

# Revue bibliographique – Panorama de la recherche sur les préventions des inondations

Christine Poulard

Les références sont réparties en plusieurs listes, à la fin de la note bibliographique, selon la nature du document :

- articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences (en langues française et anglaise) ;
- quelques thèses récentes (en français) ;
- documents techniques de synthèse et de recommandations, rapports ;
- rapports parlementaires français ;
- chronologie de quelques projets européens et conférences récentes ;
- quelques liens vers des sites universitaires allemands.

Ce découpage peut rendre plus difficile le repérage d'une référence en partant du texte de la note bibliographique, mais il facilite en revanche la tâche du lecteur recherchant une catégorie donnée de documents.

## Introduction : la gestion intégrée et durable du risque d'inondation

L'Union européenne (UE) donne dans sa directive relative à la gestion des inondations (2007) la définition suivante du risque d'inondation : « *La combinaison de la probabilité d'une inondation et des conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées à une inondation* ». On retrouve la plupart du temps cette description du risque par ses deux composantes : l'aléa (le phénomène physique, probabiliste) et les enjeux susceptibles d'être touchés. Les enjeux sont caractérisés par une vulnérabilité,

exprimée soit par une estimation des dommages attendus associés à l'aléa, soit par un besoin de protection (Gilard, 1998).

La gestion du risque d'inondation consiste à jouer sur les deux volets de ce risque : l'aléa – par des travaux hydrauliques modifiant les débordements – et la vulnérabilité – en modifiant le niveau des impacts attendus. Et ces impacts sont multiples, comme indiqué dans la citation précédente de la directive « Inondations ». De même, toute action a ses avantages et ses coûts, et va entraîner des conséquences dans d'autres domaines : les aménagements hydrauliques modifient l'aléa dans l'espace mais perturbent également le

### Les contacts

Cemagref, UR  
HHLY, Hydrologie-  
hydraulique, 3 bis quai  
Chauveau, CP 220,  
69336 Lyon Cedex 09

1. En anglais : *Associated Programme on Flood Management* : programme associé de gestion des crues.

2. Le Programme IRMA-Sponge a pour but de contribuer au thème 3 (amélioration des connaissances et de la collaboration) du Plan commun d'action IRMA (Interreg Rhine Meuse Action), programme interrégional de type Interreg II-C initié par la Commission européenne et visant à réduire les risques d'inondation dans les bassins versants du Rhin et de la Meuse.

3. En anglais : *European Symposium on Flood Risk Management Research*.

4. Le réseau Era-Net Crue a été créé pour consolider les programmes européens de recherche sur les inondations, promouvoir les bonnes pratiques et identifier les lacunes et les possibilités de collaboration pour le contenu d'un programme futur. Ses treize partenaires proviennent de la plupart des pays européens qui ont été les plus touchés par les inondations. En soutenant les bonnes pratiques et la diffusion des connaissances, chaque partenaire espère améliorer la gestion des inondations dans son pays et dans le reste de l'Europe.

milieu naturel, ses habitats, sa biodiversité et la productivité de ses écosystèmes (Wasson, 1998 ; APFM<sup>1</sup>, 2006c).

Il faut donc chercher à quantifier l'ensemble des conséquences possibles des mesures envisagées pour trouver une solution réellement pertinente, par une approche intégrée.

Le programme associé de gestion des crues (APFM, 2004) utilise une définition de la gestion intégrée des crues centrée sur le développement économique : « *La gestion intégrée des crues intègre la mise en valeur des ressources terrestres et hydriques dans un bassin fluvial, s'inscrit dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) et vise à donner son ampleur maximale à l'exploitation rationnelle des plaines d'inondation tout en réduisant autant que possible les pertes en vies humaines. Ainsi, des pertes occasionnelles causées par des inondations sont acceptables dans la mesure où elles se justifient par une exploitation de plus en plus rationnelle des terres inondables dans une perspective à long terme* ».

En effet, il n'est pas toujours possible d'empêcher toute activité en zone inondable, ne serait-ce qu'à cause du bâti existant. Kundzewicz (1999) signale qu'en Chine du Nord, les zones les plus fertiles sont soumises à un aléa très sévère ; Freebairn (2006) montre que, contrairement à l'idée la plus communément admise, le développement économique d'une région inondable peut être un bon calcul à long terme d'un point de vue purement économique.

L'autre critère est la gestion durable. Kundzewicz (1999) soulignait que plusieurs définitions différentes étaient en usage. Pour l'APFM (2007), un développement est durable s'il « *répond aux besoins actuels sans nuire à la capacité des générations futures de répondre aux leurs* ». En corollaire, les choix présents de gestion ne doivent pas contraindre le développement futur, même si par nature il est difficile à prévoir (recommandation mise en avant dans le rapport du programme européen IRMA-Sponge<sup>2</sup>).

La réversibilité implique de prendre en compte les incidences des techniques employées sur l'environnement, dont les modifications sont rarement aisément réversibles. La directive européenne de 2007 invite d'ailleurs à tenir compte des objectifs environnementaux définis dans la directive cadre sur l'eau (UE, 2000).

Kundzewicz (1999) cite avec cette condition de réversibilité trois autres : l'équité, l'évaluation objective du risque – en prenant en compte également des événements extrêmes, et le consensus : le programme d'action doit être négocié avec les parties prenantes et accepté par tous. Il propose quelques recommandations pour mettre en pratique le principe de durabilité. On peut réduire les effets des crues, mais il n'est pas raisonnable de prétendre les éradiquer. Il faut « *vivre avec* » l'aléa et recourir aussi à des méthodes non structurelles pour réduire le risque (cf. plus loin).

Ainsi, beaucoup d'auteurs mettent effectivement en avant des préoccupations environnementales (Hooijer, 2004...), ou même étudient l'impact d'aménagements de restauration des plaines alluviales sur les inondations (Acreman, 2003). Les aménagements hydrauliques lourds sont à présent généralement déconseillés en raison de leurs conséquences sur l'environnement, de l'aggravation induite des crues à l'aval (par endiguements) ou encore des dangers en cas de rupture, mais aussi à cause de leur manque de réversibilité.

Dans les documents consultés, deux formulations sont récurrentes.

- « **L'approche traditionnelle, souvent appelée culture ou paradigme de lutte contre les crues (flood defence/flood protection), est désormais remplacée par la stratégie de gestion intégrée du risque (flood risk management, integrated flood management)** ». Cette formulation est commune à de très nombreuses références : déclarations des colloques APFM, document *Best Practices* de l'Union européenne (UE Commission, 2004a), conférence EFRM<sup>3</sup> 2007 ; Meyer *et al.*, 2008 ; conférence FLOODRISK 2008. Une stratégie de réduction du risque doit donc faire appel aux techniques structurelles – ouvrages – et à des mesures non structurelles – réduction de la vulnérabilité, systèmes d'alerte, culture du risque... (cf. premier appel d'EraNet Crue<sup>4</sup> centré sur ces mesures non structurelles) ;

- « **Il faut apprendre à vivre avec les inondations** » : on retrouve cette formulation dans les intitulés des projets « *Living with floods* » du cluster Irma-Sponge, FLOWS (*Living with flood risk in a changing climate*), ainsi que dans le descriptif de Freude am Fluss : « Faire la part de l'eau et vivre avec, plutôt que de la combattre »...). À titre anecdotique, une recherche sur internet avec l'expression « **Living with Floods** » donne

une avalanche de résultats<sup>5</sup> – articles de presse, ouvrages, sites de projets scientifiques, sites de collectivités locales ou de services de l'État – au ton volontariste ou résigné.

En pratique, « vivre avec les inondations » implique de réduire l'aléa de manière raisonnée, et réduire la vulnérabilité par des mesures non structurelles : relocalisations, dispositions constructives et protections amovibles, communication et maintien d'une culture des crues suffisante, plan de gestion de crise pour les autorités et pour les individus... (Kundzewicz, 1999 ; Hayes 2004 ; Petrow, 2006). Pour Krasovskaia (2001), le défaut de répartition claire des responsabilités entre les acteurs est un sérieux problème ; elle recommande en particulier la formation continue des personnes chargées de gérer la crise. Kundzewicz *et al.* (1999) soulignent que l'absence de crues significatives dans la période précédant la grande crue de 1997 en Pologne a amené un certain relâchement dans la maintenance des ouvrages et le niveau de préparation, ce qui a contribué à aggraver les conséquences des inondations. Krasovskaia (2001) a mené une enquête auprès de neuf cents habitants du bassin de la Glomma (Norvège), ayant subi récemment des crues, pour évaluer leur connaissance de l'aléa, des mesures de protection existantes et de la culture du risque en général. Les résultats sont décevants ; le plus inquiétant étant que moins de la moitié des habitants obéiraient immédiatement à un ordre d'évacuation.

Krasovskaia (2001) écrit en résumé que les stratégies de gestion de l'eau durables à l'échelle du bassin versant supposent une évaluation objective du risque d'inondation, et doivent intégrer les aspects écologiques, économiques et sociaux. Cependant, la gestion intégrée reste difficile à mettre en œuvre, pour deux raisons de natures différentes :

– la première tient à la difficulté de l'analyse économique. L'évaluation économique apparaît indispensable pour garantir la pertinence d'un projet. Les méthodes sont connues en France (Erdlenbruch, 2008 ; cf. « Sensibilité d'une analyse coût-bénéfice – Enseignements pour l'évaluation des projets d'atténuation des inondations », page 95 de ce numéro), mais moins répandues que dans les pays anglo-saxons. Les études de Freebairn (2006), Förster *et al.* (2005) soulignent la difficulté de collecter les données nécessaires à l'évaluation des dommages – directs et indi-

rects, morcelés sur le domaine privé. Lekuthai et Vongvisessomjai (2001) sont parmi les premiers à chercher à quantifier des dommages intangibles, en l'espèce les effets du stress induit par les inondations. Le calcul est compliqué par le fait que les coûts et les bénéfices sont partagés entre des acteurs différents – privé, État, collectivités ; Freebairn (2006) et Loucks *et al.* (2006) soulignent que le bénéfice des activités en zone inondable est privé alors que le coût de la protection revient à la collectivité. Enfin, (Point, 1999 ; Juliano, 1999 ; Brouwer et van Ek, 2004 ; Gamper *et al.*, 2006 ; Loucks, 2006) ont travaillé sur l'évaluation des coûts ou bénéfices environnementaux ; c'est une tâche difficile, et les résultats quantitatifs dépendent encore fortement des hypothèses prises pour évaluer la valeur des écosystèmes et des services rendus ;

– la seconde difficulté dans la gestion intégrée tient à la conciliation des objectifs. Malgré la volonté de trouver des synergies entre protection contre les crues et protection ou restauration environnementales (Pithart, 2002 ; Geilen, 2004 ; UE, 2007), en pratique, il existe souvent des contradictions entre les deux objectifs (Plate, 2002). De plus, il faut intégrer dans l'évaluation globale du projet des effets aussi différents que la réduction de l'aléa et une modification des écosystèmes. Il faut également reconnaître que des spécialistes de plusieurs domaines, ayant une culture et des objectifs différents, doivent au début faire un effort d'écoute et d'explication pour ensuite travailler efficacement ensemble. Geilen *et al.* (2004) proposent par exemple de définir un « minimum écologique » en milieu fortement modifié, auquel les futurs aménagements doivent se plier.

### Connaître le risque pour définir une stratégie

La directive européenne de 2007 sur les inondations demande aux États membres de réaliser une évaluation préliminaire des risques d'inondation (UE, 2007 ; Martini, 2007). Pour quantifier le risque, il faut en étudier les deux composantes : l'aléa et la vulnérabilité.

C'est un préalable indispensable à la définition d'une stratégie de réduction du risque.

