 04/06	L'Etude Globale sur le Rhône a inclus la construction de modèles 1D à casiers sur l'ensemble du linéaire du Rhône depuis la frontière. En amont d'Arles, un modèle est bâti pour chaque aménagement. Pour le delta, un seul modèle existe, qui s'étend sur

	<p>toutes les zones inondables à partir du Rhône y compris suite à une rupture de digue. Le principe de ces modèles est le même : une description des lits principaux par des sections en travers (espacées de 500 m souvent) où on applique les équations de Saint venant et une description des du lit majeur par des casiers à l'intérieur desquels la topographie n'est pas détaillée. Ces modèles une fois calés sur des événements passés (précision > 15cm en lit mineur et >50 cm en lit majeur) permettent d'examiner les conséquences de différents scénarios pourvu que ces derniers ne soient pas trop éloignés des événements de calage. En revanche, en particulier, dans les zones de grands casiers (jusqu'à 10 km²), la dynamique de l'écoulement suite à une rupture ne pourra être rendue (sauf reproduction d'une brèche antérieure sur laquelle le modèle aurait été calé). Finalement, ces modèles permettent de tester des stratégies d'aménagement correspondant à des modifications limitées par rapport à la situation de calage. En outre, les effets de la dynamique fluviale (évolution à long terme de la topographie et modification en cours de crue des caractéristiques de l'écoulement) ne sont pas pris en compte dans ces modèles.</p>
<p>Marcel Basso, 06/06</p>	<p>L'étude réalisée par le CETE Méditerranée (P Fourmiguè) sur l'hydraulique et l'hydrologie du Gardon inférieur à travers les diverses études historiquement disponible et l'analyse de la crue catastrophique de septembre 2002 illustre assez bien les problèmes de modélisation d'un tronçon de Rhône alimenté par un affluent important. J'en livre donc le résumé :</p> <p><i>"Depuis la crue de référence de 1958, de nombreux aménagements ont été réalisés dans la basse plaine du Gardon à la confluence du Rhône, en se basant sur des études hydrologiques et hydrauliques (surtout pour CNR et TGV). Suite à la crue de septembre 2002, la DIREN Languedoc-Roussillon, dans le cadre classique d'un retour d'expérience, a demandé au CETE une analyse hydraulique de l'événement ainsi que celle de l'ensemble des études menées sur le secteur, de 1965 à 2002.</i></p> <p><i>Une fiche a été établie à l'issue de l'examen de chacune, puis on a mené une synthèse croisée de ces études au regard de la crue de septembre 2002, sous les aspects hydrologie et modélisations (mathématique et physique).</i></p> <p><i>Au cours de ces 40 années, l'hydrologie des crues extrêmes du Rhône a peu évoluée, contrairement à celle du Gardon. Les études anciennes ont mis en évidence trois points essentiels : la mauvaise qualité de la courbe de tarage du Gardon à Remoulins, la surestimation des débits admis pour la crue d'octobre 1958 et l'effet important du laminage entre cette station de mesure et la confluence avec le Rhône. Les études des dix dernières années, surtout préoccupées pour la quantification d'impact (TGV notamment), l'ont pourtant utilisée sans trop de rigueur comme crue de projet, avec des valeurs très fortes. En outre, elles ont sous-estimé la concomitance des crues du Gardon et du Rhône, facteur important de la crue de septembre 2002. On a estimé son débit de pointe à 5000-5500 m³/s à la confluence et 6500-7000 m³/s à Remoulins. En terme de période de retour, la crue de 1958 serait légèrement inférieure à la centennale et celle de 2002, à la millénaire, par comparaison aux récents résultats de l'étude Globale Rhône".</i></p> <p>De 1965 à 2002, la basse plaine du Gardon entre Remoulins et la confluence du Rhône a fait l'objet, en tout ou partie, d'au moins trois modélisations physiques et cinq modélisations mathématiques, dont les calages ont souvent été délicats. La courbe de tarage à l'aval du barrage de Vallabrègues, les incertitudes sur les débits entrants du Gardon et l'évolution de la vallée depuis 1958 peuvent expliquer une partie des écarts constatés entre les résultats de ces différents modèles. Aucune étude n'avait prévu ni testé de scénario hydrologique tel que celui observé en septembre 2002, mais certaines l'avaient encadré par d'autres scénarios extrêmes, mais jugés très improbables. La problématique du fonctionnement des digues de Comps et Aramon n'y est que</p>

	<p>rarement traitée, comme si le fait d'avoir vécu sans problème majeur la crue de 1958 suffisait à les protéger éternellement.</p> <p><i>L'impact de l'aménagement du Rhône et de la confluence du Gardon, réalisé au début des années 1970, bénéfique pour les fortes crues du Rhône ou du Gardon seul, apparaît nettement moins évident pour une très forte crue du Gardon concomitante avec une crue moyenne du Rhône, tel que l'événement de septembre 2002. Quant au TGV, l'aggravation qu'il a pu produire a dû être très limitée, sauf peut-être sur la dynamique des écoulements en phase de remplissage et vidange de la plaine. »</i></p> <p>Il faut sans doute en retenir les incertitudes non affichées, voire les contradictions de modélisation successives, la reprise de données « historiques » insuffisamment critiquées, une mauvaise prise en compte des concomitances possibles entre les crues de l'émissaire principal et de son affluent, des incertitudes sur les conditions de fonctionnement de déversoirs alimentant des casiers de stockage (CF plaine de Vallabrègues). Par ailleurs dans la configuration de l'aménagement de Vallabrègues, le débit dérivé par l'usine, qui peut varier de 0 à 2500 m³/s influence évidemment la ligne d'eau du Gardon aval.</p>
<p>Bernard Chastan 06/06</p>	<p>Les modèles mathématiques actuels sont développés :</p> <ul style="list-style-type: none"> par la CNR entre la frontière suisse et Beaucaire par le BCEOM dans le delta. <p>Géométrie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • lit mineur : issue des levés topo effectués après 1995 • lit majeur : déduite de plans CNR, fonds IGN, et levés complémentaires de l'étude globale <p>Découpage en 20 biefs :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 18 fonctionnant selon le même schéma : <p>lit mineur éventuellement endigué – partition retenue barrage -TCC/ canal usinier usine canal de fuite) – confluence TTC/canal de fuite – lit mineur éventuellement endigué etc.</p> <p><i>vérifier : arrive-t-il que l'influence (remous) d'une retenue se fasse sentir jusqu'à la confluence TCC-canal de fuite du tronçon à son amont.</i></p> <p>terminologie : canal de fuite = restitution</p>

1 bief =



- 2 biefs non aménagés pour la production hydroélectrique fonctionnent différemment :
 - R à courant libre entre restitution Sault Brénaz et barrage de Jons (aménagement de Cusset)
 - Delta du Rhône en aval de Beaucaire.

Découpage :

2500 km² de vallée alluviale

2485 casiers ; S_{casier} de quelques ha à quelques km²

2 types de casiers :

- dans le lit mineur ou majeur actif ; écoulements suivant la direction générale du lit. calcul : ligne d'eau et vitesses moyennes d'écoulement
- dans les champs potentiels d'expansion des crues ; calcul de volumes stockés, cotes d'eau, tirants d'eau, dans les casiers, débits d'échange entre casiers.

liaisons hydrauliques entre casiers : par ouvrages linéaires faisant seuil (remblai routier ou ferroviaire, digues), ouvrages de franchissement (pont), ouvrages de rétablissement des écoulements dans la plaine alluviale (ouvrage vanné, typhon, ponceau), sinon par la géométrie même de la plaine.

Modélisation hors delta

- modèle de la CNR filaire maillé à casiers

On distingue

- le lit majeur actif (intégration aux sections de calcul du lit mineur ; conception filaire)
- la zone de stockage = champ d'expansion des crues. vitesses quasi nulle ; remplissage par échanges le long du lit majeur actif ; la cote de l'eau y est la même que dans le lit mineur.
- le casier = caractérisé par des vitesses faibles. Contour déterminé par la topographie et les obstacles artificiels à l'écoulement des eaux, alimenté par des ouvrages identifiés (déversement sur digues ou ouvertures de vannes). En l'absence d'ouvrages spécifiques de communication entre casier, on prend en compte une loi de perte de charge linéaire (Strickler) pour régler leurs échanges.

Modélisation du Delta (= aval de Beaucaire)

- modèle STREAM du BCEOM
- modèle 1,5D avec casiers
- échanges entre casiers réglés par pertes de charge linéaire et singulière.
- un niveau d'eau associé à chaque casier et une loi (géométrique) hauteur volume du casier.
- une vitesse et un débit d'échange affectés à chaque interface entre casiers.
- écoulement filaire dans la zone endiguée (=lit mineur et ségonaux)
- terminologie : ségonal = portion de lit majeur entre digues
- casiers délimités en fonction des axes et réseaux structurant les écoulements.

Nota : la notion de casier utilisée par la CNR est très voisine de celle utilisée par le BCEOM.

Calage :

sur les cotes d'eau mesurées lors des crues de : février 90, octobre 93, janvier 94, novembre 94, janvier 95, février 99.

précision moyenne sur les lignes d'eau : 10 cm en mineur, 20 cm en majeur.

reconstitution « fidèle » des vitesses de propagation de la crue et de son évolution à la traversée des champs d'expansion de crue ou à l'aval d'affluents importants : *à préciser : valeur numérique des incertitudes sur les débits ; voir notamment dans la biblio détaillée par tronçons.*

calage dans le delta :

sur la crue de janvier 1995 (crue non débordante du lit mineur)

sur la crue de novembre 1994 (crue débordante dans le ségonal).

validation du calage sur

la simulation de la crue d'octobre 1993 (crue avec brèches, validation en étendue de la zone inondée)

la simulation de la crue de janvier 1994 (validation en cotes et débits)

Données hydrométriques :

	Lyon	Valence	Viviers	Beaucaire	T Beaucaire.	niv. marin	type
novembre 1840	5500 E	8000 E	9500 E	9000 E			
mai 1856	4200 E	8700 E	9500 E	12000 E			
février 1990	3230 M à F	5165 M	5190 M	5297 F			
octobre 1993	2806 M	6692 F	7698 E	9773 TF	30	0,62	deb. dans ségonaux avec brèches
janvier 1994	2147 f	5342 M	7564 TF	10981 TF	80	0,60	deb. dans ségonaux avec brèches
novembre 1994	762 f	2455 f	3795 f	9744 F à TF	30	0,40	
janvier 1995				4700	< 2	0,06	Non-débordement
février 1999		4770	5100	4890			

calage hors delta (de l'aval de Sault Brenaz à Beaucaire)

- dégrossissage bief par bief en régime permanent
- calage bief par bief en transitoire :
 - CL amont = débit de crue observé
 - apports affluents = débits de crue observés
 - CL aval = niveau observé à la station la plus proche du barrage
 - comparaison des cotes calculées aux laisses de crue observées
- calage modèle complet :
 - connaissance des consignes de chaque exploitant pour piloter ses ouvrages (usine hydroélectrique et barrage) : suivi d'une loi hauteur – débit en un point caractéristique du bief.
 - programmation d'un algorithme pour suivi automatique de la loi de consigne et de la répartition de débit entre usine et barrage.
 - enchaînement des biefs de l'amont vers l'aval.

comparaison des résultats aux données (limni et temps de propagation) des stations de référence.