L'Union européenne (2007) rappelle que « les mesures de réduction de ces risques devraient, dans la mesure du possible, être coordonnées à

5. Plus de quatre cent mille résultats sur le moteur exalead.fr et plus de quinze millions sur Google (janvier 2009).

## 6. Schémas d'aménagement et de gestion des eaux.

*l'échelle d'un bassin hydrographique pour être efficaces* ». L'évaluation du risque doit également tenir compte des perspectives d'évolution du bassin, pour s'inscrire dans des stratégies à long terme. L'intégration des éléments de diagnostic de risque dans les documents de planification (documents d'urbanisme, SAGE<sup>6</sup>, plans de gestion au sens de la directive « Inondation »...) permet une démarche cohérente et de ce fait plus durable (Graie, 2009).

Plate (2002) distingue bien la mise au point d'un programme de gestion du risque, action stratégique, de la conception de projet, action technique répondant aux besoins de la première. Il appartient au maître d'ouvrage de définir ses objectifs, en s'appuyant sur les recommandations de techniciens mais aussi sur les besoins exprimés par les riverains. Il peut définir cet objectif en fonction d'une période de retour de protection, éventuellement spatialisée (méthode « Inondabilité », Gilard 2008) ou d'un optimum économique ; il peut intégrer d'autres éléments de décision (vies humaines en jeu, par exemple).

Ensuite seulement, il peut commander des études visant à proposer des solutions. L'article « Prévention des inondations par ralentissement dynamique – Principe et recommandations » (page 5 de ce numéro) insiste sur la nécessité pour le maître d'ouvrage de bien rédiger les spécifications ; le projeteur proposera une solution technique en fonction des exigences exprimées dans le cahier des charges.

Pour cela, il a à sa disposition tout un ensemble de mesures possibles, qui doivent être testées et combinées, afin de concevoir et dimensionner un aménagement répondant au mieux au contexte et aux critères.

Cette bibliographie est surtout centrée sur les mesures structurelles, c'est-à-dire essentiellement des ouvrages. Pour évaluer la pertinence d'une proposition, l'analyse coût-bénéfice compare l'ensemble des coûts (des ouvrages, des emprises, des sur-inondations, de la maintenance, coûts écologiques...) aux bénéfices attendus (dommages évités) sur la durée de vie des ouvrages, en général en annualisant ces valeurs (Erdlenbruch *et al.*, 2008). Il faut donc tester l'effet de l'aménagement projeté sur un ensemble de crues dans une large gamme de probabilités (fiche Sinfotech, Poulard *et al.*, 2008 ; cf. « Prévention des inondations par ralentissement dynamique – Principe et recommandations », page 5 de ce numéro).

Il faut donc avoir au préalable estimé le régime des crues. Les aménagements n'ont une efficacité réelle que pour une plage donnée d'événements ; il est donc insuffisant, voire trompeur, de ne travailler qu'avec une « crue de projet » unique – pour laquelle, en général, les effets sont optimaux. Au-delà d'une certaine période de retour, les aménagements sont inopérants (Kundzewicz *et al.*, 1999), voire dangereux en cas de rupture. C'est pourquoi il convient de ne jamais oublier d'évaluer les risques en cas d'événement extrêmes (Green, 2004 ; Peyras *et al.*, 2006).

Il est tout à fait possible qu'une première étude conclue à l'impossibilité de répondre aux objectifs, qui doivent alors être revus à la baisse (Plate, 2002 ; Gilard, 1998).

### Connaître et représenter l'aléa

La connaissance des inondations passe par deux volets distincts :

- la collecte d'informations sur les inondations passées : chronologie et description de la pluie et des inondations (extension spatiale, profondeurs et vitesses mesurées ou estimées) ainsi que sur tous les incidents (rupture de digue, mauvais fonctionnement d'ouvrages), et l'estimation des dommages ;

- la caractérisation probabiliste du phénomène, c'est-à-dire l'estimation de l'aléa (cf. la définition de l'aléa, dans l'article « Prévention des inondations par ralentissement dynamique – Principe et recommandations », page 5 de ce numéro).

L'évaluation préliminaire des risques d'inondation telle que demandée par l'UE (2007) inclut effectivement la description des inondations survenues par le passé et des processus associés, ainsi que les probabilités d'inondations futures.

L'analyse des informations sur les crues passées permet de comprendre les mécanismes, de repérer les chemins de l'eau, de repérer les points faibles dans les structures ou dans l'organisation de la gestion de crise et de suggérer des actions à entreprendre (Pitt, 2007 ; Rapports parlementaires ; Huet, 2002 et 2003). Ces mesures de terrain sont indispensables pour caler par la suite d'éventuels modèles. L'observation fournit donc des informations précieuses, mais qui dépendent fortement des spécificités de l'événement et du contexte. En effet, les crues sont un phénomène aléatoire, qui dépend de multiples facteurs : intensité et durée bien sûr, mais aussi répartition spatiale de

la pluie (rapport IRMA-Sponge, 2001 ; Poulard *et al.*, 2009), ou encore des conditions d'humidité initiale (Merz et Blöschl, 2008c et 2009).

Les approches naturalistes (hydro-géomorphologie et paléo-hydrologie) permettent de retrouver les traces sédimentaires de crues extrêmes survenues dans les derniers siècles ou même millénaires. Si l'on s'intéresse à des événements intermédiaires, reliés à une probabilité de dépassement, seule une analyse probabiliste des chroniques de pluie et/ou débit permet de caractériser le régime des crues, et ainsi définir l'aléa auquel le bassin est soumis. Les résultats d'un diagnostic de risque dépendent très fortement de la qualité de cette analyse hydrologique, de même que les résultats de diagnostic d'effets d'ouvrages dépendent de la qualité des scénarios d'apport (hydrogrammes ou champs de pluie) utilisés en entrée des modèles.

Plate (2002) et Petrow (2006) insistent sur la nécessité de connaître précisément l'aléa ; Petrow conseille, à partir de l'expérience acquise sur l'Elbe, de dresser des cartes de submersion pour plusieurs périodes de retour ; des cartes synthétiques et lisibles sont d'excellents instruments de communication, et aident les populations riveraines à prendre conscience de la probabilité d'inondation à laquelle ils sont exposés. Quand chacun – autorités locales, services de secours et particuliers – connaît le risque, s'y est préparé et sait comment réagir, les dommages et les inconvénients lors d'une inondation peuvent être significativement réduits. Plate recommande de réactualiser régulièrement ces documents.

Pour cela, il faut d'abord **estimer le régime hydrologique naturel**. Cela nécessite une analyse probabiliste rigoureuse des données hydrométriques, là où elles sont disponibles sur une durée suffisante. Encore faut-il que ces chroniques soient fiables et stationnaires. L'article de Lang *et al.* (2006) attire l'attention sur la nécessaire critique des données de débit, et en particulier sur la validité des courbes de tarage.

Pour la mise en œuvre de l'analyse hydrologique nous renvoyons aux références suivantes : Sauquet *et al.* (2003) et Lang *et al.* (2007), ainsi qu'à l'article « Quelques erreurs que l'on ne voudrait plus voir dans les études hydrologiques » (page 25 de ce numéro).

Nous proposons ici simplement un panorama de la recherche sur deux problèmes majeurs : le

manque de données locales (bassins non jaugés) et les chroniques souvent trop courtes pour estimer avec précision un quantile centennial, *a fortiori* millénal. Plate (2002) écrit même qu'il n'est pas possible d'estimer un quantile millénal statistiquement significatif. Or, il est indispensable en pratique d'estimer des quantiles de crue, y compris extrêmes, pour caractériser l'aléa et ensuite dimensionner les aménagements.

Merz et Blöschl (2008a et b) ont travaillé sur l'utilisation optimale des données disponibles ; ils proposent de tirer parti au maximum des données des sites voisins (régionalisation), des informations historiques et des éléments de connaissance, par exemple sur le régime des pluies. Javelle *et al.* (2002) avaient déjà proposé une réflexion sur les méthodes de régionalisation, notamment *via* la méthode de l'indice de crue ; Arnaud *et al.* (2006) ont développé le modèle SHYPRE<sup>7</sup> qui analyse les propriétés spatio-temporelles des chroniques à l'échelle d'une région pour ensuite générer des chroniques ou des champs de pluies stochastiques. Naulet (2005) applique sur l'Ardèche les méthodes d'utilisation de données historiques et la méthode française du Gradex, qui affine l'extrapolation des quantiles rares en se basant sur le régime asymptotique des pluies. Neppel *et al.* (2006) font le point sur les incertitudes dans l'estimation de l'aléa pluvieux et en particulier sur l'extrapolation aux quantiles extrêmes. Pour les événements extrêmes, les Anglo-Saxons privilégient l'approche de la « Pluie maximale possible » et de la « Crue maximale possible » pour dimensionner les ouvrages et leurs organes de sécurité.

Beaucoup de travaux sont à présent consacrés au calcul et à la prise en compte des incertitudes en hydrologie et en hydraulique (par exemple : Hall *et al.*, 2005) ou dans le calcul des dommages (*cf.* « Sensibilité d'une analyse coût-bénéfice – Enseignements pour l'évaluation des projets d'atténuation des inondations », page 95 de ce numéro). Appel *et al.* (2004 et 2006) étudient les incertitudes sur toute la chaîne de traitement, jusqu'au calcul des dommages, en intégrant les incertitudes systémiques (par exemple : incertitudes sur les quantiles de crue) et les probabilités d'incidents (rupture aléatoire de digue). McMillan et Brasington (2008) proposent une chaîne de modèles en cascade, prenant en entrée une chronique de pluies stochastiques, introduites dans un modèle pluie-débit robuste, dont les événements les plus forts sont ensuite entrés dans un modèle

7. Simulation d'hydrogrammes pour la prédétermination des crues.

hydraulique 2D ; l'introduction d'incertitudes est étudiée, et matérialisée par des cartes de submersion montrant le faisceau médian et les faisceaux à 5 et 95 %. Bernier (2003) montre comment intégrer cette incertitude de manière objective dans la prise de décision, par des méthodes Bayésiennes. Un numéro du journal *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* de 2005, vol. 19(6) et un numéro du *Journal of River Basin Management* de 2008, vol. 6(2), sont d'ailleurs consacrés au problème des incertitudes dans la gestion du risque d'inondation (cf. respectivement Levy et Hall, 2005 ; Hutter et Schanze, 2008).

### Diagnostiquer les effets de différentes techniques modifiant l'aléa

Dans ce numéro d'*Ingénieries-EAT*, nous avons mis l'accent sur les mesures structurelles ayant un effet significatif sur les crues. Ce sont des techniques éprouvées, pour lesquelles il existe des méthodologies opérationnelles de modélisation et donc de dimensionnement. Dans cette bibliographie, nous incluons en plus les travaux sur l'influence de l'occupation du sol et du tracé du lit mineur sur l'aléa de crue.

### Principes généraux d'un diagnostic d'effet

Les deux outils permettant d'effectuer un diagnostic d'effet sont la modélisation et la mesure de terrain ; ces deux approches sont complémentaires (CERTU<sup>8</sup>, 2003).

#### LES MESURES

Les mesures, qu'elles soient continues ou ponctuelles, sont indispensables dans plusieurs étapes :

- les chroniques de débit permettent de déterminer le régime naturel ;
- l'analyse de chroniques peut aussi permettre, en elle-même, de détecter des ruptures, que l'on peut ensuite relier aux causes physiques : des modifications profondes des versants (Beighley et Moglen, 2002 ; Pinter *et al.*, 2006b) ou de la géométrie du cours d'eau (Pinter *et al.*, 2006a), ou le changement climatique (Robson *et al.*, 1998) ;
- les mesures de terrain, notamment en crue, permettent de caler les modèles (jaugeages, mesures de niveau, laisses de crue...) ;
- les campagnes de mesures ponctuelles fines sont très intéressantes pour caractériser le ruis-

sellement à l'échelle d'une parcelle ou d'un ensemble de parcelles (Marshall *et al.*, 2009) ;

– le suivi après aménagement est également précieux pour vérifier le comportement des ouvrages et au besoin améliorer les modélisations (cf. « Le polder d'Erstein : objectifs, aménagements et retours d'expérience sur cinq ans de fonctionnement et de suivi scientifique environnemental (Rhin, France) », page 67 de ce numéro). À long terme, on peut même reconstituer le nouveau régime après aménagement.