- calage sur octobre 1993
- validation sur février 1999

apparemment pas d'essai de comportement du modèle sur les événements récents les plus forts (novembre 1996 et décembre 2003)

à vérifier : comment se fait la liaison entre le modèle amont (CNR) et le modèle aval.

les **simulations effectuées** concernent

des crues océaniques : formées par les apports des affluents du R en amont de l'Isère (Arve, Fier, Ain, Saône, Isère)

des crues générales : combinant des crues océaniques en amont de l'Isère et des crues méditerranéennes en aval.

à vérifier : la pertinence de cette typologie des crues à partir de la critique hydrologique.

Les **simulations** distinguent par tronçon homogène **3 classes de crue** :

crues moyennes : T voisin de 10 ans

crues fortes : T voisin de 100 ans

crues très fortes : T voisin de 1000 ans

voir : découpage et notion de bief homogène

Au total :

les méthodologies sont classiques et utilisables compte tenu des objectifs de l'étude ; dans la zone aval notamment on pourrait envisager de développer un vrai bidimensionnel dans l'idée de disposer de résultats plus fins ; pour cela il faudrait au moins que les données suivent, ce qui n'est pas du tout évident.

Très généralement, les réponses à la question de l'utilité d'un vrai 2D ne sont pas simples. Elles demandent d'examiner notamment les points suivants : adéquation des données à une approche 2D, détermination des zones (singularités, ouvrages, aménagements particuliers, portions de lit majeur) candidates à un traitement 2D, estimation des distances d'influence de ces zones, estimation des incertitudes dues à la réduction à un traitement 1D.

Par ailleurs, le passage au 2D ne résout pas nécessairement, le problème technique difficile de l'estimation des lois de perte de charge des ouvrages ; plus généralement l'estimation des coefficients de rugosité en 2D est délicate.

[réponses](#)

Q33 : Quel sera le fonctionnement des aménagements dans le cas de crues extrêmes?

Nom, date	Texte
J.P.Jordan, 14/05	<p>Le développement de la question mentionne le comportement des digues en cas de crue extrême et le risque de rupture. Notre expérience montre que les digues actuelles, la plupart du temps érigées à la fin du XIXème ou au début du XXème siècle, ne résistent pas à une submersion. Un concept de protection adapté pour les événements extrêmes consiste donc à définir des tronçons de déversement dans les zones d'expansion de crue. Dans ces secteurs les digues doivent résister à la submersion (dimensionnement adéquat) ou alors leur rupture peut être tolérée ou même provoqués à condition que l'inondation puisse être contrôlée. Ce dispositif a été appliqué dans la plaine d'Uri sur la Reuss et il est prévu pour le Rhône en Valais. Les digues situées entre les points de contrôle n'ont théoriquement pas besoin d'être dimensionnées contre la rupture en cas de submersion puisqu'elles ne doivent plus être submergées, même pour un événement extrême.</p> <p>A propos de l'état actuel, le document de synthèse "Territoire Rhône" fait état qu'il n'existe pas de diagnostic sur l'état des digues à l'amont du delta. Des investigations géotechniques me semblent indispensables, car le danger de rupture sans que la capacité hydraulique soit dépassée est souvent plus important que le danger d'inondation par submersion lui-même.</p> <p>Le dimensionnement des ouvrages liés à la production hydroélectrique sur le Rhône est basé sur la crue millénale. Ce niveau de protection est relativement faible. Il me paraît indispensable de vérifier le comportement du système pour une crue supérieure (qui tient compte des incertitudes). Des ruptures entraînant des catastrophes incontrôlées devraient être évitées.</p>
E. Mosselman, 31/05	<p>Il me paraît opportun d'inclure ici une correspondance précédente sur les brèches qui a été effectuée dans le cadre du travail du groupe d'appui et d'expertise scientifique pour les inondations du Bas-Rhône :</p> <p><u>Maraga, 12.04.2004</u> : [...] Dans le propos de contribuer au recalage par rapport aux autres territoires "comparables" du delta du Rhône, j'aimerais bien connaître s'il y aura sur le Rhin aussi des études sur les inondations causées par des brèches.</p> <p><u>Mosselman, 13.04.2004</u> : [...] Comme exemple, je voudrais faire référence à cet article: Hesselink, A.W., G.S. Stelling, J.C.J. Kwadijk & H. Middelkoop (2003).</p> <p><u>Mosselman, 15.04.2004</u> : Suite au mél précédent sur les brèches, je vous envoie de l'information sur la croissance des brèches. Verheij et Van der Knaap y ont dérivé une formule en se basant sur les données suivantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observations de terrain : Brèche de Nieuwkuijk (1880), Brèche de Zalk (1926), Brèche du Wieringermeer (1945), Brèche de Papendrecht (1953), Brèche de Herkingen (1953), Brèche d'Oudenhoorn (1953), Brèches du Zwin (1989, 1996), Brèche de Tollesbury (1995); Brèche du Tussenkl. Polder (1998), Brèche de Yahekou en Chine; • Expériences en laboratoire;

	<ul style="list-style-type: none"> • Simulations numériques (en utilisant un modèle plus sophistiqué). <p>La formule est utilisée dans un modèle bidimensionnel pour simuler les inondations. Elle est comme suit:</p> $B(t) = 1,3 (g^{0,5} * H^{1,5} / uc) * \log (1 + 0,04 * g * t / uc)$ <p>où :</p> <ul style="list-style-type: none"> • B = largeur de la brèche • g = accélération due à la pesanteur • H = différence entre les niveaux d'eau aux deux côtés de la digue • t = temps • uc = vitesse critique de l'écoulement (pour mouvement des sédiments) <p>Le valeur 1,3 pour le coefficient est un valeur d'ensemble pour digues de sable et digues d'argile. Plus précisément, on peut discerner: la valeur 1,2 pour sable, valeur 1,4 à 1,8 pour argile.</p> <p>Référence: Verheij, H.J. (2003).</p>
P. Royet, 04/06	<p>Tout à fait d'accord avec les remarques de JP Jordan.</p> <p>L'expérience des crues récentes sur les digues de Camargue mérite d'être rappelée :</p> <p>Octobre 1993 et janvier 1994 : 16 ruptures, toutes par renard, 13 liées à des terriers d'animaux (blaireaux essentiellement) et 3 liées à des traversées de conduites) ; aucune surverse (et de loin), donc aucune rupture due à ce mécanisme</p> <p>Novembre 2002 : une rupture par renard</p> <p>Décembre 2003 : deux ruptures par surverse (avec renard en même temps ?) ; plusieurs zones de très légère surverse sans rupture ; une zone de quasi-rupture suite à un renard le long d'une conduite méconnue (avec une intervention d'une efficacité remarquable de l'entreprise) et, fait nouveau en Camargue (au moins à l'échelle des crues récentes), plusieurs zones d'affouillement des pieds de digues ayant conduit à des instabilités de talus coté fleuve, en crue ou plutôt à la décrue.</p> <p>Les enseignements à tirer de tout cela sont de plusieurs ordres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Depuis que l'on a remis à l'ordre du jour des programmes d'entretien régulier de la végétation sur les digues, le risque lié aux animaux fouisseurs a diminué, d'une part parce les animaux sont partis chercher refuge dans des zones plus tranquilles, et d'autre part parce que l'on a désormais de meilleures conditions pour inspecter les digues ; • Reste le problème des conduites et traversées diverses, dont certaines sont oubliées. Et pour celles qui sont connues, leur résistance vis à vis du mécanisme de renard est très difficile à évaluer (l'observation en crue est d'autant plus précieuse) ; • La résistance à la surverse de ces digues en limon construites au 19ème siècle est quasiment nulle. L'implantation de déversoirs visant à éviter cette surverse est probablement la seule solution pour éviter des brèches dans des zones à forts enjeux ;

	<ul style="list-style-type: none"> • L'aléa d'érosion du ségonal, et ensuite du pied de digue coté fleuve, doit être considéré. Les zones vulnérables doivent être identifiées. Les moyens de prévention par des techniques de génie civil (palplanches et/ou enrochements) sont difficiles à dimensionner (on ne connaît pas les profondeurs potentielles d'affouillement), très coûteuses et présentent des impacts environnementaux non négligeables. La solution alternative consistant à reconstruire la digue plus à l'intérieur des terres (de façon à redonner au fleuve un plus large espace de liberté) doit donc être systématiquement étudiée.
J.-P Jordan 0406	<p>Je peux confirmer que la reconstruction de nouvelles digues en retrait est souvent une solution qui n'est pas beaucoup plus onéreuse que le renforcement des digues actuelles. Cette solution a en outre l'avantage de permettre de redonner un espace supplémentaire au fleuve pour reconstituer ses fonctions environnementales (par ex. : augmentation de la dynamique, fonction paysagère). Du point de vue sécurité, l'élargissement a également de nombreux avantages : notamment diminution de la ligne d'eau par rapport à la plaine, diminution des forces érosives. Dans le cas où l'espace disponible est insuffisant, une solution, appliquée sur le Rhône dans le canton du Valais, consiste au renforcement des pieds de digues au moyen d'un remblayage extérieur. Les coûts en Valais étaient d'environ 1'200 € par m' tout compris (honoraires + expropriations inclus.).</p>
A. Paquier, 0406	<p>Un scénario de rupture de digues comprend à la fois une hydrologie (débit, niveau en amont,...) et une (ou plusieurs) brèche (localisation, amplitude du phénomène,...). Ceci implique une multitude de scénarios possibles surtout si on souhaite examiner les effets à l'aval immédiat de la brèche et les mesures à prendre pour juguler la rupture. L'Etude Globale sur le Rhône n'a envisagé que des brèches en aval de Beaucaire et à seulement 16 localisations : ceci est clairement insuffisant pour bien appréhender les risques liés aux ruptures de digues et a fortiori encore plus pour définir des plans de secours optimaux, composante essentielle de réduction des risques le long du Rhône, et, en particulier, pour la Camargue. Des modèles de brèche (calés sur des expériences en laboratoire et sur le terrain) et des modèles de propagation à l'aval de brèche plus détaillés existent (au Cemagref et ailleurs ; voir, par exemple, les résultats des projets européens CADAM et IMPACT (http://www.samui.co.uk/impact-project/)) qui permettent de préciser les conséquences de certains scénarios. L'important reste toutefois d'éviter ces ruptures en aménageant des déversements contrôlés qui sont seuls à même de réduire les déversements incontrôlés, sinon inévitables, lors de crues extrêmes comme l'ont démontré toutes les grandes crues de ces dix dernières années en Europe.</p> <p>Par ailleurs, les ouvrages en travers du fleuve ne jouent qu'un rôle local lors des crues extrêmes alors qu'ils influencent fortement les forts débits usuels.</p>
F.Maraga, 07/06	<p>Dans les territoires de la plaine du Pô, il y a documentation d'environ 200 ruptures des digues insubmersibles s'étalant sur les siècles XIXe et XXe. Les causes de rupture n'ont pas changé pendant le temps: surverse, érosion du pied de digue, siphonnement au-dessous du pied de digue. La hauteur de crue joue un rôle dominant dans le cas de la surverse, tandis que la morphologie dynamique du lit fluvial et la sédimentologie des alluvions de la plaine jouent le rôle dominant dans les ruptures par érosion de berge et siphonnement. La proximité de la digue au courant de crue a été soulignée parmi les causes prédisposant à la rupture, soit dans le cas d'un alignement défini par projet au bord de la berge, comme dans le delta, soit dans le cas d'une proximité acquise par migration du lit fluvial. Les ruptures par siphonnement ont une occurrence préférentielle sur le tracé des lits fluviaux</p>

abandonnés, notamment lieu de vulnérabilité des digues par filtration souterraine des eaux de crue.