Cependant, l'interprétation des mesures disponibles doit être effectuée avec suffisamment de recul.

Premièrement, il faut relativiser la portée des résultats fondés sur un nombre limité d'événements ; la généralisation, surtout pour des événements plus intenses, n'est pas toujours possible.

Les chroniques longues sont donc potentiellement beaucoup plus riches. Elles témoignent de la variabilité naturelle des écoulements, mais sont soumises à tous les autres facteurs de variation qui affectent le bassin plus ou moins simultanément : l'urbanisation, le changement de pratiques agricoles, des modifications de la géométrie des cours d'eau naturelles ou consécutives à des travaux – sans oublier les problèmes de fiabilité des courbes de tarage et leur évolution dans le temps.

Des outils statistiques permettent de détecter des ruptures, mais rechercher les causes de ces modifications nécessite un travail d'investigation, et la quantification du lien de cause à effet est très difficile. L'exemple du débat sur l'influence des forêts sur les crues sera détaillé dans la partie « Occupation du sol, pratiques agricoles et éléments de paysage dans les versants » (page 137).

#### LA MODÉLISATION

La modélisation permet l'extrapolation du diagnostic à des débits non observés et à des aménagements non encore réalisés. Elle est largement utilisée pour tester des scénarios d'aménagements pour divers scénarios de crue. Les outils de modélisation sont de plus en plus pointus et précis, mais il reste cependant des difficultés concernant :

- la modélisation de configurations s'éloignant fortement du schéma pour lesquels les modèles usuels ont été développés. Par exemple, la plupart des modèles hydrauliques ont été développés pour une géométrie prismatique graduellement

8. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

variée ; ils sont mal adaptés aux **écoulements débordants** dans une plaine d'inondation à la géométrie complexe, en présence d'obstacles (travaux de Proust : thèse (2005), Bousmar *et al.*, 2005, 2006 ; Proust *et al.*, 2005, 2009). Là où les modèles numériques ne sont pas considérés comme validés, on peut recourir aux modèles physiques, pour étudier des écoulements complexes au droit d'un barrage échancré (zone de ralentissement des crues de Mouzon, EPAMA<sup>9</sup>) ou au droit de prises d'eau (prise d'eau alimentant les bassins de la Savoureuse) ;

– la prise en compte des **modifications du transport sédimentaire** causées par des modifications du tracé du lit mineur ou par des ouvrages hydrauliques : ces perturbations sont souvent évoquées sans être toujours évaluées (Sumi, 2008) ;

– la modélisation fine de bassins versants, incluant toute la complexité du paysage importante pour estimer le ruissellement local : topographie et microtopographie, occupation du sol et de natures de sols hétérogènes, fossés, talus, routes... (cf. la partie « Occupation du sol, pratiques agricoles et éléments de paysage dans les versants »).

L'article « Prévention des inondations par ralentissement dynamique – Principe et recommandations » (page 5 de ce numéro) rappelle que pour estimer l'effet d'aménagements par modélisation, il faut travailler avec des événements représentatifs de l'ensemble du régime des crues – ou de router toute la chronique de débit disponible, quand c'est possible.

Les modèles hydrauliques qui vont simuler l'effet des ouvrages prennent en entrée soit des hydrogrammes, soit des pluies transformées par un module pluie débit. Dans un cas comme dans l'autre, la difficulté croît quand l'on travaille à l'échelle d'un bassin versant : en effet, il faut envisager la définition d'un **scénario d'apport cohérent** à l'échelle du bassin versant, soit en définissant les hydrogrammes d'entrée en chaque nœud du réseau (plus les apports latéraux), soit un champ de pluie distribué (Montaldo, 2004 ; Chenu *et al.*, 2008 ; Petry *et al.*, 2008 ; Poulard *et al.*, 2009). La distribution spatiale des apports est fondamentale : le rapport du projet IRMA-Sponge, par exemple, compare deux épisodes pluvieux de volumes similaires mais de distributions spatiales différentes sur la partie allemande du bassin du Rhin ; les crues résultantes ont des caractéristiques très différentes (crues de 1982 et de 1995). Il ne faut pas oublier non plus le

rôle capital de l'humidité initiale dans la transformation pluie-débit (Merz et Blöschl, 2009). Des épisodes pluvieux intenses à quelques jours d'intervalle vont conduire à des inondations prolongées et aggravées lors de la seconde vague car le ruissellement sera plus rapide sur les sols saturés (Kundzewicz *et al.*, 1999 ; Langhammer *et al.*, 2008) et que certains ouvrages de rétention ne seront pas vides au moment de l'arrivée de la seconde crue (Fouchier *et al.*, 2004).

### Les différentes possibilités de modifier l'aléa de crue

Les activités humaines influent sur le ruissellement et donc sur les crues, par les modifications d'occupation du sol (déforestation, labours, urbanisation avec imperméabilisation des sols), les infrastructures agricoles ou urbaines (réseaux de fossés agricoles, réseaux d'assainissement, infrastructures linéaires...) et les travaux hydrauliques. Les impacts attendus sont décrits et analysés dans l'article de M. Ghio (1995) et dans les comptes rendus de colloques publiés par le Cemagref (Leblois, 1999 et Nédélec, 1999).

Langhammer *et al.* (2008) ont relevé en détail ces modifications anthropiques sur le bassin tchèque de l'Otava (près de 3 000 km<sup>2</sup>).

Le concept de ralentissement dynamique suppose que ces effets anthropiques contribuent généralement à accélérer les écoulements et aggraver les crues, et propose *a contrario* des règles de gestion de l'espace qui puissent aider à revenir aux dynamiques naturelles, et donc contribuer à réduire les crues.

#### OCCUPATION DU SOL, PRATIQUES AGRICOLES ET ÉLÉMENTS DE PAYSAGE DANS LES VERSANTS

**Les effets de la forêt** sur les crues et les étiages ont fait l'objet de nombreux travaux.

Pourtant, la thèse selon laquelle les bassins forestiers se comportent comme des éponges, stockant une partie des volumes des crues pour les restituer progressivement, est toujours en débat (revues bibliographiques de McCulloch et Robinson, 1993 ; Andreassian, 2004 ; Cosandey et Andréassian, 2005 ; Croke *et al.*, 1999 ; Hundecha et Bardossy, 2004). Bronstert et Kundzewicz (2006) résument l'état de l'art sur les relations entre forêts et crues par « *nous savons que nous savons peu* ».

9. Établissement public d'aménagement de la Meuse et de ses affluents (<http://epama.fr>).

Prenons un exemple récent de discussions autour d'un article. Bradshaw *et al.* (2007) ont analysé un ensemble de données concernant la déforestation et les crues dans les pays en voie de développement pour dégager des tendances, et concluent que la déforestation aggrave significativement les pics de crue. Un article de Laurance (2007) salue la qualité de ce travail et affirme qu'il fera date, tandis que Calder *et al.* (2007) puis van Dijk *et al.* (2009) émettent des critiques sur la méthodologie – par exemple, sur le fait que les événements extrêmes n'ont pas été pris en compte – et réfutent les conclusions. Ils citent d'ailleurs des travaux aux conclusions contraires. Calder (2006) avait déjà écrit dans un article incisif que les pratiques actuelles en terme de gestion des crues se basent trop souvent sur des idées non prouvées, mais soutenues par des lobbies qui ont un intérêt à promouvoir telle ou telle technique ; pour lui, les forêts ont sur les crues « *au mieux un effet bénéfique marginal, voire des effets négatifs* » et donc les politiques de reforestation « *gaspillent des crédits de développement* ». Cet article a soulevé les réactions de Brönstert et Kundzewicz (2006) et Chappell (2006). Brönstert et Kundzewicz (2006) reconnaissent que des études contradictoires existent, mais ils rappellent aussi qu'il est difficile de détecter des ruptures sur des chroniques courtes, *a fortiori* quand on voudrait caractériser l'impact sur des événements forts, rares par nature ; ils recommandent donc la modélisation des phénomènes. Ensuite, ils rappellent qu'une réduction modeste des pointes de crue, de quelques %, peut se traduire par des dommages évités significatifs. Chappell (2006) met en garde contre la confusion entre l'absence de preuve et l'absence d'effet. Il souligne la complexité des processus, pour lui mal connus notamment en milieu tropical ; il relève par exemple les effets de réduction d'érosion des forêts, érosion qui contribue à provoquer des dépôts dans les cours d'eau et donc à limiter leur débitance ; il évoque la possibilité de mieux concevoir les routes forestières pour éviter les effets négatifs. Surtout, Chappell replace ce débat dans son contexte : les forêts tropicales ont déjà perdu la moitié de leur superficie, et les conclusions de Calder et d'autres hydrologues risquent d'être utilisées comme argument par les acteurs du déboisement. Il invite donc la communauté scientifique à poursuivre ses travaux, vu l'importance des enjeux.

Les débats sont donc loin d'être clos, sur une thématique pourtant déjà très étudiée, et avec des enjeux stratégiques extrêmement forts.

Le même type de travaux et de débat existe sur la quantification de l'effet des pratiques agricoles.

Le drainage agricole enterré peut faciliter l'infiltration dans le sol en début d'épisode pluvieux, tandis que le réseau de fossés associés, souvent surdimensionnés, évacue plus rapidement vers l'aval l'eau recueillie (Nédélec *et al.*, 2004). Nédélec *et al.* (2004) proposent de contrer cet effet en favorisant le débordement dans des zones peu vulnérables, aménagées avec des sections en travers réduites.

Mais plus généralement, le type de culture et les pratiques agricoles sont aussi susceptibles de modifier les chemins de l'eau et les temps de transfert (Nédélec, 1999).

Pinter *et al.* (2006b) ont conclu à un effet significatif de la modification des pratiques agricoles sur le régime des crues. De même, Marshall *et al.* (2009) ont comparé des zones de prairies pâturées sans arbres et des zones de bocage ; ils ont effectué des mesures *in situ* et les ont analysées à plusieurs échelles, et concluent à un effet significatif dans leur cas.

Au contraire, Langhammer *et al.* (2008) se refusent à conclure que les modifications anthropiques recensées aient pu aggraver significativement la forte crue de 2002 qu'ils ont analysée.

Il est donc important de compléter les analyses de mesures de terrain par des modélisations prospectives.

**Les modèles hydrologiques distribués** prennent en compte la structure spatiale du bassin, c'est-à-dire qu'ils répartissent ses différentes propriétés explicitement dans l'espace – l'occupation du sol, par exemple (Karvonen, 1999). Les difficultés liées au choix des processus, à l'estimation des paramètres, à leur calage et à leur validation sont abondamment abordées dans la littérature (Beven, 1989 ; Refsgaard, 1997), y compris sur le cas particulier de la modélisation de l'occupation du sol et de son impact sur le ruissellement (Brönstert *et al.*, 2002 ; Naef *et al.*, 2002 ; O'Connell *et al.*, 2007). Ces outils sont bien adaptés aux questions d'aménagement, car ils permettent de caractériser à la fois la présence ou l'absence de ces aménagements sur le terrain, mais aussi leur position et leur organisation entre eux. Ils peuvent donc fournir de bons supports pour la représentation des discontinuités hydrologiques liées à l'activité agricole.