Des investigations morpho-sédimentaires du lit fluvial et des dépôts alluvionnaires sont proposées afin de mettre en évidence l'évolution des berges et le réseau des lits abandonnés par rapport au chenal de crue

Bibliographie

Hesselink, A.W., G.S. Stelling, J.C.J. Kwadijk & H. Middelkoop (2003), Inundation of a Dutch river polder, sensitivity analysis of a physically based inundation model using historic data. Water Resources Research, American Geophysical Union, Vol.29, No.9, p.1234 (17 pp.).

Verheij, H.J. (2003), Aanpassen van het bresgroeimodel in HIS-OM. Bureaustudie Q3299, WL | Delft Hydraulics, Novembre 2003 (en néerlandais, distribution limitée ; contact: henk.verheij@wldelft.nl).

[réponses](#)

Q34 : Quel est le rôle de la dynamique fluviale et comment est-elle prise en compte dans l'étude du fonctionnement du bas Rhône et de ses affluents?

Nom, date	Texte
Erik Mosselman, 26/04	Je suppose que "dynamique fluviale" fait référence aux changements morphologiques. Chaque mesure qui influence l'écoulement déjà lors de crues fréquentes, produit une réaction de dynamique fluviale. Cette réaction pourrait modifier le partage des eaux à la défluence (donc les niveaux de crue de chaque bras). Pour cette raison, les études morphologiques néerlandaises actuelles sont dédiées surtout aux défluences, telles que le "Pannerdensche Kop".
E.Mosselman, 26/04	La migration des méandres peut éroder les pieds des digues (Petit Rhône ?).
A.Paquier, 04/05	L'Etude Globale sur le Rhône a bien mis en relief l'évolution du transport de sédiments sur le bassin du Rhône, évolution se traduisant par un charriage très fortement réduit et un transport en suspension diminué de 50% environ. Malgré ce constat, on peut noter le rehaussement de certains tronçons en parallèle à l'incision du chenal principal (pouvant mettre en danger les digues lors de fortes crues). A cause du changement de régime hydrologique (barrages surtout), le comportement lors des différentes crues est très différencié. Dans le delta, une forte crue pourra amener de forts dépôts (jusqu'à 2 m en 1993) qui seront érodés ultérieurement par des crues plus faibles. De manière générale, l'ajustement du lit du Rhône suite à la construction des barrages sur l'ensemble du bassin versant n'est sans doute pas achevé et peut être remis en cause par de grandes crues telles qu'en 1993, 1994 et 2003.

[réponses](#)

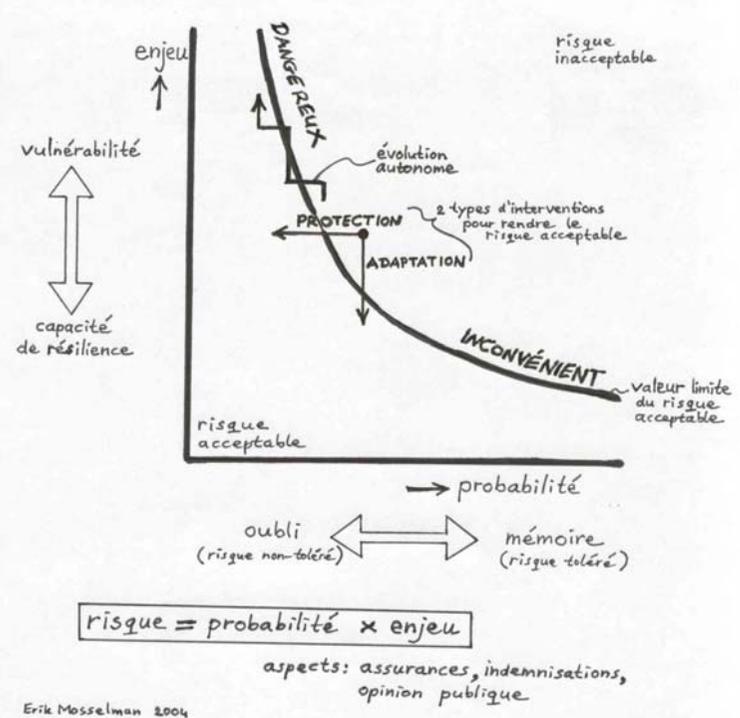
Q41 : Quels sont les enjeux actuels et futurs?

Nom, date	Texte
Bernard Picon, 11/05	<p>De mon point de vue, la segmentation des politiques gestionnaires est en partie responsable de la catastrophe. Dignes CNR en amont gérées sans considérations pour l'aval, digue SNCF sur 15 km entre Tarascon et Arles non surveillées pendant la crue (c'est un agriculteur qui a lancé l'alerte !) ;dignes SYMADREM sur la rive Bouches du Rhône, syndicat mixte du coté gardois!.Il est certain que le système de surveillance et d'intervention rapide mis en place par SYMADREM a évité une autre catastrophe majeure dans le delta;(brèche de l'Armelière colmatée immédiatement). Il a suffi que 15 malheureux km de voies-dignes SNCF échappent aux 140 km de surveillance SYMADREM pour provoquer ce désastre en zone urbaine.</p> <p>Par ailleurs, le rapport "Territoire Rhône" propose des solutions techniques (gestion globale, améliorer le libre écoulement des eaux, prévoir des zones d'épandages et conforter les points fragiles des digues), mais il y manque le volet extrêmement complexe de la mise en place de telles solutions sur le plan des politiques publiques. L'appel à l'Etat est récurrent mais une véritable décentralisation financière permettrait aux collectivités territoriales de mieux prendre et faire prendre les responsabilités publiques et privées locales par tous ceux qui doivent prévenir les risques qui les menacent et les risques que leurs aménagements font courir à d'autres.</p> <p>Si l'Etat a un rôle à jouer, c'est bien de réglementer fermement de façon à ce que tout acteur de l'aménagement du territoire prenne en compte les conséquences de ses actes en termes de prévention des risques qu'il pourrait engendrer. Sans véritables moyens de maîtriser la prévention, les collectivités du bassin versant du Rhône n'ont d'autres solutions que de faire appel à l'Etat pour gérer les externalités négatives générées localement. Pour sortir de ce dilemme, l'Etat devrait intervenir en favorisant une autonomie financière des collectivités mais aussi une intégration sérieuse de la problématique des risques par les institutions, les élus et les citoyens, de façon à ce qu'ils internalisent la gestion des risques "naturels"dans toutes leurs entreprises.</p> <p>Ce n'est donc pas seulement d'argent qu'il s'agit, mais aussi de sensibilisation préventive à la question environnementale qui ne peut plus rester à part, à côté, ou l'envers écologique des questions économiques dans l'esprit de nos concitoyens. Voila pourquoi il me semble que le coté sociétal du problème apparaît beaucoup plus complexe que les choix techniques. Je trouve par exemple trop simpliste l'idée de faire des alentours du Vaccarès une zone d'expansion des crues en Camargue, C'est méconnaître qu'entre Rhône et Vaccarès, une civilisation s'est constituée depuis 10 siècles autour de la maîtrise de l'eau. C'est un des éléments d'une panoplie d'actions à penser globalement dans le cadre de l'hydraulique agricole et salinière camarguaise et de la lutte contre la remontée relative du niveau marin par re-limonage du delta en profitant du débit solide des crues, mais ça ne doit, en aucun cas, constituer un pis-aller de plus. Il serait peut-être plus raisonnable d'enfin prolonger les digues de la CNR jusqu'à la mer. Ces digues du XXe siècle sont en effet prolongées ,en aval, par des digues datant, elles, du XIXe siècle que SYMADREM conforte de ci de là, en fonction des urgences, avec des moyens limités. Il faudrait peut-être, enfin, faire les digues du XXIe siècle qui</p>

	s'imposent, accompagnées de mesures appropriées dans et à l'extérieur du lit du fleuve. Il faut prendre acte que le Rhône est artificialisé depuis longtemps et j'ai parfois la sensation, vu l'intense occupation humaine qui le borde dorénavant, qu'il faut, malheureusement pour la poésie, aller jusqu'au bout du travail. Les demi-mesures ont fait la preuve de leur dangerosité.
JP.Jordan, 14/05	J'ai comparé les évaluations des dommages avec ceux estimés sur le Rhône en Valais. Entre Brigue et Martigny (80km), nous avons en effet 7'000 ha de zones inondables par crue très forte, soit moins d'un dixième des surfaces touchées par le Rhône français. Les dommages potentiels ont été évalués entre 3,5 et 4,5 milliards d'euros, ce qui représentent des montants quasiment comparables aux évaluations faites en France. Ces derniers montants me semblent donc, pour le moins, pas sousestimés (la Suisse n'est plus si riche que ça).

[réponses](#)

Q42 : Quelles sont possibilités de réduction de ces risques e.g. ralentissement et stockage d'eau de crue ?

Nom, date	Texte
<p>Erik Mosselman, 25/04</p>	<p>Ce texte cherche à contribuer à l'évaluation des possibilités de réduction des risques d'inondation d'une perspective néerlandaise. Tout d'abord, on peut discerner deux types de solutions fondamentaux : l'<u>adaptation</u> et la <u>protection</u> (Figure 1). Dans les sociétés développées, l'évolution autonome (Figure 1) est normalement une série de rétroactions renforçantes dans laquelle l'augmentation des enjeux mène à l'augmentation de la protection (diminution de la probabilité d'inondation) et vice versa. L'adaptation est plus durable que la protection, mais au même temps elle est acceptée moins facilement par la société.</p>  <p>Figure 1</p> <p>L'adaptation peut inclure des mesures tels que: utilisation du sol, maisons sur piliers ou flottantes, plan de vigilance, système d'avertissement, routes de fuite, gestion de crise, délocalisation des enjeux très exposés, installations électriques au premier étage (placards à compteurs, congélateurs, etc.), évitement des petits polders (qui sont dangereux parce qu'ils se remplissent</p>

rapidement après une brèche). Aux Pays-Bas, depuis peu, l'idée des serres flottantes est prise en considération sérieusement par les agriculteurs, suivant des dommages provoqués par des inondations à cause de pluies abondantes.

Pour la protection, on peut discerner l'augmentation de la solidité des digues et la diminution des charges, c'est-à-dire la réduction des niveaux d'eau dus à la crue de référence (Figure 2). l'Événement de décembre 2003 a montré l'urgence de la solidité des digues.

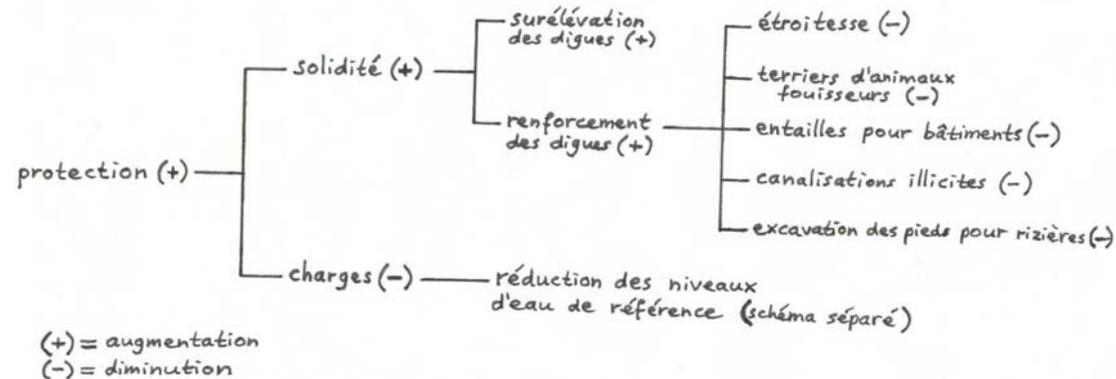


Figure 2

Théoriquement, il y a beaucoup de possibilités pour réduire les niveaux d'eau (Figure 3). Pourtant, les mesures amont, tels que le ralentissement ou le stockage de la crue, n'auront qu'un effet marginal dans le grand bassin versant du Rhône Camarguais (selon les études IRMA-SPONGE). Une première analyse brève (Figure 3) indique que les solutions suivantes pourraient être prometteuses: déplacement des digues, réaménagement du lit majeur, amélioration du Petit Rhône (débitance, rescindement des méandres du Petit Rhône), solutions locales pour les goulets d'étranglement (ponts, zones urbaines, par exemple Beaucaire-Tarascon ?), plaines d'inondation et abaissement des niveaux des étangs par pompage (ou gravité, si possible) en anticipation de crues. Sans doute, CNR et Cemagref ont déjà étudié plus profondément l'effet et la faisabilité de toutes ces solutions possibles.

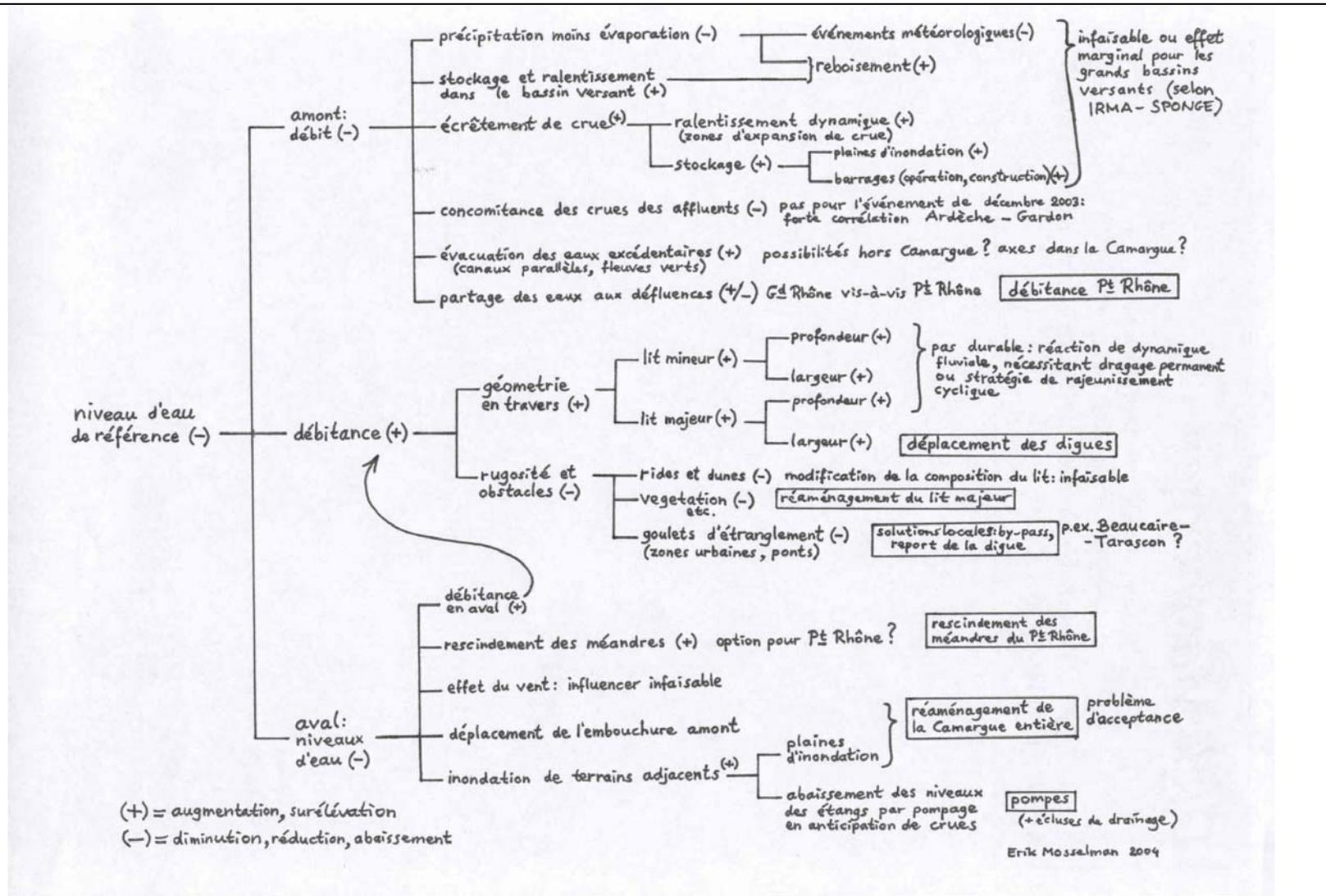


Figure 3

Aux Pays-Bas, les digues sont vraiment déplacées : Bakenhof près d'Arnhem (terminé déjà), Nijmegen (Nimègue) (en préparation ; accord malgré la nécessité de démolir des maisons). De plus, il y a plusieurs projets de réaménagement du lit majeur.

E. Mosselman, 25/04	Une information dans le cadre de la sous-question "Quel est l'événement de référence à prendre en compte pour la protection des enjeux importants?": Aux Pays-Bas, la crue de référence a une fréquence de 1/1250 par an (débit 16 000 m ³ /s sur le Rhin à la frontière allemande). Les dangers et les enjeux y sont plus élevés que dans la Camargue. Cette fréquence de 1/1250 par an pourrait même être devenue insuffisante, parce que les dommages potentiels provoqués par les inondations (le niveau des investissements dans les zones à risques) doublent tous les trente ans (selon les études IRMA-SPONGE).
D.Cœur, 10/05	<p>L'historien ne fera ici que des remarques d'ordre général par rapport aux événements hydrométéorologiques en jeu. Je note ici qu'avant les événements de 1993, 1994 et/ou 2002, les dernières grandes crues largement supérieures à 10 000 m³/s à Beaucaire furent celles de 1840 et 1856. C'est de cette époque que date la dernière grande réflexion et mobilisation nationale de lutte contre les inondations en France. Nos actuelles stratégies de prévention et de défense contre les crues lui doivent encore beaucoup.</p> <p>J'ai du mal sur le plan historique à vraiment bien pouvoir distinguer les phases "adaptation" des phases "protection" proposée par E. Mosselman. La "protection" ne serait-elle pas une "adaptation" marquée par un engagement plus fort du pouvoir central ou de l'autorité supérieure ? Il me semble que de ce point de vue on ne peut pas interpréter, en France, l'engagement technique de l'Etat dans la lutte contre les inondations (à partir de la fin du XVIIIe siècle, et plus encore aux XVIIIe et surtout au XIXe siècle dans le secteur qui nous intéresse), en dehors d'un cadre de conquête politique sur des espaces fluviaux qui posaient en général des questions administratives et juridiques quant à leur gestion, leur statut, et ce dans un contexte où les enjeux économiques et sociaux ne vont cesser de s'accroître.</p> <p>Pour dire les choses de manière un peu simplifiée, la réponse technique qu'apportent aux XVIIIe et XIXe siècles le long du Rhône les ingénieurs des Ponts et Chaussées face aux inondations (protection des cités en priorité et souvent à leur demande), solution qui passe en général par l'établissement d'endiguements insubmersibles (cf. Loi 1858), évacue toute solution vraiment négociée avec les différentes autres catégories de populations. De ce point de vue on voit (ré)apparaître après les événements de 1755, 1801, 1840 ou 1856 les traditionnelles oppositions villes/campagnes, amont/aval. En reconnaissant et s'appuyant sur les associations syndicales de propriétaires riverains (règlements antérieurs à la Révolution, lois 1807 et 1865), l'administration centrale laissait aux seuls riverains le soin de régler sur le plan technique la question (en apportant toutefois de son côté une part non négligeable des financements d'ouvrage de défense), tout en bloquant l'émergence de tout autre dispositif administratif de gestion concertée de l'inondation. La remise en cause de l'insubmersibilité avancée par certains ingénieurs après les leçons de 1840 et 1856 qui proposaient une meilleure péréquation de la vulnérabilité amont/aval, rive droite/rive gauche, ville/campagne ne fut jamais vraiment menée à son terme. Cet logique technique et politique héritée d'un passé marqué par un esprit de conquête pèse aujourd'hui de tout son poids dans un moment de nécessaire partage négociée des rôles à l'intérieur des scénarios de réduction du risque.</p>
E. Mosselman 10/05	Je suis d'accord avec Denis Cœur que la distinction entre "adaptation" et "protection" n'est pas si facile pour la description des phases historiques ou la description de l'ensemble de mesures. Les stratégies ou les politiques d'une certaine époque peuvent constituer une combinaison de mesures "adaptation" et "protection". Cependant, je crois que la distinction est claire et utile au niveau des mesures individuelles. Les mesures de protection cherchent à éviter les inondations. Les mesures d'adaptation acceptent les inondations mais cherchent à réduire les effets. Les mesures de protection sont dominantes dans l'évolution