Mais étudier l'effet sur le ruissellement de tout petits ouvrages ou d'éléments de paysage dispersés sur un grand bassin versant se heurte au problème d'échelle : les modèles conçus pour modéliser finement les processus ne sont pas les mêmes que ceux qui permettent de travailler sur un grand bassin versant. Les modèles hydrologiques, même spatialisés, simplifient le fonctionnement des bassins versants. Sur des petits bassins, on peut représenter les discontinuités qui influencent les écoulements sur les versants et en décrire le fonctionnement, alors que sur de grands bassins, les nécessaires simplifications empêchent d'intégrer les aménagements à la parcelle. Il faut donc se méfier des généralisations des effets constatés en un endroit sur quelques crues. Blöschl *et al.* (2007) ont réfléchi à ces questions d'échelle, aussi bien pour les approches par analyse de chroniques que par modélisation, et proposent des pistes pour les futures études.

### Que retirer de résultats parfois contradictoires ?

Les effets observés ou mesurés dépendent de l'intensité de la crue, voire de sa répartition spatiale. De plus, les effets se cumulent – ou se compensent – à l'échelle du bassin. L'évaluation des effets devient de plus en plus difficile quand les bassins sont hétérogènes et que la taille du bassin augmente (Langhammer, 2008).

Cependant, il semble se dégager une tendance, qui est que les modifications du paysage au sens large ont un effet significatif sur les crues modestes et sur les petits bassins versants. L'effet en est beaucoup moins net sur les événements majeurs et il s'atténue vers l'aval.

Ainsi, Hundecha et Bardossy (2004) ont travaillé sur un modèle de bassin versant et concluent que l'urbanisation aggrave les pics de crues modérées consécutifs aux orages d'été, mais ont peu d'effet sur les crues plus importantes d'hiver. Par contre, ils notent une réduction significative des pics et des volumes écoulés pour une reforestation massive sur le bassin. Liu *et al.* (2006) montrent que la contribution relative des zones urbanisées peut être dominante pour des événements peu intenses mais décroît avec l'intensité des événements ; la part relative dans les écoulements des zones cultivées est à peu près constante, tandis que celle des prairies et forêts augmente.

De même, McCulloch et Robinson (1993) passent en revue quelques idées reçues sur la forêt. Leur analyse est que la forêt modère les crues modestes, mais pas les événements extrêmes. Ils signalent également le problème de la synchronisation des pics de crue, qui peut masquer ou au contraire accentuer l'effet de laminage. Enfin, ils soulignent que certaines pratiques forestières – en particulier sur le tracé de routes d'exploitations – peuvent aggraver les crues. Van Dijk *et al.* (2007) émettent d'ailleurs une mise en garde similaire : la déforestation s'accompagne souvent d'autres modifications du paysage, qui peuvent avoir des effets sur le ruissellement.

O'Connell *et al.* (2007) posent le problème du lien entre pratiques agricoles et crues ; ils résument et critiquent quelques travaux d'analyse de données et de modélisation antérieurs, au Royaume-Uni et dans d'autres pays européens. Ils en retirent que les modifications des pratiques agricoles aggravent les crues de manière locale, surtout sous forme d'inondations boueuses, et que des recommandations appropriées peuvent y remédier. Cependant, pour eux, cet effet n'a pas été mis en évidence de manière convaincante à l'échelle d'un grand bassin versant. Comme Andréassian (2004) pour les forêts, ils recommandent d'ailleurs des campagnes de mesure adaptées, et en particulier sur des échelles plus grandes.

Naef *et al.* (2002) concluent quant à eux qu'il n'est possible de réduire les crues par modification de l'occupation du sol que dans des bassins versants qui génèrent un ruissellement intense et rapide.

La quantification de l'effet de l'anthropisation sur l'aléa est donc difficile à estimer ; en revanche, il ne faut pas oublier que son effet est beaucoup plus net sur la vulnérabilité, dans la mesure où les dégâts augmentent fortement avec l'accroissement des surfaces urbanisées et la valeur des biens présents (Ghio, 1995 ; Pielke, 1999 ; Hooijer, 2004 ; Marsh et Hannaford, 2007).

### TRACÉ DU COURS D'EAU ET ZONES D'EXPANSION DE CRUE

Les travaux hydrauliques les plus courants – calibrages et endiguement – ont un effet de protection locale contre les débordements, mais ils aggravent l'aléa à l'aval. On leur préfère donc maintenant des ouvrages de rétention temporaire des crues, et beaucoup examinent la possibilité

de revenir en arrière, c'est-à-dire de laisser de nouveau méandrer un cours d'eau rectifié, et de remettre en connexion des zones d'expansion de crue naturelles soustraites au lit majeur par des endiguements (Acreman, 2003).

### Tracé du cours d'eau

Liu *et al.* (2004) ont travaillé sur la rivière Alzette (Luxembourg) ; leurs simulations de l'effet de la renaturation, avec augmentation de la sinuosité et de la rugosité, montrent sur les crues testées un écrêtement significatif (14 %) et un retard d'arrivée des pointes de crue de deux heures environ par rapport à la situation actuelle.

Langhammer *et al.* (2008) avaient *a contrario* étudié l'effet de la rectification, parmi d'autres modifications, sans conclure à un effet notable sur les crues étudiées.

### Potentialités d'expansion de crue en lit majeur naturel

Certains auteurs soulignent les importantes capacités de stockage des lits majeurs, très supérieures à celles des ouvrages dans la vallée de la Luznice, par exemple (Pithart *et al.*, 2002). Il est donc important d'éviter les endiguements généralisés et de préserver, dans la mesure du possible, des zones d'expansion de crue naturelles. Il est beaucoup plus difficile de revenir en arrière, à savoir supprimer des endiguements, en raison des enjeux présents.

Acreman et Fisher (2007) ont travaillé sur la rivière Cherwell et concluent que le recul de digues ou la restauration de la géométrie naturelle du lit mineur est une technique de gestion des crues intéressante. Dans leurs simulations, les pics de crues sont réduits de 10 à 15 %. L'augmentation locale des niveaux d'eau et des fréquences d'inondation dans le lit majeur est pour eux un point positif pour les milieux.

Dans le même ordre d'idée, la troisième correction du Rhône, en cours en Suisse, a pour but de mieux gérer les crues en élargissant le fleuve partout où cela est possible. Le site du Canton du Valais (<http://www.vs.ch/Navig/avig.asp?MenuID=806>) présente très bien ce projet : « Là où l'espace manque, les digues seront au contraire renforcées et surélevées. Il est également possible que dans certains secteurs, le lit du fleuve soit abaissé ». Ses promoteurs souhaitent également des améliorations de l'environnement grâce à ces choix : « La troisième correction prévoit un Rhône évoluant de manière

plus naturelle. Cela favorisera la réapparition d'un écosystème riche et varié. La valeur paysagère sera, elle aussi, améliorée ».

Le recul des digues risque de modifier les équilibres sédimentaires (Ramez, 2008). Cependant, d'autres auteurs montrent que les lits majeurs n'ont pas toujours une action notable sur les crues. C'est le cas, par exemple, de la vallée de la Nahe, où Naef *et al.* (2002) montrent que les débordements se produisent tôt. Ainsi, au plus fort de la crue, en 1993, il n'y avait plus de sur-stockage, le lit majeur se comportant comme un lit unique transportant le débit. Röttcher *et al.* (2003) affinent les explications, en modélisant la rivière Lahn dans plusieurs configurations : supprimer les digues permet d'écrêter des petites crues, mais comme pour la rivière Nahe, l'effet tampon du lit majeur n'est plus sensible pour les fortes crues. Ils proposent une solution intermédiaire, qui n'est pas sans rappeler le fonctionnement de casiers : au lieu de supprimer la digue, on y ménage des seuils déversants. Ainsi, en calant la cote de ces seuils en fonction de la capacité de débordement aval, il est possible de garder la capacité de stockage du lit majeur disponible pour les plages de débit où l'écrêtement devient souhaitable pour protéger l'aval.

Enfin, rappelons que les modèles hydrauliques monodimensionnels classiques (« 1D ») sont validés pour des écoulements filaires dans une géométrie graduellement variée. Proust a montré dans sa thèse (2005) qu'ils sont pris en défaut dans des écoulements plus complexes, en lit composés, avec un lit majeur comportant élargissements et rétrécissements brusques. Les erreurs ont été quantifiées en les confrontant aux résultats de modèles physiques et à des mesures de terrain. Les modèles 2D, qui permettent de mieux représenter la topographie réelle, nécessitent davantage de données de terrain et ne prennent pas non plus en compte les phénomènes aux interfaces. Ainsi, ces travaux ouvrent la voie à de nouveaux modèles dits « 1D par lit », prenant mieux en compte la physique spécifique de ces écoulements, et notamment les pertes de charge qui se produisent aux interfaces entre les écoulements en lit mineur et ceux en lit majeur (Proust *et al.*, 2006 ; Bousmar *et al.*, 2006 ; Proust *et al.*, 2009).

L'effet de la végétation sur les écoulements fait l'objet de travaux en hydraulique (Darby, 1999 ; Green, 2005), avec des effets saisonniers et des effets de seuil (flexibilité, arrachement)... Ces

effets sont encore plus difficiles à modéliser en lit majeur, avec l'hétérogénéité des peuplements qui s'ajoute aux difficultés de représenter le modelé de terrain et les microthalwegs naturels ou artificiels – mais les effets de surface sont de moins en moins importants quand le niveau d'eau augmente dans le lit majeur (Ghavasieh *et al.*, 2006).

En outre, la modification de la géométrie ou des régimes liquides aura pour conséquence des modifications du transport solide (Ramez, 2005), lesquelles peuvent à leur tour modifier les écoulements. Il n'est donc pas facile à l'heure actuelle de prévoir avec précision l'effet sur les crues de la remise en connexion de zones d'expansion de crue.

### Le cas des zones humides

Les zones humides ont la réputation de contribuer à tamponner les crues. Des travaux sont donc entrepris sur la compréhension du rôle des zones humides dans le transfert du ruissellement, et la faisabilité de réhabilitation de zones humides pour laminer les crues (Juliano *et al.*, 1999 ; Acreman *et al.*, 2003 ; Bullock et Acreman, 2003 ; Shultz et Leitch, 2003). Les auteurs sont mitigés. Juliano *et al.* (1999) montrent qu'une augmentation de 10 % environ de la surface des zones humides donne un laminage de 10 à 20 % environ selon les crues, mais les gains exprimés en termes économiques sont inférieurs au coût de la réhabilitation. Shultz et Leitch (2003) étudient la faisabilité de plusieurs niveaux de restauration de zones humides drainées, de la neutralisation des drains à une restauration complète ; ils parviennent également à une conclusion défavorable économiquement.

Bullock et Acreman (2003) récuse d'ailleurs l'idée que toutes les zones humides contribuent à laminer les crues ; cette fonction est surtout vraie pour les zones humides alluviales.

Bien évidemment, la remise en cause du rôle des zones humides sur les crues ne retire rien à leur intérêt écologique : ce sont des zones frontières entre deux milieux (écotones) à la biodiversité exceptionnelle, source de nombreux échanges avec les cours d'eau (flux d'eau, de nutriments, d'espèces...) et lieu de nombreuses fonctions métaboliques (Juliano *et al.*, 1999).

### BARRAGES À PERTUIS OUVERT ET BASSINS DE STOCKAGE

La rétention temporaire des volumes de crue est jugée efficace par les hydrologues et satis-

faisante par la plupart des biologistes (Geilen, 2004). En effet, ces ouvrages ont moins d'effets négatifs attendus sur le milieu aquatique que les protections locales de type endiguement et calibrage. Ils sont plus faciles à dimensionner que des techniques précédemment cités, bien que le dimensionnement simultané de plusieurs ouvrages nécessite d'avoir défini des scénarios d'apport à l'échelle de l'ensemble. En outre, la question de l'effet cumulé des effets de rétentions à l'échelle de grands bassins versants reste ouverte (Hooijer, 2004).

En théorie, les ouvrages de rétention temporaire peuvent être placés en tout point du cheminement de l'eau, en versant, en thalwegs secs et en cours d'eau. Ils peuvent être très modestes, et placés en thalweg sec (étude de faisabilité de tous petits ouvrages en versant dans un bassin versant polonais montagneux, Poulard *et al.*, 2005) ou avoir une capacité de plusieurs dizaines de millions de m<sup>3</sup> (cf. « Enseignements de retours d'expériences de barrages à pertuis ouverts, de 1905 à nos jours », page 33 de ce numéro). Degoutte coord. (1997) et Chastan coord. (2005) donnent quelques recommandations pour leur dimensionnement. On distingue les ouvrages qui retiennent l'eau dans le lit majeur (barrages à pertuis ouvert, diguettes transversales – cf. « Enseignements de retours d'expériences de barrages à pertuis ouverts, de 1905 à nos jours », page 33 de ce numéro ; thèse de Ghavasieh, 2003 ; Poulard *et al.*, 2005 ; Sumi, 2008) et ceux qui la dérivent vers des bassins de rétention latéraux (Förster, 2005 ; cf. « Le polder d'Erstein : objectifs, aménagements et retours d'expérience sur cinq ans de fonctionnement et de suivi scientifique environnemental (Rhin, France) », page 67 de ce numéro).

Les ouvrages seront dimensionnés de manière à retenir temporairement des volumes de crue au moment où cela est le plus utile : pour cela, le projeteur joue sur la taille des pertuis (ouvrages en ligne) ou sur la cote et les dimensions des seuils déversants (ouvrages en dérivation). Le volume de stockage est également une variable-clé, mais il est imposé par la géométrie de la vallée, l'espace disponible, la faisabilité technique ainsi que par la taille maximale acceptée par le maître d'ouvrage, en raison des coûts mais aussi des conséquences en cas de rupture (Peyras *et al.*, 2006).

Il ne faut pas négliger non plus les risques de déséquilibres sédimentaires, suite à la modification du tracé de la rivière ou de celle des régimes liquides. Des dépôts dans la cuvette de barrages

secs après les épisodes de mise en eau peuvent être gênants (nécessité de dédommagement et/ou d'entretien).

Les évaluations économiques de l'intérêt des ouvrages ne satisfont pas toujours à l'ensemble des critères posés plus haut pour une analyse économique : travailler sur suffisamment d'événements pour décrire les effets sur tout le régime et comparer objectivement les coûts et les gains sur le long terme.

Dutta *et al.* (2006) modélisent l'effet d'ouvrages de rétention des crues pour seulement deux scénarios de crue, de période de retour 50 et 100 ans, et calculent pour chacun les dommages évités à partir de courbes hauteur-dommage pour différentes occupation du sol. Förster *et al.* (2005), travaillant sur des bassins de rétention appelés aussi « polders », ne prennent pas en compte les coûts de construction des ouvrages dans leur calculs de ratios bénéfiques/coût, et ce parce que les ouvrages existent déjà.

Dans les coûts des ouvrages de rétention de crue, tout comme pour les zones d'expansion de crue, il ne faut pas oublier le coût du foncier ou des dédommagements éventuellement négociés avec les propriétaires pour les sur-inondations induites. Förster *et al.* (2006) cherchent à déterminer objectivement les dommages induits aux parcelles agricoles dans les emprises des zones de rétention de crue, en fonction de leurs fréquences de mise en eau.

Hayes (2004) propose une méthode d'évaluation coût-bénéfice pour sélectionner les mesures non structurelles à mettre en œuvre (relocalisation, dispositions constructives, surélévation, protections temporaires) sur les installations existantes

dans la plaine d'inondation centennale – et seulement dans cette zone.

## Quelques perspectives

**Des percées significatives sont faites ou attendues à moyen terme** : générateurs de pluie pour définir de manière objective et distribuée des scénarios d'apport (Chennu *et al.*, 2008 ; Poulard *et al.*, 2009), y compris avec des événements rares (Petry *et al.*, 2004), développement d'outils de modélisation plus adaptés (Proust *et al.*, 2009)... Mais beaucoup de travail reste à faire pour développer et valider outils et méthodes généralisables, et pour les transférer vers les opérationnels. Il faut également généraliser et affiner les études économiques, encore trop peu fréquentes en France – mais tout à fait courantes voire obligatoires pour obtenir des subventions publiques dans d'autres pays.

**Un suivi métrologique des ouvrages déjà construits** est particulièrement intéressant pour valider ou corriger le dimensionnement des ouvrages après plusieurs années de fonctionnement. Des études sont parfois entreprises suite à un dysfonctionnement ou à une crue mettant en défaut le dispositif (Huet *et al.*, 2002 ; Fouchier, 2004). Mais l'analyse de retours d'expérience devrait être plus répandue, car il y a beaucoup à en apprendre (*cf.* « Enseignements de retours d'expériences de barrages à pertuis ouverts, de 1905 à nos jours », page 33 de ce numéro), surtout sur des sites instrumentés et suivis (*cf.* « Le polder d'Erstein : objectifs, aménagements et retours d'expérience sur cinq ans de fonctionnement et de suivi scientifique environnemental (Rhin, France) », page 67 de ce numéro). □

---

## Remerciements

L'auteur tient à citer les contributeurs à cette note de synthèse bibliographique : Paul Royet, Judaël Dehotin, Flora Branger, Yves Nédélec, et à remercier Gérard Degoutte, Katrin Erdlendbruch, Frédéric Grelot et Michel Lang pour leur relecture. Michel Lafont nous a fourni et commenté quelques références biologiques pour réellement jeter une passerelle vers l'évaluation intégrée des ouvrages. Outre les personnes déjà citées, l'avis et l'expertise de MM. Eric Hérouin, Étienne Leblois, Jean-Baptiste Faure, Sébastien Proust, Philippe Ramez et Bernard Chastan ont été très appréciés tout au long de la constitution et maturation de cette bibliographie. Nous soulignons enfin l'aide apportée par Mmes Caroline Martin et Marie-Pascale Baligand à la définition et à la mise en forme de ce document.

---

### Résumé

Cette bibliographie commente des références sélectionnées pour offrir un aperçu de l'état actuel des recherches sur la prévention des inondations. La communauté scientifique développe des concepts et des outils pour une gestion intégrée du risque, inscrite dans un développement durable. Ces travaux viennent en appui aux politiques publiques régionales, nationales et européennes. Notre liste est centrée sur les mesures structurelles visant à écrêter les crues par rétention ou ralentissement. Elle s'étend à la compréhension de la genèse des inondations, au dimensionnement d'ouvrages et aux outils nécessaires, ainsi qu'aux méthodes objectives et intégrées pour définir et évaluer les projets d'aménagement. Beaucoup d'auteurs cherchent à concilier gestion des inondations et préservation des milieux naturels. Cette bibliographie montre une grande diversité de techniques de réduction de l'aléa et de méthodes de calcul. Sur l'impact de l'occupation du sol sur les crues, les résultats sont parfois divergents ou en tous cas difficilement généralisables. Des techniques analogues, portant sur la gestion des eaux pluviales et du ruissellement, existent en milieu urbain, avec des contraintes différentes – moins d'espace disponible notamment ; quelques références sont mentionnées pour mémoire (Marsalek et Chocat, 2002 ; Certu, 2003).

### Abstract

This literature review comments references selected so as to give an overview of the present state of researches on flood prevention. The scientific community is developing concepts and tools for risk integrated management, within the framework of sustainable development. This work is a great help for regional, national and European policies. Our lists is focused on structural measures achieving flood mitigation by retention or slowing down. It is extended to flood processes, project design and relevant tools, as well as objective and integrated methods for project assessment. Many authors endeavour to reconcile flood management and environment conservation. Thus review shows a great diversity of hazard mitigation methods and assessment procedures. Conclusions about the impact of land-use on floods are somewhat diverging, or at least difficult to generalize. Similar techniques exists in urban areas for rainfall management, with different constraints – less available room ; this does not enter in our scope although a few references are given for comparison (Marsalek and Chocat, 2002 ; Certu, 2003).

## Articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences

Les articles scientifiques présentant un intérêt pour notre thématique sont nombreux. Ils émanent de plusieurs domaines (hydrologie, hydraulique, économie, biologie), concernent aussi bien des études de cas que des considérations méthodologiques, et touchent à tout l'éventail des techniques possibles (occupation du sol, renaturalisation, ouvrages...). Cette sélection d'articles anglophones et francophones a été constituée pour brosser le tableau de l'état de la recherche dans le texte de synthèse.

ACREMAN, M.-C., RIDDINGTON, R. *et al.*, 2003, Hydrological impacts of floodplain restoration: a case study of the River Cherwell, UK, *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(1), p. 75-85.

ACREMAN, M.-C., FISHER, J. *et al.*, 2007, Hydrological science and wetland restoration: some case studies from Europe, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), p. 158-169.

ANDREASSIAN, V., 2004, Waters and forests: from historical controversy to scientific debate, *Journal of Hydrology*, 291(1-2), p. 1-27.

APEL, H., THIEKEN, A.-H., MERZ, B. *et al.*, 2004, Flood risk assessment and associated uncertainty, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4(2), p. 295-308.

APEL, H., THIEKEN, A.-H., MERZ, B. *et al.*, 2006, A probabilistic modelling system for assessing flood risks, *Natural Hazards*, 38(1-2), p. 79-100.

ARNAUD, P., LAVABRE, J., SOL, B., DESOUCHES, C., 2006, Cartographie de l'aléa pluviographique de la France, *La Houille Blanche*, n° 5, p. 102-111.

BEIGHLEY, R.-E., MOGLEN, G.-E., 2002, Trend assessment in rainfall-runoff behavior in urbanizing watersheds, *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(1), p. 27-34.

BERNIER, J., 2003, Décisions et comportement des décideurs face au risque hydrologique, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 48(3), p. 301-316.

BEVEN, K., 1989, Changing ideas in hydrology: the case of physically based models, *Journal of Hydrology*, n° 105, p. 157-172.

BOUSMAR, D., RIVIERE, N., PROUST, S., PAQUIER, A., MOREL, R., ZECH, Y., 2005, Upstream discharge distribution in compound-channel flumes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(5), p. 408-412.

BLÖSCHL, G. *et al.*, 2007, At what scales do climate variability and land cover change impact on flooding and low flows?, *Hydrological Processes*, n° 21, p. 1241-1247.

BOUSMAR, D., PROUST, S., ZECH, Y., 2006, Experiments on the flow in a enlarging compound channel, River Flow 2006, International Conference on Fluvial Hydraulics, Sept. 06-08, 2006 Lisbon, PORTUGAL, in : *Book Series: Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences* (1-2), p. 323-332.

BRADSHAW, C.-J.-A., SODHI, N.-S. *et al.*, 2007, Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world, *Global Change Biology*, 13(11), p. 2379-2395.

BRONSTERT, A., NIEHOFF, D., BURGER, G., 2002, Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities, *Hydrological Processes*, n° 16, p. 509-529.

BRONSTERT, A., KUNDZEWICZ, Z.-W., 2006, Discussion of the article: Calder, I. R. & Aylward, B. (2006) Forest and floods: Moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management, *Water International*, 31(1) 87-99, *Water International*, 31(3), p. 427-431.

BROUWER, R., VAN EK, R., 2004, Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands, *Ecological Economics*, 50(1-2), p. 1-21.

## Articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences (suite)

- BULLOCK, A., ACREMAN, M., 2003, The role of wetlands in the hydrological cycle, *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(3), p. 358-389.
- CALDER, I.-R., AYLWARD, B., 2006, Forest and floods: Moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management, *Water International*, 31(1), p. 87-99.
- CALDER, I.-R., SMYLE, J., AYLWARD, B., 2007, Debate over flood-proofing effects of planting forests, *Nature*, 450(7172), p. 945-945.
- CHAPPELL, N.-A., 2006, Forests and floods: Moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management, *Water International*, 31(4), p. 541-543.
- CHENNU, S., GRÉSILLON, J.-M., FAURE, J.-B., LEBLOIS, E., POULARD, C., DARTUS, D., 2008, *Efficiency of distributed flood mitigation measures at watershed scale*, APFM, 4<sup>th</sup> International Symposium on Flood Defence, Toronto, Canada, 06-08 mai 2008.
- COSANDEY, C., ANDREASSIAN, V., *et al.*, 2005, The hydrological impact of the mediterranean forest: a review of French research, *Journal of Hydrology*, 301(1-4), p. 235-249.
- CROKE, J., HAIRSINE, P. *et al.*, 1999, Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia, *Journal of Hydrology*, 216(1-2), p. 56-77.
- DARBY, S.-E., 1999, Effect of riparian vegetation on flow resistance and flood potential, *Journal of Hydraulic Engineering-ASCE*, 125(5), p. 443-454.
- DUTTA, D., HERATH, S., *et al.*, 2006, An application of a flood risk analysis system for impact analysis of a flood control plan in a river basin, *Hydrological Processes*, 20(6), p. 1365-1384.
- ERDLLENBRUCH, K., GILBERT, E., GRELOT, F., LESCOULIER, C., 2008, Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre des inondations - application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l'Orb, *Ingénieries-EAT*, n° 53, p. 3-20.
- FALCONER, R., HARPIN, R., 2002, Catchment Flood Management: a U.K. perspective and experience, in : WU, BAOSHENG *et al.*, Flood Defence 2002, *Actes du Congrès Flood Defence, Beijing, 10-13 Sept 2002, Volume I*, Science Press Beijing New York, p. 48-59.
- FÖRSTER, S., KNEIS, S., GOCHT, M., BRONSTERT, A., 2005, Flood risk reduction by the use of retention areas at the Elbe river, *Journal of River Basin Management*, 3(1), p. 21-29.
- FÖRSTER, S., KUHLMANN, B., LINDENSCHMIDT, K.-E., BRONSTERT, A., 2008, Assessing flood risk for a rural detention area, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8(2), p. 311-322.
- FOUCHIER, C. *et al.*, 2004, Inondations de septembre 2002 dans le Sud de la France - Analyse hydrologique et hydraulique au niveau des barrages écrêteurs du Vidourle, *Ingénieries-EAT*, n° 37, p. 23-35.
- FREEBAIRN, J., 2006, Some economics of floods, *Advances in Ecological Research*, vol. 39, San Diego, Elsevier Academic Press Inc., n° 39, p. 125-137.
- GAMPER, C.-D., THONI, M., *et al.*, 2006, A conceptual approach to the use of Cost Benefit and Multi Criteria Analysis in natural hazard management, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(2), p. 293-302.
- GEILEN, N., JOCHEMS, H., KREBS, L., MULLER, S., PEDROLL, B., VAN DER SLUIS, T., VAN LOOY, K., VAN ROOIJ, S., 2004, Integration of ecological aspects in flood protection strategies: defining an ecological minimum, *River Research and Applications*, n° 20, p. 269-283.
- GHAVASIEH, A.-R., POULARD, C., PAQUIER, A., 2006, Effect of roughened strips on flood propagation: assessment on representative virtual cases and validation, *Journal of Hydrology*, 318(1-4), p. 121-137.

## Articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences (suite)

- GHIO, M., 1995, Les activités humaines augmentent-elles les crues ?, *Annales de Géographie*, Armand Colin éd., p. 119-145.
- GREEN, C., 2004, *Flood risk management from the perspective of Integrated Water Resource Management*, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Flood Control, Beijing.
- GREEN, J.C., 2005, Modelling flow resistance in vegetated streams: review and development of new theory, *Hydrological Processes*, n° 19, p. 1245-1259.
- HALL, J.-W., TARANTOLA, S., *et al.*, 2005, Distributed sensitivity analysis of flood inundation model calibration, *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(2), p. 117-126.
- HAYES, B.-D., 2004, Interdisciplinarity Planning of Nonstructural Flood Hazard, *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, 130(1), p. 15-25.
- HOOIJER, A., KLIJN, F., PEDROLI, G., VAN OS, A., 2004, Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins: synopsis of the findings of IRMA-SPONGE, *River Research and Applications*, 20(3), p. 343-357.
- HUNDECHA, Y., BARDOSSY, A., 2004, Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model, *Journal of Hydrology*, 292(1-4), p. 281-295.
- HUTTER, G., SCHANZE, J., 2008, Learning how to deal with uncertainty of flood risk in long-term planning, *JRBM*, 6(2).
- JAVELLE, P., OUARDA, T.-B., LANG, M., BOBEE, B., GALEA, G., GRESILLON, J.-M., 2002, Development of regional flood-duration-frequency curves based on the index-flood method, *Journal of hydrology*, 258(1-4), p. 249-259.
- KARVONEN, T., KOIVUSALO, H., JAUHAINEN, M., PALKO, J., WEPPLING, K., 1999, A hydrological model for predicting runoff from different land-use areas, *Journal of Hydrology*, n° 217, p. 253-265.
- KRASOVSKAIA, I., 2001, Perception of the risk of Flooding: the case of the 1995 Flood in Norway, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 46(6), p. 855-868.
- KUNDZEWICZ, Z.-W., TAKEUCHI, K., 1999, Flood Protection and Management: Quo Vadimus ?, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 44(3), p. 417-432.
- KUNDZEWICZ, Z.-W., 1999, Flood Protection – Sustainability Issues, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 44(4), p. 559-571.
- KUNDZEWICZ, Z.-W., SZAMALEK, K., KOWALCZAK, P., 1999, The Great Flood of 1997 in Poland, *Journal des sciences hydrologiques*, 44(6), p. 855-870.
- LANG, M., PERRET, C., RENOUF, E., SAUQUET, E., PAQUIER, A., 2006, Incertitudes sur les débits de crue, *La Houille Blanche*, n° 6, p. 33-41.
- LANGHAMMER, J., VILÍMEK, I., 2008, Landscape changes as a factor affecting the course and consequences of extreme floods in the Otava river basin, Czech Republic, *Environ Monit Assess*, n° 144, p. 53-66.
- LAURANCE, W.-F., 2007, Environmental science: Forests and floods, *Nature*, 449(7161), p. 409-410.
- LEKUTHAI, A., VONGVISESSOMJAI, S., 2001, Intangible flood damage quantification, *Water Resources Management*, 15(5), p. 343-362.
- LEVY, J.-K., HALL, J., 2005, Advances in flood risk management under uncertainty, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), p. 375-377.



## Articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences (suite)

- LIU, Y.-B., GEBREMESKEL, S., DE SMEDT, F., HOFFMANN, L., PFISTER, L., 2004, Simulation of Flood reduction by natural river rehabilitation using a distributed hydrological model, *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(6), p. 129-1140.
- LIU, Y.-B., GEBREMESKEL, S., DE SMEDT, F., *et al.*, 2006, Predicting storm runoff from different land-use classes using a geographical information system-based distributed model, *Hydrological Processes*, 20(3), p. 533-548.
- LOUCKS, D.-P., 2006, Modeling and managing the interactions between hydrology, ecology and economics, *Journal of Hydrology*, n° 328, p. 408-416.
- LOUCKS, D.-P., STEDINGER, J.-R., STAKHIV, E.-Z., 2006, Individual and Societal responses to Natural Hazard, *Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE*, sept-oct. 2006, p. 315-319.
- MARSALEK, J., CHOCAT, B., 2002, International Report: Stormwater management, *Water Science and Technology*, 46(6-7), p. 1-17.
- MARSHALL, M.-R., FRANCIS, O.-J., FROGBROOK, Z.-L., JACKSON, B.-M., MCINTYRE, N., REYNOLDS, B., SOLLOWAY, I., WHEATER, H.-S., CHELL, J., 2009, The impact of upland land management on flooding: results from an improved pasture hillslope, *Hydrol. Process*, n° 23, p. 464-475.
- MARTINI, F., 2007, Le programme d'action de l'union européenne pour la gestion du risque d'inondation, *La Houille Blanche*, n° 1, p. 74-77.
- MCCULLOCH, J.-S.-G., ROBINSON, M., 1993, History of forest hydrology, *Journal of Hydrology*, 150(2-4), p. 189-216.
- MCMILLAN, H.-K., BRASINGTON, J., 2008, End-to-end flood risk assessment: A coupled model cascade with uncertainty estimation, *Water Resources Research*, n° 44(3).
- MERZ, R., BLÖSCHL, G., 2008a, Flood frequency hydrology: 1. Temporal, spatial, and causal expansion of information, *Water Resources Research*, n° 44(8).
- MERZ, R., BLÖSCHL, G., 2008b, Flood frequency hydrology: 2. Combining data evidence, *Water Resources Research*, n° 44(8)
- MERZ, R., BLÖSCHL, G., 2008c, Process controls on the statistical flood moments – a data based analysis, *Hydrol. Process*, 23(5), p. 675-696.
- MERZ, R., BLÖSCHL, G., 2009, A regional analysis of event runoff coefficients with respect to climate and catchment characteristics in Austria, *Water Resources Research*, n° 45.
- MEYER, V., HAASE, D., SCHEUER, S., 2009, Flood Risk Assessment in European River Basins-Concept, Methods, and Challenges Exemplified at the Mulde Rive, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(1), p. 17-26.
- MONTALDO, N., MANCINI, M., ROSSO, R., 2004, Flood hydrograph attenuation induced by a reservoir system: analysis with a distributed rainfall-runoff model, *Hydrological Processes*, 18(3), p. 545-563.
- NAEF, F., KULL, D., THOMA, C., 2000, How do floodplains influence the discharge of extreme flood?, European Conference on Advances in Flood Research, Potsdam, Allemagne, 2000, *in : PIK Report n° 65, Conference Proceedings*, BRONSTERT, A., BISMUTH, C.-H., MENZEL, L. (eds.), (1-2), p. 644-652.
- NAEF, F., SHERRER, S., WEILER, M., 2002, A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land-use change, *Journal of Hydrology*, n° 267, p. 74-79.

## Articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences (suite)

NAULET, R., LANG, M., OUARDA, T.-B.-M.-J. *et al.*, 2005, Flood frequency analysis on the Ardeche river using French documentary sources from the last two centuries, Workshop on Palaeofloods, Historical Data and Climate Variability, oct. 16, 2002 Barcelona, Spain, *Journal of Hydrology*, 313(1-2) Special Issue, p. 58-78.

NÉDELEC, Y., KAO, C., CHAUMONT, C., 2004, Réduction des transferts de crues dans les bassins versants agricoles fortement drainés : état des connaissances et des recherches, *Ingénieries-EAT*, n° 37, p. 3-21.

NEPPEL, L., BOUVIER, C., NIEL, H., 2006, Quelques illustrations des sources d'incertitudes dans l'analyse de l'aléa pluvieux, *La Houille Blanche*, n° 6, p. 22-26.

O'CONNELL, E., EWEN, J. *et al.*, 2007, Is there a link between agricultural land-use management and flooding?, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), p. 96-107.

PETROW, T., THIEKEN, A.-H. *et al.*, 2006, Improvements on flood alleviation in Germany: Lessons learned from the Elbe flood in August 2002, *Environmental Management*, 38(5), p. 717-732.