	autonome des sociétés développées. Personnellement, je trouve la distinction "adaptation – protection" plus claire que les distinctions "technique – administratif" ou "structurel – non-structurel".
A. Paquier, 04/06	Selon l'Etude Globale sur le Rhône, les possibilités de réduction des risques sont très limitées en crue extrême (quelques centaines de m ³ /s au maximum sur le débit de pointe) sauf à remettre en cause une forte occupation du lit majeur. En crue plus faible, des solutions raisonnables existent (meilleure gestion des ouvrages pour assurer stockage de l'eau et transit des sédiments optimaux) mais seront difficiles à ajuster. Il apparaît donc essentiel d'avoir une démarche interactive s'appuyant sur une méthodologie de type "Inondabilité" regardant à la fois l'aléa pour différents types d'événements et la vulnérabilité. On peut ainsi espérer améliorer la gestion des champs d'expansion de crue (modalités et points de remplissage) mais la réduction des risques viendra surtout d'une réduction de la vulnérabilité (plans de secours, déménagement de certaines activités, etc.).
F. Maraga, 07/06	Pour bien répondre aux questions posées sur l'inondation 1957 une recherche particulière serait nécessaire sur des documents originaux, en l'absence de publication sur ce sujet. En général, suivant la tradition du système des digues du Pô : (1) après rupture les digues sont remises en état avec révision locale en hauteur, si la rupture est causée par surverse, ou avec déplacement vers la campagne (digue en retrait), si la rupture est causée par érosion de la berge. En plus, dans les dernières années, une révision locale a commencé contre le danger de siphon sur les digues érigées à travers les lits abandonnés dans la plaine, à fin de renforcer en profondeur la ligne de la digue, soumise à l'action des courants hypodermiques qui peuvent engendrer rupture par siphonnement au-dessous du pied de digue; (2) les maisons restent sur place. Il y a "adaptation" des gens en cas d'inondation.

Bibliographie

Hooijer, A., F. Klijn, J. Kwadijk & B. Pedroli (Eds., 2002), Vers une gestion durable des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse; Principaux messages du programme IRMA-SPONGE. Pour télécharger le rapport final en français : www.ncr-web.org, puis "NCRdownloads", puis "IRMA-SPONGE Final Report in French".

Klijn, F., J. Dijkman & W. Silva (2001), Room for the Rhine in the Netherlands; Summary of research results. Directorate-General of Public Works and Water Management & WL | Delft Hydraulics, RIZA-nota 2001.033, WL-rapport Q2975.22, ISBN 9036953871.

Wijbenga, J.H.A., J.J.P. Lambeek, E. Mosselman, R.L.J. Nieuwkamer & R.H. Passchier (1994), River flood protection in the Netherlands. Proceedings International Conference River Flood Hydraulics, 1994, York, Eds. W.R. White & J. Watts, Wiley, Paper 24, pp.275-285.

[réponses](#)

Q43 : Quelles sont les procédures de négociation qui permettraient de mettre au point ces dispositions ?

Nom, date	Texte
Erik Mosselman, 29/04	<p>Pour le déplacement de la digue à Nijmegen (Nimègue), on n'a pas suivi des procédures routinières. Un accord s'est créé comme suit. Le déplacement de la digue (pour éliminer un goulet) implique la démolition de quelques dizaines de maisons. Son effet est la réduction des niveaux d'eau amont aussi bien que la réduction des niveaux d'eau dans un autre bras du Rhin. Donc il y avait l'impression de sacrifier Nijmegen pour sauvegarder une autre partie des Pays-Bas. Au début, la ville de Nijmegen a voulu résister fortement. Ensuite, on a conclu que, très probablement, le déplacement serait inévitable. Une politique de résistance risquait d'être vaine. La ville a changé sa stratégie : choix d'une coopération pour mettre toute son énergie dans la négociation des indemnités. Ainsi la ville a obtenu que l'état paie un second pont à travers le fleuve. De plus, on a offert aux "sinistrés" de la démolition le premier choix d'appartements nouveaux, avec vue sur le fleuve. Environ 50% des sinistrés en est content, parce qu'ils obtiennent une amélioration de leur situation. L'autre 50% en reste mécontent pour des motifs affectifs. Ces derniers forment encore un groupe de résistance faible.</p>
E. Mosselman, 29/04	<p>Aux Pays-Bas, 693 mesures locales pour réduire les niveaux d'eau le long les bras du Rhin lors d'une crue de référence ont été proposées par ceux qui y ont un intérêt (état, provinces, communes, syndicats des polders, citoyens individuels). L'effet de chaque mesure a été calculé avec un modèle bidimensionnel (c'est-à-dire: les réductions des niveaux d'eau provoquées par chaque mesure, le long les bras du Rhin). Egalement, les coûts de chaque mesure ont été calculés, aussi bien que les effets secondaires. Ayant vérifié qu'en cas de combinaisons de mesures, on peut superposer les réductions des niveaux d'eau dus aux mesures individuelles, on a construit un outil facile et interactif pour composer des stratégies intégrales: le "Blokkendoos" ou "Planning Kit". Le cœur de l'outil est une base de données qui contient tous les résultats des calculs. L'utilisateur peut choisir des combinaisons de mesures sur une carte des bras du Rhin (sur l'écran de l'ordinateur) et faire visualiser les effets, les coûts et les effets secondaires. En utilisant cet outil, on découvre ce qui est efficient et ce qui coûte trop, en vivant l'expérience d'être un ingénieur qui cherche à résoudre le problème. Ainsi, les solutions prometteuses ne sont pas imposées pas des autorités, mais découvertes par les gens eux-mêmes. L'outil s'est montré populaire: il est utilisé vraiment par la population (y inclus maires, etc.), pas seulement par ceux qui ont une affinité avec les ordinateurs ou la technologie. De plus, l'outil rend l'information accessible à toutes les parties, de la même façon pour tous.</p>
E. Mosselman, 29/04	<p>Pour bien communiquer sur les risques d'inondation, il vaut la peine d'expliquer au public que la probabilité d'une crue centennale (1/100 par an) veut dire que la probabilité d'être inondé pendant une vie de 85 ans égale 57% ($= 1 - (1 - 1/100)^{85}$). La probabilité de rencontrer une crue cinquantennale pendant une vie de 85 ans égale 82%. Cette formulation alternative est plus facile à comprendre (on en obtient une perception plus réelle du risque, c'est-à-dire une perception que le risque d'inondation soit plus sérieuse).</p>

Q44 : Sur quels outils juridiques est il possible de s'appuyer pour les mettre en œuvre ?

Nom, date	Texte
E.Mosselman, 31/04	<p>Bien que, strictement, il ne s'agisse pas d'un "outil juridique", je voudrais satisfaire ici à la demande suivante de Gérard Brugnot : « <i>Vous pouvez nous aider [...] en nous donnant des exemples de mode de gestion du risque d'inondation sur d'autres régions d'Europe [...] aussi des choix politiques. Sur ce dernier point, l'action des Pays Bas est très intéressante (rôle des waterboards)</i> ».</p> <p>Aux Pays-Bas, la construction et l'entretien des digues sont des tâches des syndicats de polder appelés "waterschappen" ou "hoogheemraadschappen" (anglais : "waterboards") : des communautés autonomes d'intérêt hydraulique. Les premiers syndicats de polder s'ayant été formés à partir du 11^e siècle, ils se vantent d'être les premières administrations démocratiques des Pays-Bas. Leurs tâches comprennent, outre le soin des digues, la gestion de l'eau dans les polders : niveaux d'eau (pompage), qualité de l'eau (épuration des eaux usées). Tous les propriétaires de bâtiments et de terrains dans le domaine d'un syndicat de polder payent des impôts, peuvent élire des députés au Conseil Général et sont éligibles pour le Conseil Général. Il y a des élections chaque quatre ans. Exemple : Hoogheemraadschap van Delfland (www.hhdelfland.nl) pour le domaine de la Haye, de Delft, d'Hoek van Holland et d'une partie de Rotterdam (donc un domaine beaucoup plus urbanisé que la Camargue). Les impôts y sont comme suit : (1) Euro 78,72 par an par hectare de terrain non bâti, (2) Euro 0,83 par an par chaque Euro 2268 de valeur économique des bâtiments.</p>

[réponses](#)

Synthèses des réponses aux questions posées

Caractérisation de l'événement[S1](#)

Le fonctionnement hydraulique du bassin concerné[S2](#)

Les scénarios de réduction du risque du Rhône aval[S3](#)

Les principaux rédacteurs de ces synthèses sont :

Denis Cœur, aidé de Daniel Duband et d'Eric Martin (1)

Paul Royet et Bernard Chastan (2)

Erik Mosselman et Bernard Picon (3)

On peut accéder à une question en cliquant sur la référence correspondante. On peut, de la même façon, revenir à la table des synthèses, en cliquant sur [synthèse](#)

1. Caractérisation de l'événement

Rappel des questions

Q11 : De quelles données dispose-t-on sur l'événement de décembre 2003 ?

Q12 : Quelle est leur fiabilité ?

Q13 : A partir de ces données, quel événement peut-on reconstituer ?

Q14 : Quelles études complémentaires seraient nécessaires pour améliorer la qualité de cette reconstitution ?

Q21 : Comment cet événement se situe-t-il sur le plan historique ?

Q22 : Est-il possible de lui affecter une probabilité ?

Q24 : Quels rapprochements peut-on faire avec des événements extrêmes affectant des territoires "comparables" (delta du Pô, Rhin etc.) ?

Remarque préliminaire

Les questions sur l'événement demandaient aux experts d'apporter un double avis. L'un sur la disponibilité et la qualité des différents types de données nécessaires pour décrire et qualifier l'événement de décembre 2003, l'autre sur la réalité hydrométéorologique de l'événement proprement dit. Cette approche biface de l'expertise est sans doute ce qui a le plus posé problème, la distinction entre les deux registres n'étant pas forcément évidente pour tous. Beaucoup d'interrogations sur la difficulté à obtenir les données de base en nombre et qualité suffisants de la part des différents opérateurs concernés ont été exprimées de manière orale.