PETRY, U., HUNDECHA, Y., PAHLOW, M., SCHUMANN, A., 2008, *Generation of severe flood scenarios by stochastic rainfall in combination with a rainfall runoff model*, APFM, 4<sup>th</sup> International Symposium on Flood Defence, Toronto, Canada, 06-08 mai 2008.

PEYRAS, L., ROYET, P., SALMI, A., SALEMBIER, M., BOISSIER, D., 2006, Étude de la sûreté de fonctionnement d'un aménagement hydraulique de génie civil : application à des ouvrages de protection contre les inondations de la ville de Nîmes, *Revue Européenne de Génie Civil*, oct. 2006, p. 615-631.

PIELKE, R.-A., 1999, Nine fallacies of floods, *Climatic Change*, 42(2), p. 413-438.

PINTER, N., ICKES, B.-S., WLOSINSKI, J.-H. *et al.*, 2006a, Trends in flood stages: Contrasting results from the Mississippi and Rhine River systems, *Journal of Hydrology*, 331(3-4), p. 554-566.

PINTER, N., VAN DER PLOEG, R.-R., *et al.*, 2006b, *Flood magnification on the River Rhine*, *Hydrological Processes*, 20(1), p. 147-164.

PITHART, D., PRACH, K., FRANCÍRKOVÁ, T., 2002, *Functional river floodplains as the best flood protection: the Luznice River, Czech Republic, experience from August 2002 flooding*, ECOFLOOD International Conference, Varsovie, 6-13 septembre 2003.

PLATE, E.-J., 2002, Flood risk and flood management, *Journal of Hydrology*, 267(1-2), p. 2-11.

POULARD, C., SZCZESNY, J., WITKOWSKA, H., RADZICKI, K., 2005, Dynamic Slowdown: A flood mitigation strategy complying with the Integrated Management concept – Implementation in a small mountainous catchment, *Journal of River Basin Management*, 3(2), p. 75-85.

POULARD, C., LEBLOIS, E., NARBAIS, D., CHENNU, S., 2009, Towards objective design of dry dams at watershed scale : how to take into account the spatial structure of the rainfall and its variability, 12<sup>th</sup> Biennial Conference of Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB), Hydrological Extremes in Small Basins, 18-20 septembre 2008, Cracovie (Pologne), *Technical Docs in Hydrology – Unesco*, accepté pour publication

PROUST, S., BOUSMAR, D., RIVIÈRE N., *et al.*, 2006, A methodology for computing non-uniform flows in compound channels, River Flow 2006, International Conference on Fluvial Hydraulics, 06-08/09/2006 Lisbon, Portugal, *Book Series: Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences*, (1-2), p. 405-414.

PROUST, S., RIVIÈRE, N., BOUSMAR, D., PAQUIER, A., ZECH, Y., MOREL, R., 2006, Flow in compound channel with abrupt floodplain contraction, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(9), p. 958-970.

## Articles de revues scientifiques et techniques, communications à des conférences (suite)

PROUST, S., BOUSMAR, D., RIVIÈRE, N., PAQUIER, A., ZECH, Y., 2009, Modeling steady non-uniform flows in compound channels, accepté et à paraître dans le *Journal of Hydraulic Research*.

RAMEZ, P., 2005, Formation de bancs dans un lit endigué – Partie 1 : théorie, *La Houille Blanche*, n° 6, p. 20-28.

RAMEZ, P., 2005, Formation de bancs dans un lit rectiligne - Partie 2 : calage et application, *La Houille Blanche*, n° 6, p. 29-37.

REFSGAARD, J., 1997, Parameterisation, calibration and validation of distributed hydrological models, *Journal of Hydrology*, n° 198, p. 69-97.

ROBSON, A.-J., JONES, T.-K., *et al.*, 1998, A study of national trend and variation in UK floods, *International Journal of Climatology*, 18(2), p. 165-182.

RÖTTCHER, K., TÖNSMANN, F., 2003, *Preventive flood defence in the hessian area of the river Lahn*, ECOFLOOD, International Conference, Warsaw, 6-13 septembre 2003.

SAUQUET, E. *et al.*, 2003, Description des régimes hydrologiques des hautes-eaux : nouvelle formulation pour l'analyse en débit-durée-fréquence et applications en ingénierie, *Ingénieries-EAT*, n° 34, p. 3-15.

SHULTZ, S.-D., LEITCH, J.-A., 2003, The feasibility of restoring previously drained wetlands to reduce flood damage, *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(1), p. 21-29.

SUMI, T., 2008, *Designing and operating of flood retention 'Dry Dams' in Japan and USA*, ICHE08, 8<sup>th</sup> International Conference on Hydro-Science and Engineering, 08-12/09/2008, Nagoya, Japon, 10 p.

VAN DIJK, A., VAN NOORDWIJK, M. *et al.*, 2009, Forest-flood relation still tenuous – comment on 'Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world' by C. J. A. Bradshaw, NS Sodi, K. S.-H. Peh and BW Brook., *Global Change Biology*, 15(1): p. 110-115.

## Quelques thèses récentes

GHAVASIEH, A.-R., 2003, *Contribution à la modélisation des aménagements hydrauliques des bassins versants en lit majeur*, thèse de doctorat, université Claude Bernard Lyon 1.

GRELOT, F., 2004, *Gestion collective des inondations : peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?*, thèse de doctorat, École nationale supérieure d'arts et métiers, Paris, 206 p. + annexes.

NÉDÉLEC, Y., 2005, *Interactions en crues entre drainage souterrain et assainissement agricole*, thèse de doctorat, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Paris, 213 p.

PAYAN, J.-L., 2007, *Prise en compte de barrages-réservoirs dans un modèle global pluie-débit*, thèse de doctorat, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Paris et Cemagref, Antony, 256 p.

PROUST, S., 2005, *Écoulements non uniformes en lits composés : effets de variations de largeur du lit majeur*, thèse de doctorat de l'INSA de Lyon, n° 2005-ISAL-0083, Lyon, 362 p. [www.lyon.cemagref.fr/doc/these/proust/index.shtml](http://www.lyon.cemagref.fr/doc/these/proust/index.shtml).

## Documents techniques de synthèse et de recommandations, rapports

APFM, Associated Programme for Flood Management, Programme associé de gestion des crues <http://www.apfm.info> :

APFM, 2004, *Gestion Intégrée des Crues*, document de fond, édité par le Service d'appui technique, Document technique APFM n° 1, Collection « Politiques de gestion des crues », deuxième édition, 28 p.

APFM, 2006a, *Aspects juridiques et institutionnels de la gestion intégrée des crues*, OMM n° 997, Document technique APFM n° 2, Collection « Politiques de gestion des crues », 93 p.

APFM, 2006b, *Aspects juridiques et institutionnels de la gestion intégrée des crues – Cas d'étude*, OMM n° 1004.

APFM, 2006c, *Aspects écologiques de la gestion intégrée des crues*, OMM n° 1009, Document technique APFM n° 3, Collection « Politiques de gestion des crues », 83 p.

APFM, 2007, *Economic Aspects of Integrated Flood Management* (pas encore disponible en français), WMO n° 1010, APFM Technical Document n° 5, Flood Management Policy Series, 53 p.

CETMEF, CEMAGREF, 2007, *Guide méthodologique pour le pilotage des études hydrauliques*. [http://www.cetmef.equipement.gouv.fr/projets/hydraulique/clubcourseau/publi\\_hydrau\\_guide\\_methodo.html](http://www.cetmef.equipement.gouv.fr/projets/hydraulique/clubcourseau/publi_hydrau_guide_methodo.html)

CERTU, 2003, *La ville et son assainissement*, ministère chargé de l'écologie, CD-Rom.

CHASTAN, B. coord., 2004, *Le ralentissement dynamique pour la prévention des inondations : guide des aménagements associant l'épandage des crues dans le lit majeur et leur écrêtement dans de petits ouvrages*, plusieurs contributeurs dont Cemagref, ministère chargé de l'écologie, Groupe de travail présidé par M. J. DUNGLAS, 131 p.

DEGOUTTE, G. coord., 1997, *Petits barrages : recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi*, Comité français des barrages et réservoirs, coédition Cemagref Éditions-ENGREF, Antony, 173 p.

GILARD, O., 1998, *Les bases techniques de la méthode Inondabilité*, Cemagref Éditions, Antony, 207 p.

GRAIE, 2009, *Guide pour la prise en compte des eaux pluviales dans les documents de planification et d'urbanisme, ouvrage collectif rédigé par le groupe de travail régional sur la gestion des eaux pluviales*, V1, janvier 2009, Éditions Graie, 80 p. [http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc\\_telech/guidepurba.pdf](http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/guidepurba.pdf)

HUET, P. et al., 2002, *Inspection suite aux désordres et à la rupture des bassins de rétention de La Savoureuse*, Affaire IGE 02/044, Inspection générale de l'environnement. <http://www.ecologie.gouv.fr/ecologie/IMG/pdf/Rapport-La-Savoireuse.pdf>

HUET, P. et al., 2003, *Retour d'expérience des crues de septembre 2002 dans les départements du Gard, de l'Hérault, du Vaucluse, des Bouches-du-Rhône, de l'Ardèche et de la Drôme*, Affaire IGE 02/044, Inspection générale de l'environnement. [http://www.ecologie.gouv.fr/publications/IMG/pdf/crues\\_gard.pdf](http://www.ecologie.gouv.fr/publications/IMG/pdf/crues_gard.pdf)

JULIANO, K., SIMONOVIC, S.-P., 1999, *The impact of wetlands on flood control in the Red River Valley*, Final Report to International Joint Commission, Canada, 68 p. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.37.9662&rep=rep1&type=pdf>

LANG, M., LAVABRE, J., et al., 2007, *Estimation de la crue centennale pour les plans de prévention des risques d'inondations*, Éditions Quæ, 232 p.

## Documents techniques de synthèse et de recommandations, rapports (suite)

LEBLOIS, E., 1999, *L'influence humaine dans l'origine des crues : état de l'art*, Actes du congrès « L'influence humaine dans l'origine des crues », Paris, 18-19 novembre 1996, Cemagref Éditions, 195 p.

MARSH, T.-J., HANNAFORD, J., 2007, *The summer 2007 floods in England and Wales – A hydrological appraisal*, Centre for Ecology & Hydrology, 32 p.

NÉDÉLEC, Y., 1999, *Activités rurales et inondations – Connaissance et bonnes pratiques*, Cemagref Éditions, 141 p.

OBERLIN, G., GILARD, O., SAUQUET, E., DESBOS, E., 1997, *Le concept de ralentissement dynamique, en gestion intégrée des eaux*, in : *FRIEND projects H-5-5 and 1.1 Third report : 1994-1997*, p. 373-380.

PITT, M., 2007, *Learning lessons from the 2007 floods*, rapport indépendant, 462 p.  
[http://archive.cabinetoffice.gov.uk/pittreview/\\_/media/assets/www.cabinetoffice.gov.uk/flooding\\_review/pitt\\_review\\_full%20pdf.pdf](http://archive.cabinetoffice.gov.uk/pittreview/_/media/assets/www.cabinetoffice.gov.uk/flooding_review/pitt_review_full%20pdf.pdf)  
[http://www.ceh.ac.uk/documents/CEH\\_FloodingAppraisal.pdf](http://www.ceh.ac.uk/documents/CEH_FloodingAppraisal.pdf)

POINT, P., 1999, *La mesure économique des bénéfices attachés aux hydrosystèmes*, Cemagref Éditions, 97 p.

POULARD, C. et al., 2008, *Gérer un projet de ralentissement dynamique*, Fiche Sinfotech, 4 p.  
<http://sinfotech.cemagref.fr/upl/map/fiches/poulard.pdf>

RAMEZ, P., 2008, *Estimation des conséquences du recul des digues sur la gestion des inondations et sur la morphologie des rivières*, Agence de l'Eau RMC, Cemagref, 55 p.

UE, Union européenne, 2000, *Directive Cadre Européenne 2000/60/CE du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*.

UE, Commission, 2004a, *Best practices on flood prevention, protection and mitigation*, 29 p.  
[http://ec.europa.eu/environment/water/flood\\_risk/pdf/flooding\\_bestpractice.pdf](http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/pdf/flooding_bestpractice.pdf)

UE, Commission, 2004, *Gestion des risques liés aux inondations – Prévention, protection et mitigation des inondations*, 13 p.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52004DC0472:EN:NOT>

UE, Commission, 2007, *Good Practice for Delivering Flood-Related Information to the General Public*.

UE, Commission, 2007, *Handbook on good practices for flood mapping in Europe, including the « Atlas of Flood Maps, with examples from 19 European countries, USA and Japan »*.

UE, 2007, *Directive Cadre Européenne 2007/60/EC du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2007, relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation*.

WASSON, J.-G., MALAVOI, J.-R., MARIDET, L., SOUCHON, Y., PAULIN, L., 1998, *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières*, Cemagref Éditions, 158 p.

Le site [omer.cemagref.fr](http://omer.cemagref.fr) propose une base de données sur les ouvrages de maîtrise des écoulements en milieu rural, partage des fiches de retour d'expérience et une bibliographie étendue : 1. Généralités : problèmes (inondations, érosion et qualité des eaux), aménagement hydraulique ou grand projet, réglementation ou prévention ; 2. Influences : forestières, pratiques agricoles, travaux en rivières, drainage et assainissement agricole, aménagement foncier et travaux connexes, urbanisation ; 3. Aménagements : descriptions d'ensemble, méthodes de conception, entretien et suivi.

## Rapports parlementaires français

*Le Parlement français a produit quelques rapports riches d'enseignement.*

N° 34 – SÉNAT – Rapport de la commission d'enquête (1) sur les inondations de la Somme chargée d'établir les causes et les responsabilités de ces crues, d'évaluer les coûts et de prévenir les risques d'inondations, créée en vertu d'une résolution adoptée par le Sénat le 9 mai 2001, publié au Journal officiel du 19 octobre 2001.

<http://www.senat.fr/rap/r01-034-1/r01-034-11.pdf>

Dossier législatif concernant la loi sur la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 parue au Journal officiel n° 175 du 31 juillet 2003).

<http://www.senat.fr/dossierleg/pjl02-116.html>

N° 154 – SÉNAT – Rapport fait au nom de la Commission des affaires économiques et du plan (1) sur le projet de loi relatif à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, par M. Yves Détraigne (janvier 2003).

<http://www.senat.fr/rap/l02-154/l02-1541.pdf>

N° 635 - Rapport de M. Alain Venot sur le projet de loi, adopté avec modification par le Sénat, relatif à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages (606), publié le 26 février 2003.

<http://www.assemblee-nationale.fr/12/pdf/rapports/r0635.pdf>

N° 1047 – Rapport sur l'amélioration de la sécurité des barrages et ouvrages hydrauliques déposé le 9 juillet 2008 par M. Christian Kert.

<http://www.assemblee-nationale.fr/13/rap-off/i1047.asp>

N° 1540 – Rapport sur les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France, publié le 12 avril 1999.

<http://www.assemblee-nationale.fr/11/rap-off/i1540.asp>

N° 1641 – Rapport de la Commission d'enquête sur les causes des inondations et les moyens d'y remédier, président : M. Philippe Mathot, rapporteur : M. Thierry Mariani, publié le 4 novembre 1994.

<http://www.assemblee-nationale.fr/11/rap-enq/r10-1641-1.asp>

N° 3046 – Rapport de M. Éric Doligé sur la proposition de résolution de MM. Jean-Louis Debré, Jean-François Mattei et Philippe Douste-Blazy, tendant à la création d'une commission d'enquête sur les causes notamment climatiques, environnementales et urbanistiques des inondations exceptionnelles afin d'établir les responsabilités, d'évaluer les coûts et de prévenir les crues à répétition (2982), publié le 9 mai 2001.

<http://www.assemblee-nationale.fr/11/rapports/r3046.asp>

N° 3386 – Rapport d'enquête de M. Jacques Fleury déposé par la délégation de l'Assemblée nationale pour l'Union européenne sur les causes des inondations répétitives ou exceptionnelles et sur les conséquences des intempéries afin d'établir les responsabilités, d'évaluer les coûts ainsi que la pertinence des outils de prévention, d'alerte et d'indemnisation, publié le 14 novembre 2001.

<http://www.assemblee-nationale.fr/11/rap-enq/r3386.asp>

Projet de loi relatif à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

[http://www.assemblee-nationale.fr/13/dossiers/grenelle\\_environnement2.asp](http://www.assemblee-nationale.fr/13/dossiers/grenelle_environnement2.asp)

### Chronologie de quelques projets européens et conférences récentes

Nous proposons ici une liste de projets européens et de conférences, classés par ordre chronologique, car ce sont de bons indicateurs du dynamisme de ces thématiques. La lettre [P] repère les projets européens (Interreg, Programme cadre de recherche et développement de l'Union européenne) qui sont rangés en fonction de leur date de clôture. Ils sont accompagnés d'un bref descriptif et de l'adresse du site internet. Une conférence internationale est en général organisée à la fin des projets ; le lieu et la date sont alors mentionnés entre parenthèses. Les projets urbains ou concernant les grands ouvrages (IMPACT, CADAM, URBEM...) ne sont pas recensés ici.

#### 2002

[P] **Wise Use of Flood Plain** (1999-2002 ; projet LIFE Environment)

<http://www.floodplains.org/>

Les quatre cas-tests sont : Forth, Erne, Somerset Levels and Moors, Fens. Des plaquettes (« *guidance notes* », notes techniques) sont téléchargeables sur le site.

#### 2003

[P] **IRMA** : programme d'activités Rhin-Meuse (1997-2003)

<http://www.irma-programme.org>

Ce programme a financé 153 projets nationaux ou transnationaux sur le bassin Rhin-Meuse. Les résultats ont été diffusés sous forme de rapports (par exemple ouvrage IRMA Best-Practices, 2003) et pour le sous-programme IRMA Sponge, dans un rapport dont le résumé est téléchargeable (<http://www.ncr-web.org/downloads/NCR18e-2002.pdf>) et dans un numéro spécial de la revue *River Research and Applications*, 20(3), de mai 2004.

[P] **EcoFlood – Towards natural flood reduction strategies**

(6-13 septembre 2003, Varsovie, Pologne)

<http://levis.sggw.waw.pl/ecoflood>

Le site propose les diapos des présentations de et un rapport de synthèse incluant des fiches de retour d'expérience (Blackwell et Maltby (eds.), *How to use Floodplain for Flood risk reduction. EcoFlood Guidelines*, 144 p).

#### 2004

**Flood risk management, Hazard, Vulnerability and Mitigation Measures**

(06-10 octobre 2004, Ostrov, République Tchèque).

#### 2005

**ISDR**, World Conference on Disaster Reduction (8-22 janvier 2005, Kobe, Hyogo, Japon).

<http://www.flood2008.org/flood/docs/ISFD3%20Declaration.pdf>

#### 2006

[P] **Floodscape** (2002-2006, Interreg IIIB) (27-29 juin 2006, Cambridge, UK)

<http://www.floodscape.net/>

(site non accessible en janvier 2009 : cf.

<http://www.johngoto.org.uk/floodscapes/floodscapes9.htm>).

Son objectif est de démontrer, à travers sept actions pilotes, que la réduction du risque d'inondation peut passer par une restitution d'espace au fleuve et une concertation étroite avec les riverains.

[P] **FLAWS**, Living with Flood risk in a changing climate (2002-2006, Interreg IIIB)

<http://www.flows.nu>

FLAWS est un acronyme pour Floodplain Land-use Optimising Workable Sustainability.

## Chronologie de quelques projets européens et conférences récentes (suite)

**2007**

[P] **WARELA**, Water Retention by Land-use  
(Interreg III b, 24-26 septembre 2007, Trèves, Allemagne)  
<http://www.warela.eu/>

Le projet promeut la prévention effective des inondations dans le cadre d'une gestion intégrée du bassin versant. Les mesures techniques d'ingénierie préconisées sont la rétention des eaux par une exploitation des surfaces, et la reconnexion des anciennes zones d'expansion de crues partout où c'est possible.

**International Conference on Risk Assessment in European River basins : State of the Art and Future Challenges** (Leipzig, Allemagne, 12-14 novembre 2007)  
<http://www.ufz.de/index.php?en=14352>

**EFRM 2007**, European Symposium on Flood Risk Management Research (Dresde, Allemagne)

**2008**

[P] **Nofdp**, Nature oriented flood damage prevention  
(Interreg IIIB, 16-18 avril 2008, Darmstadt – Allemagne)  
<http://nofdp.bafg.de>

**APFM**, 4<sup>th</sup> International Symposium on Flood Defence – ISFD4  
(06-08 mai 2008, Toronto, Canada)  
<http://www.flood2008.org/flood/>

[P] **FLOODsite**, Integrated flood risk analysis and management methodologies  
(EC – 6<sup>e</sup> PCRD)(FloodRisk, 30 septembre-02 octobre 2008, Oxford, Royaume-Uni)  
<http://www.floodsite.net>

[P] **Freude am Fluss**, Mieux vivre au bord du fleuve (terminé en 2008)  
[www.freudeamfluss.fr](http://www.freudeamfluss.fr) ou <http://www.freudeamfluss.eu/fre/Accueil.php>  
L'objectif de ce projet est de contribuer à un meilleur aménagement et une meilleure gestion des vallées inondables dans les trois pays participants (Pays-Bas, Allemagne et France).

**Programme ERANET Crues – 2006**

(en français) <http://www.ecologie.gouv.fr/ecologie/-ERA-NET-Crue-.html>

(en anglais) <http://www.crue-eranet.net>

Ce programme est coordonné pour la France par le ministère chargé de l'écologie. Deux appels à projets ont déjà eu lieu :

- 1<sup>er</sup> appel (janvier 2006) : *Évaluation et gestion du risque d'inondation : efficacité et efficience des mesures non structurelles de gestion des inondations* ;
- 2<sup>e</sup> appel (octobre 2008) : *La résilience des territoires face aux inondations – Gérer les conséquences des inondations.*



**Quelques liens vers des sites universitaires germanophones**

De nombreux rapports et publications intéressants existent en allemand (revue *Wasser Wirtschaft*). Des références utiles peuvent être recherchées sur les sites universitaires, par exemple :

- Department of Hydraulic Engineering and Water Resources Management, université de Kassel (voir notamment les travaux de K. RÖTTCHER et F. TÖNSMANN )  
<http://www.uni-kassel.de/fb14/wasserbau/Publikationen/publication.ghk>
- Institute of Hydrology, Water Resources Management and Environmental Engineering, université de Bochum (Ruhr)  
[http://www.ruhr-uni-bochum.de/hydrology/index\\_en.html?E/General/institute.htm](http://www.ruhr-uni-bochum.de/hydrology/index_en.html?E/General/institute.htm)
- Centre de recherche sur les inondations, Dresde  
<http://www.dresden-frc.de/>
- Institut für Wasserbau, Stuttgart  
<http://www.iws.uni-stuttgart.de/publikationen/>
- Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, université de Karlsruhe  
<http://www.iwk.uni-karlsruhe.de/>
- le site d'un programme national de recherche allemand sur les crues extrêmes, RIMAX :  
<http://www.rimax-hochwasser.de/>
- BOKU, université de Vienne (Autriche)  
<http://www.wau.boku.ac.at/7453.html>