Les données disponibles sur l'épisode de décembre 2003, leur fiabilité

- Les données pluviométriques

Le groupe a eu accès à des données fournies par la direction Inter-régionale Centre-Est de Météo-France, à laquelle la CNR avait commandé un rapport sur l'épisode. Les données utilisées pour cette étude étaient les postes disponibles à Météo-France en avril 2004, c'est-à-dire principalement les stations du réseau climatologique d'Etat (une centaine de postes par département), des stations synoptiques humaines, ainsi que des stations automatiques. Les cartes de précipitations quotidiennes sur le bassin du Rhône pendant l'épisode ont permis d'appréhender la dynamique générale des précipitations. Des pluviogrammes horaires ont été enregistrés sur 9 stations réparties sur l'ensemble du bassin versant du Rhône. Enfin, des données de précipitations par sous-bassins du Rhône ont été diffusées plus tardivement au groupe. Compte tenu du temps réduit pour l'analyse des données, certaines n'ont pas été exploitées de manière très détaillée.

- Les données hydrologiques

Les données disponibles ont été fournies par la DIREN de bassin et complétées par les sources EDF et CNR. On retiendra en particulier *les débits de pointe de crue et les hydrogrammes du 1 au 6 décembre 2003* analysés sur le Rhône (Ternay, Valence, Pont-de-Viviers, Pont-Saint-Esprit, Avignon, Beaucaire-Tarascon) et sur un certain nombre d'affluents (affluents du BVI Ternay-Beaucaire, Gier à Givors, Cance à Sarras, Galaure à St-Uze, Doux à Tournon, Isère à St-Gervais et Beaumont Montoux, Bourne à Pt de Manne, Eyrieux à Pt de Chervil et Ollières, Veore à Beaumont, Drôme à Saillans, Roubion à Montélimar, Ardèche à St Martin, Cèze à Bagnols, Aygues à Orange, Ouvèze à Bédarrides, Gard à Remoulins avec un hydrogramme biaisé, Durance à Bompas et à Cadarache.

L'analyse du débit de pointe du Rhône à Beaucaire et la critique de la *courbe de tarage* s'est appuyée sur 37 *jaugeages* effectués de 1992 à 2003. D'autres jaugeages sont disponibles à Pt de Viviers, ainsi que les *cotes et débits horaires* à Ternay –Valence-Pt de Viviers –Beaucaire pour les crues d'octobre 1958 (CNR), octobre 1993, janvier 1994, novembre 1994, septembre 2002, décembre 2003.

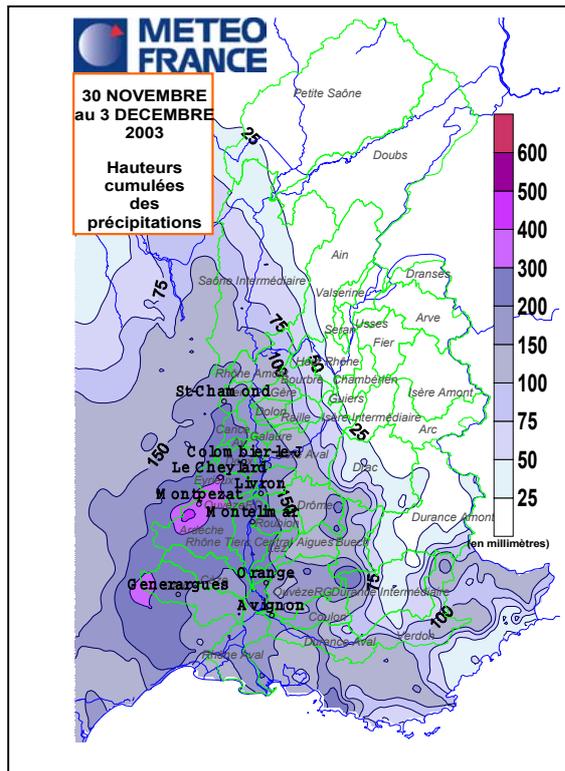
En ce qui concerne les dégâts occasionnés aux ouvrages, les recensements effectués pour le compte de la DIREN constituent une base de données exhaustive.

L'événement de décembre 2003

Si sur le plan pluviométrique la description générale de l'événement de décembre 2003 apparaît satisfaisante, en revanche la définition hydrologique fournie par les premiers rapports et les données disponibles reste encore à préciser sur nombre d'aspects. Pour le GAES, la mise en cohérence et la critique des données n'ont pas à ce jour été menées à un terme suffisant par rapport à l'ampleur du phénomène.

- La pluie

Chronologiquement, on constate que l'événement pluvieux du 30 novembre au 3 décembre 2003 survient après deux épisodes de précipitations de type cévenol (15-16 et 21-24 novembre).



Sur un plan méthodologique, la question de l'explication du rendement de ces pluies divise le groupe. La prise en compte des précipitations survenues au cours des semaines antérieures apparaît pour les uns prépondérante (cf. rôle de la saturation hydrique des sols), pour d'autres c'est avant tout l'intensité des précipitations durant les premières heures et premiers jours de l'événement qui prime.

Les plus fortes hauteurs de précipitations sont relevées sur les têtes des bassins cévenols (Gard et Ardèche) avec plus de 300 mm, mais la zone concernée ne se limite pas à ces bassins comme dans un épisode cévenol « classique ».

En effet, l'orientation au sud du flux de basses couches fait que la zone des précipitations importantes s'étend plus au nord jusqu'au bassin de la Saône Intermédiaire avec une limite nord de l'isohyète 200 mm située vers le bassin du Gier. Cette extension vers le nord est très caractéristique des crues à caractère méditerranéen extensif.

Par opposition, l'extension de la zone des fortes précipitations vers les Alpes est extrêmement limitée : le bassin de la Durance est surtout concerné dans sa partie aval et une majorité des bassins des Alpes restent à l'écart des pluies. On relève toutefois quelques zones avec 200 mm en tête des bassins de la Drôme, du Verdon, ainsi qu'à l'intersection des bassins de l'Ouvèze Rive Gauche, du Coulon et de la Durance Intermédiaire.

Une étude menée par la direction de la production de Météo-France à partir du système SAFRAN-ISBA-MODCOU donne quelques chiffres de volume d'eau pour la partie française du bassin du Rhône ::

Période (de 6H UTC à 6H UTC)	Volume de précipitation (millions de m ³)
30/11/03 – 01/12/03	549
01/12/03 – 02/12/03	3078
02/12/03 – 03/12/03	2567
03/12/03 – 04/12/03	380

En terme de durée de retour des précipitations, l'étude faite les 9 stations à enregistrement horaire fournit des éléments intéressants, même si ces données ne couvrent pas la diversité des situations à l'échelle du Rhône. Ainsi, les quantités de précipitations en moins de 3 heures ne présentent pas de caractères remarquables (durée de retour inférieur ou égale à 4 ans). A contrario, des valeurs exceptionnelles apparaissent sur certains postes (durées de retour des précipitations cumulées en 1,2 ou 3 jours supérieures ou égales à 100 ans). Il s'agit des postes de Saint-Chamond, de Livron et d'Orange.

- L'hydrologie

Débits et courbes de tarage ont fait l'objet d'un important travail d'analyse et de critique par le GAES (volumes y compris) dans le BV intermédiaire Ternay (50 500 km²) et à Beaucaire (95 500 km²). La comparaison des gradients débit amont-aval des grandes crues historiques observées depuis deux siècles dans le corridor Rhône (plus de 20 crues pour 4 types de temps : océanique, cévenol, méditerranéen extensif, généralisé), permet de détecter des anomalies en 2003 et 2002. On remarque à ce propos une analogie significative entre la crue de décembre 2003 et celle de novembre 1935 d'origine méditerranéenne extensive. Les isohyètes des épisodes pluvieux générateurs sont comparables. La pointe de crue en 1935 a atteint 9600 m³/s contre vraisemblablement 10800 m³/s en 2003.

Après analyse approfondie des données hydrométriques récentes et de celles de la dernière décennie, le GAES estime qu'il existe en effet de très fortes présomptions pour que le débit de pointe de la crue du Rhône à Beaucaire le 4 décembre 2003 soit proche de 11 000 m³/s. Cela correspond à un volume d'apports de 1700 hm³ (en 5 jours) qui pour une pluie moyenne de 150mm sur 35000 km² (hauts bassins de l'Isère et de la Durance exclus) correspond à un coefficient de ruissellement global légèrement supérieur à 30%. Quelques bassins ont présenté un coefficient de ruissellement un peu supérieur à 50% (Eyrieux, Ardèche) et d'autres inférieurs à 25%.

Avec 11000 m³/s en pointe à Beaucaire, l'évènement de décembre 2003 est donc inférieur à la crue centennale estimée à 11300 m³/s après ajustement d'une loi de Gumbel aux 153 débits maxima annuels relevés à cette station pendant un siècle et demi. Sa durée de retour est estimée à 75 ans, avec un intervalle d'incertitude à 70% compris entre 50 et 150 ans.

- Le recul historique

La mise en perspective des éléments descriptifs rassemblés sur l'évènement de décembre 2003, montre qu'en terme de débit il se situe pour le bas Rhône (Beaucaire) parmi les trois évènements les plus importants des deux derniers siècles. Avec 11 000 m³/s, cela le positionne en deçà des épisodes historiques de novembre 1840 (13 000 m³/s) et mai 1856 (12 500 m³/s), tandis que les hypothèses de tarage retenues font dans le même temps repasser les maxima enregistrés lors des crues de janvier 1994, septembre et novembre 2002, au-dessous des 10 000 m³/s. Ces dernières rejoignent alors les évènements d'octobre 1993, novembre 1935, novembre 1886, voire novembre 1951.

A l'échelle des cinq derniers siècles, et autant que puissent le dire les synthèses historiques disponibles fondées sur des descriptions qualitatives et des hauteurs d'eau maxima atteintes en un point, l'évènement de 2003 se situerait parmi les dix évènements hydrométéorologiques les plus remarquables.

Outre les crues rappelées ci-dessus on peut rajouter les épisodes de novembre 1548, octobre 1636, novembre 1651, novembre 1674, novembre-décembre 1755. Ces éléments mériteraient d'être précisés par des enquêtes approfondies en archives. Les données disponibles sur les évènements de novembre 1840 et mai 1856 soulignent en particulier le rôle joué par les ouvrages et aménagements. En aval de Viviers, les hauteurs d'eau atteintes lors de la crue de 1840 sont ainsi restées sensiblement inférieures à celles enregistrées en 1856, en dépit d'un

débit maximum supérieur.

- Rapprochement avec des territoires comparables

Au vu de ce qu'ont connu certains bassins d'Europe centrale, la survenue d'événements extraordinaires pouvant atteindre ou dépasser par leur ampleur tout ce qu'on a connu par le passé est une éventualité qu'on ne peut aujourd'hui rejeter.

Les études complémentaires

Compte tenu de l'importance de l'événement et des données disponibles, une monographie hydrométéorologique détaillée de l'épisode de novembre-décembre 2003 à l'échelle du Bassin versant constituerait une référence méthodologique mais surtout un outil de diagnostic opérationnel fort utile. Elle permettrait d'apporter une plus grande cohérence aux nombreuses données déjà disponibles et à celles qui restent encore à collecter. Parmi les pistes à explorer, le GAES pense entre autre que l'analyse comparative des hydrogrammes des plus grandes crues à l'échelle historique permettrait de mieux qualifier l'événement dans sa genèse. Outre les débits de pointe, la prise en compte des volumes totaux mobilisés permettrait ensuite de mieux appréhender le rôle des aménagements. Une approche spatiale plus fine de l'événement, à l'échelle des sous bassins, permettrait de mieux caractériser les phénomènes de concomitance, et de préciser les estimations de débits (développement des chronogrammes de crues). Les monographies événementielles et régionales proposées par M. Pardé dans sa thèse constituent de ce point de vue des modèles dont pourrait s'inspirer cette démarche de connaissance.

A propos des analyses comparées multiséculaires visant à qualifier les événements entre eux et partant à avancer dans la définition de l'événement de référence, le GAES souligne l'intérêt qu'il y aurait aussi, tant sur un plan méthodologique que d'un point de vue factuel, à disposer, au moins pour les plus grands événements, de données historiques à l'échelle du bassin versant (données hydrométéorologiques mais aussi informations relatives aux aménagements successifs du cours d'eau). Comme l'ont montré les recherches menées par le Cemagref, la prise en compte de l'information historique est une des pistes à retenir pour améliorer l'analyse probabiliste des crues extrêmes (recul de 200 ans minimum). Elle requiert toutefois une méthodologie capable d'intégrer différents niveaux d'incertitude.

[synthèses](#)

[Introduction](#)

2. Le fonctionnement hydraulique du bassin concerné

Rappel des questions posées sur le fonctionnement hydraulique

Q31 : Dans ce domaine, quelle évaluation peut-on faire de l'incidence des aménagements hydrauliques depuis 1840 ?

Q32 : Quelles sont les modélisations actuellement utilisées pour représenter le fonctionnement hydraulique du bassin concerné ?

Q33 : Quels est le fonctionnement des aménagements dans le cas de crues extrêmes ?

Q34 : Quel est le rôle de la dynamique fluviale et comment est-elle prise en compte dans l'étude du fonctionnement du bas Rhône et de ses affluents ?

Tout d'abord, le Groupe souligne que ces questions sont toutes traitées, à des niveaux divers de détail, dans l'étude menée sous l'égide de Territoire Rhône, et dont la synthèse a été rédigée par Hydratec⁶. Le Groupe, dans ses conclusions, se réfère donc à cette étude et aux nombreux documents qui ont été produits pendant les trois années qu'ont duré ces travaux. Il y a là une base remarquable pour engager des actions qui, au cas par cas, pourront nécessiter des approfondissements dont certains sont évoqués ci-après.

Concernant la question 31, le Groupe ne s'est pas estimé en mesure de remonter jusqu'en 1840 et de proposer des conclusions concernant par exemple les impacts des aménagements pour la navigation réalisés à la fin du 19^{ème} ou au début du 20^{ème} siècle sous l'égide de l'Ingénieur Girardon⁷. Nous avons donc considéré un point zéro qui se situerait au milieu du 20^{ème} siècle, avant que ne démarrent les aménagements réalisés par la CNR. Les réponses à la question sont alors largement dans l'Etude Globale Rhône et on peut les résumer ainsi :

- Le régime des crues moyennes (période de retour de l'ordre de 10 ans) n'est pas significativement modifié par les aménagements ;
- En cas de fortes crues (période de retour de l'ordre de 100 ans), les aménagements de la CNR ont, par contre, soustrait 120 km² de plaine inondable entre Lyon et Beaucaire, et fortement réduit la superficie inondée sur ce tronçon. On peut penser qu'en conséquence la vitesse de propagation de la crue et le débit en aval de Beaucaire ont été augmentés.
- Les aménagements de la CNR sont dimensionnés pour contenir jusqu'aux très fortes crues (période de retour de l'ordre de 1000 ans), mais pour de tels événements, les digues syndicales le long du couloir rhodanien et dans le delta sont largement submergées (elles le sont pour la plupart dès que l'on dépasse les fortes crues).
- L'étude met donc clairement en évidence une hétérogénéité dans les niveaux de protection des plaines, selon qu'elles sont situées derrière les digues de la CNR ou derrière des digues syndicales. Le croisement avec les enjeux situés dans ces plaines met en évidence un certain nombre de secteurs présentant un risque élevé, parfois encore aggravé par la fragilité intrinsèque de certaines digues.

Concernant la question classiquement controversée de l'influence des modalités de gestion des barrages sur les niveaux en crue, l'Etude Globale Rhône apporte là aussi des éléments de réponse. Sur le Rhône en aval de Lyon, les volumes mobilisables dans les retenues sont de l'ordre de quelques millions de m³, à comparer à des volumes de crues de plusieurs milliards de m³, et les simulations faites ont montré que la mobilisation de ces volumes, pour autant qu'on la fasse juste au moment de la pointe, permettrait d'abaisser la ligne d'eau de seulement 10 cm (et jusqu'à 20 cm entre Vallabrègues et Arles).

Par rapport à cette faible efficacité, le Groupe s'accorde pour souligner la difficulté, voire les

⁶ Hydratec, novembre 2002. **Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône** - Propositions préalables à la définition d'une stratégie globale de réduction des risques dus aux crues du Rhône, 104 p.

⁷ Des éléments de réponse sont cependant apportés sur ce point dans l'Etude Globale Rhône

risques qu'il y aurait à gérer des creux préventifs dans les retenues : en effet, si la dynamique du Rhône lui-même est bien connue, nous sommes aujourd'hui dans l'impossibilité de prévoir correctement les hydrogrammes des affluents, en particulier de la rive droite. Le risque supplémentaire lié à une mauvaise anticipation possible de la crue résultante conduit à recommander une attitude de prudence sur ce point.

Ceci n'empêche pas de reposer à nouveau la question à moyen terme, lorsque les nouveaux outils de la prévision des crues auront fait leurs preuves.

Par ailleurs, sur certains aménagements, la répartition des débits de crue entre l'usine et le barrage a une influence sur les lignes d'eau respectives entre les deux bras du fleuve. C'est en particulier le cas pour l'aménagement de Vallabrègues⁸, avec une influence qui se fait sentir aussi sur le remous dans le Gard. Le Groupe n'ayant pas eu à sa disposition le cahier des charges de la gestion en crue des barrages, n'a malheureusement pas pu approfondir ce point.

Les modélisations hydrauliques utilisées

La modélisation développée pour représenter le fonctionnement hydraulique du Rhône couvre l'ensemble du cours français du fleuve, du Lac Léman à la mer Méditerranée. Le découpage de ce vaste ensemble en 20 biefs principaux s'appuie tout à fait logiquement sur les aménagements hydroélectriques existants :

- Dans la grande majorité des cas (18 sur 20), un bief comprend un tronçon du Rhône entre deux barrages et des aménagements usiniers en dérivation, entre les deux usines de production hydroélectrique respectivement associées aux deux barrages. Entre ce "quadripôle" d'ouvrages (à l'amont un barrage - une usine en dérivation, à l'aval un barrage - une usine en dérivation) s'enchaînent généralement une confluence entre le Rhône court-circuité et le canal de fuite de l'usine amont, puis un tronçon unique suivant le cours du vieux Rhône, éventuellement réaménagé, puis une nouvelle partition du débit, une partie entrant dans le canal d'amenée de l'usine aval, une autre suivant le Rhône vers la retenue du barrage aval.
- Les 2 autres biefs ne sont pas aménagés pour la production hydroélectrique. Il s'agit d'une part du long bief du Rhône, dit bief à courant libre, compris entre la restitution de Sault Brenaz et le barrage de Jons. Il s'agit surtout du bief représentant le delta du Rhône, à l'aval de Beaucaire, où intervient notamment la partition entre le Petit Rhône et le Grand Rhône.

Au total, on a affaire à un réseau maillé de tronçons, de grande dimension, alimenté latéralement par de nombreux apports, en particulier par de grands affluents possédant leur régime hydrologique propre, et en présence de nombreux ouvrages susceptibles d'influer sur la répartition interne des écoulements. Dans ce grand système, et de par sa taille même, les aspects dynamiques sont importants, et il est indispensable, au plan hydraulique, de prendre en compte explicitement la dimension temporelle des phénomènes, même si plus localement de bonnes approximations peuvent être obtenues par des calculs en régime permanent ou des bilans de volume.

La modélisation effectuée répond très largement à cet ensemble de contraintes. Elle met en œuvre des outils et une méthodologie avérés, ayant montré leur efficacité dans d'autres cas similaires. Les modèles utilisés sont de type modèle filaire à casiers, transitoire, en réseau maillé, avec échanges entre casiers réglés par pertes de charge linéaires (frottement) ou singulières (lois d'ouvrages). Les calages sont dégrossis en régime permanent bief par bief, affinés bief par bief en régime transitoire, établis sur un ensemble de données observées (laisses de crues, mesures hydrométriques), enfin validés sur un autre jeu de crues. Au final, deux modèles subsistent : le modèle décrivant le fonctionnement hydraulique du delta (bief 20) et un modèle complet enchaînant l'ensemble des biefs en amont de Beaucaire (biefs 1 à

⁸ Cf. Etude Sogréah.

19), lui-même globalement validé sur les données limnimétriques et les temps de propagation observés de différentes crues.

Le Groupe souligne l'importance du travail de modélisation accompli et l'utilité de disposer ainsi d'un ensemble d'outils qui permet d'une part, une première évaluation quantitative de scénarios d'aménagement, et d'autre part de formuler plus clairement les besoins d'études complémentaires, le cas échéant.

La précision moyenne annoncée sur les lignes d'eau calculées par ces modèles est de 10 cm en lit mineur et de 20 cm en lit majeur. Ils permettent d'autre part une reconstitution fidèle des vitesses de propagation des crues et de leur évolution à la traversée des champs d'expansion ou à la traversée des confluences avec les affluents importants. Sans mettre en cause sur le fond ces éléments, le Groupe souligne cependant les incertitudes fortes qui restent attachées aux modélisations effectuées, dues à la nature et aux limites des modèles utilisés et des méthodologies mises en œuvre, particulièrement pour les très fortes crues :

- La validation des modèles devrait être approfondie sur le cas d'une crue très forte généralisée, comme celle de décembre 2003, afin de mesurer leur pertinence dans des cas dépassant très largement les plus fortes crues de calage utilisées ;
- L'approche filaire utilisée n'est pas très adaptée pour répondre à des cas où des effets bidimensionnels peuvent être importants ; notamment dans une zone de grand casier (certains avoisinent 10 km²), la dynamique des écoulements consécutifs à une rupture de digue ne pourra être correctement approchée a priori avec les outils développés, sauf à disposer de mesures locales obtenues lors d'un événement antérieur similaire sur lesquelles la modélisation aura déjà été calée.
- Les effets de dynamique fluviale ne sont pas pris en compte. Ces effets, il est vrai très difficiles à estimer, sont susceptibles de modifier la géométrie et les caractéristiques des écoulements en cours de crue.

Fonctionnement des aménagements en cas de crues fortes à très fortes

Pour les crues fortes, on dispose désormais d'une expérience récente et riche au travers des crues successives d'octobre 1993, de janvier 1994, de septembre et novembre 2002 et de décembre 2003. Lorsque les études en cours auront permis d'évaluer les débits respectifs de ces crues, il sera intéressant de refaire tourner le modèle hydraulique pour en affiner le calage. Sans attendre, on peut cependant tirer un certain nombre d'enseignements de ces crues récentes :

En 1993 et 1994, alors que la ligne d'eau est restée partout largement en deçà des crêtes de digues les nombreuses ruptures ont eu pour origine des érosions par renard liés soit à des terriers d'animaux, soit à des traversées de conduites ;

L'entretien général qui est désormais pratiqué sur les digues (contrôle de la végétation, repérage des ouvrages de traversée et bouchage des terriers) a permis d'éviter tout désordre du même type en 2003, même si une conduite méconnue a bien failli provoquer une rupture majeure en rive droite du Grand Rhône.

Les travaux de confortement entrepris ces dernières années sur certains secteurs reconnus comme fragiles ont montré leur efficacité lors de la dernière crue qui a sollicité les digues à un niveau qu'elles n'avaient jamais connu depuis leur élévation au 19^{ème} siècle.

Les niveaux atteints par le fleuve ont affleuré, voire localement dépassé, la crête des digues, en provoquant plusieurs brèches par surverse (trémies de la voie SNCF, digue RD du Petit Rhône) et confirmant, s'il en était besoin, la grande fragilité de ces remblais à la surverse.

Enfin, en plusieurs points, on a constaté en décembre 2003, des affouillements importants qui ont érodé le ségonnal et attaqué le pied de digue. Ce mode potentiel de rupture n'avait pas été observé lors des précédentes crues et pose un problème technique très difficile à résoudre, sauf à déplacer la digue.

Sur le fonctionnement du Rhône aménagé, en cas de crues extrêmes, là aussi l'Etude Globale Rhône apporte de nombreux éléments de réponse, même si l'on pourrait parfois souhaiter des compléments. Indiquons tout d'abord que jusqu'aux crues très fortes ($T = 1000$ ans), les digues CNR ne débordent pas et les barrages sont transparents, donc sans influence significative. Par contre, les débordements sont généralisés sur les digues syndicales. Les scénarios de ruptures étudiés dans l'Etude Globale ne concernent que la zone du Grand Delta. Pour les zones protégées par des digues syndicales entre Lyon et Beaucaire, on peut raisonnablement supposer qu'en cas de rupture, ce serait toute la zone qui serait inondée jusqu'à la cote maximale du fleuve.

Dans la zone du Grand Delta (en aval de Beaucaire / Tarascon), l'Etude Globale a simulé 16 scénarios de ruptures de digues, concernant l'ensemble des grands tronçons. Ces scénarios ne représentent pas l'enveloppe maximale des submersions possibles, mais en donnent une idée assez représentative, ainsi qu'on peut en juger sur ce qui s'est passé en décembre 2003.

Les grandes options d'implantations de déversoirs ont été étudiées. Elles concernent plus particulièrement la rive droite vers le département du Gard. Même si l'implantation de déversoirs en rive gauche est probablement beaucoup plus difficile, sinon à éliminer, une telle option aurait dû être étudiée, ne serait-ce que dans un but pédagogique pour les phases ultérieures de négociation de ces aménagements.

Concernant la dynamique fluviale, l'Etude Globale sur le Rhône a bien mis en relief l'évolution du transport de sédiments sur le bassin du Rhône, évolution se traduisant par un charriage très fortement réduit et un transport en suspension diminué de 50% environ. Malgré ce constat, on peut noter le rehaussement de certains tronçons en parallèle à l'incision du chenal principal (pouvant mettre en danger les digues lors de fortes crues). A cause du changement de régime hydrologique (barrages surtout), le comportement lors des différentes crues est très différencié. Dans le delta, une forte crue pourra amener de forts dépôts (jusqu'à 2 m en 1993) qui seront érodés ultérieurement par des crues plus faibles ; en parallèle, des érosions locales, en particulier des pieds de berges, peuvent se produire et amener des désordres importants. De manière générale, l'ajustement du lit du Rhône suite à la construction des barrages sur l'ensemble du bassin versant n'est sans doute pas achevé et peut être remis en cause par de grandes crues telles qu'en 1993, 1994 et 2003.

La modélisation hydraulique de l'étude Globale sur le Rhône, que ce soit sur le delta ou à l'amont ne tient pas compte de la dynamique fluviale, les calculs étant effectués avec la dernière topographie disponible dans un lit fixe pendant la crue. Lors d'une crue extrême, ces hypothèses doivent être réexaminées (en particulier à la défluence Petit Rhône – Grand Rhône) ; il sera donc nécessaire d'effectuer une analyse détaillée des observations lors de la crue de décembre 2003 afin de pouvoir se prononcer sur la validation ou la remise en cause de ce type de calcul. De toute manière, l'influence locale lors d'une crue telle que décembre 2003 implique de considérer avec prudence toute observation locale du niveau d'eau.

=====

[synthèses](#)

[Introduction](#)

3. Les scénarios de réduction du risque du Rhône aval

Rappel des questions correspondantes :

Q41 : Quels sont les risques pour ces enjeux ?

Q42 : Quelles sont possibilités de réduction de ces risques e.g. ralentissement et stockage d'eau de crue?

Q43 Quelles sont les procédures de négociation qui permettraient de mettre au point ces dispositions ?

Q44 : Sur quels outils juridiques est il possible de s'appuyer pour les mettre en œuvre ?

Dans la synthèse qui suit, on distingue le volet technique, qui propose des actions de réduction de vulnérabilité – qui ne sont pas toutes structurelles – du volet non-technique, qui pose les conditions de base pour que le volet technique puisse être mis en œuvre :

3.1. Volet technique

Les trois recommandations du groupe sont les suivantes :

A. Renoncer à chercher une réduction des crues du Rhône par des mesures amont ;

B. Améliorer l'entretien des digues de sorte qu'elles présentent toutes un niveau de fiabilité satisfaisant et homogène (décembre 2003 en a montré l'importance!). Ceci implique de moderniser et de compléter de façon "réaliste" les ouvrages de protection anciens, notamment dans la partie aval ;

C. Parmi les solutions de réduction de vulnérabilité, privilégier :

- C1. Les mesures d'adaptation, telles que : maisons sur piliers, tertres, bâtiments flottants, plan de vigilance, système d'avertissement, gestion de crise, délocalisation des enjeux très exposés, etc.;
- C2. Les solutions qui donnent plus d'espace au fleuve, afin d'abaisser les lignes d'eau.

Sur ce dernier point, notamment: (C21) déplacement des digues (les coûts marginaux sont faibles si on en profite pour les conforter) et (C22) élimination des goulets d'étranglement (mesure efficace à court terme, qui n'exclut pas d'autres possibilités pour abaisser les lignes d'eau en donnant plus d'espace au fleuve).

Le groupe recommande une étude coût-avantage afin de déterminer les stratégies optimales en fonction des coûts des mesures possibles et des gains qui en résultent. Cette étude pourra prendre comme scénario de référence la crue de décembre 2003, d'une part, une crue construite à partir des événements de 1840 et 1856, d'autre part.

3.2. Volet non technique

Partant du constat d'une trop grande multiplicité de gestionnaires, le groupe propose de :

D. Décentraliser les responsabilités et les moyens financiers au bénéfice d'un acteur unique, chargé de coordonner la gestion du fleuve.

E. Obtenir l'intégration de la problématique des risques par toutes les institutions publiques et privées et par les particuliers, acteurs de l'aménagement du territoire. Cela impliquera de rendre les riverains plus conscients du système fluvial, de ses dangers, mais aussi du décalage entre l'image symbolique du territoire et son fonctionnement réel.

F. Faire participer tous les bénéficiaires à la sélection des solutions et à leur financement.

L'exemple néerlandais montre que ces recommandations ne sont pas incompatibles, à condition de prévoir des structures appropriées, à la fois démocratiques et techniquement efficaces. Dans ce contexte, la coopération entre ingénieurs et population, l'appel aux initiatives des habitants permettront de prendre des mesures d'intérêt général au détriment d'intérêt particuliers, bien indemnisés.

3.3. Recommandation spécifique

Le groupe préconise qu'Arles bénéficie d'une étude plus détaillée, et ceci pour les raisons suivantes :

- Certains quartiers d'Arles sont particulièrement vulnérables ;
- Arles semble être un goulet d'étranglement dans les lignes d'eau du Bief du Palier d'Arles ;
- Arles se trouve à la défluence qui détermine le partage des eaux Grand Rhône - Petit Rhône.

Cette recommandation ne préjuge pas des résultats d'une étude coût avantage qui serait menée à l'échelle du bas Rhône, afin de classer les mesures correctives en fonction de leur efficacité.

=====

[synthèses](#)

[Introduction](#)

Documents accessibles

Caractérisation de l'événement, événements de référence

Le Rhône à Beaucaire (Daniel Duband et Philippe Bois)

[Documents à annexer\Rhône à Beaucaire.pdf](#)

Groupe d'Appui et d'Expertise Scientifique. Volet historique. Note de synthèse (Denis Cœur)

[Documents à annexer\RappHisto GAES BasRhône04 Coeur.doc](#)

Piena dei corsi d'acqua (2-4 dicembre 2003) nel Piemonte sud-occidentale (Domenico Tropeano et Laura Turconi).

[Documents à annexer\Evento 2-4 dicembre nel Piemonte sud-occidentale testo + immagini.pdf](#)

Histoire des aménagements

Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône : Les « catastrophes » de 1856 et 1993-1994 (Paul Allard, Bernard Picon & al.) :

[Documents à annexer\rapport final PICON.doc](#)

Mesures de réduction de la vulnérabilité

Vers une gestion durable des risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse (Aljosja Hooier, Frans Klijn, Jaap Kwadik, Jaas Pedroli & al.) :

[Documents à annexer\IRMA-SPONGE-fr.pdf](#)

Rupture de digues

L'inondation dans la plaine du delta Pô en juin 1957 (Franca Mariaga) :

[Documents à annexer\Crue du Pô de 1957.doc](#)

L'inondation de Rhin et de la Meuse (février 1805) :

[Documents à annexer\Land v Maas en Waal flood 1805.avi](#)

Inundation of a Dutch river polder, sensitivity analysis of a inundation model using historical data (Annika Hesselink & al.) :

[Documents à annexer\Hesselink.pdf](#)

=====

[Introduction](#)