

Les solutions fondées sur la nature pour accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques

Freddy Rey, Vincent Breton, Pascal Breil, Patrice Mériaux

DANS **SCIENCES EAUX & TERRITOIRES 2018/2 Numéro 26**, PAGES 36 À 41

ÉDITIONS **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE POUR L'AGRICULTURE, L'ALIMENTATION ET L'ENVIRONNEMENT (INRAE)**

ISSN 2109-3016

DOI 10.3917/set.026.0036

Date de mise en ligne : 23/11/2018

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://stm.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2018-2-page-36?lang=fr>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...
Scannez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.



Distribution électronique Cairn.info pour Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE).

Vous avez l'autorisation de reproduire cet article dans les limites des conditions d'utilisation de Cairn.info ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Détails et conditions sur [Cairn.info/copyright](http:// Cairn.info/copyright).

Sauf dispositions légales contraires, les usages numériques à des fins pédagogiques des présentes ressources sont soumises à l'autorisation de l'Éditeur ou, le cas échéant, de l'organisme de gestion collective habilité à cet effet. Il en est ainsi notamment en France avec le CFC qui est l'organisme agréé en la matière.

Les solutions fondées sur la nature pour accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques

La compétence GEMAPI appelle aujourd'hui les collectivités territoriales à mettre en œuvre des solutions innovantes permettant d'accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques. Comment les solutions fondées sur la nature, basée sur l'utilisation d'ouvrages de génie écologique et végétal, complémentaires à des ouvrages de génie civil, peuvent répondre aux enjeux croisés de prévention des inondations et de restauration des milieux, et comment évaluer leur plus-value écologique et sécuritaire dans ce contexte ?

Ce article fait le point sur ces questions.



La GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) est une « super-compétence » de gestion du territoire, qui regroupe des compétences qui existaient déjà concernant la gestion des milieux aquatiques (GEMA) d'un côté et la prévention des inondations (PI) de l'autre.

Ces compétences dissociées étaient jusqu'alors gérées par différents services des collectivités ou de l'État. La GEMAPI implique désormais une seule personne morale, en l'occurrence les établissements publics de coopération intercommunale à fiscalité propre, qui exercent ces compétences soit de manière indépendante, soit en déléguant ou en transférant tout ou partie de ces compétences à un syndicat. C'est un pas important pour faire rejoindre les deux volets de la gestion de l'eau qui sont issus chacun d'une directive européenne, qui ont chacun leur déclinaison nationale et chacun leurs schémas directeurs (SDAGE – Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux, et PGRI – Plan de gestion des risques d'inondation), pour une approche plus intégrée de ces volets à l'échelle du bassin versant.

Pour des raisons sécuritaires évidentes, le volet « PI » pour la prévention des inondations focalise prioritairement l'attention. Mais le volet « GEMA », sur la gestion

des milieux aquatiques, est aussi très important, et peut contribuer à l'efficacité et la durabilité de la PI. La loi déplace donc l'attention sur l'aménagement de zones auxquelles on ne pensait parfois pas encore (voir l'article de Heitz *et al.*, pages 6-11 dans ce même numéro), en se demandant comment mieux concilier les deux volets. Le génie civil, utilisé pour construire des systèmes d'endiguement, des barrages ou des bassins écrêteurs, ou encore pour contribuer à la restauration morphologique des cours d'eau, représente une solution efficace pour protéger les biens et les personnes contre les inondations. Cependant, de par l'absence ou la pauvreté de biodiversité sur ces ouvrages, ou bien par les éléments de discontinuité des cours d'eau qu'ils peuvent engendrer, ils présentent en général une « moins-value » écologique. Les digues peuvent également, par accélération de l'eau et coupure entre le cours d'eau et ses zones d'expansion naturelle, accentuer les inondations plus à l'aval et déséquilibrer le transport solide. On cherche donc désormais, dans le cadre d'une gestion intégrée, à considérer toutes les préoccupations dans la réflexion dès la phase de conception des projets, qui devient alors pluridisciplinaire (photo 1). Pour concilier sécurité et écologie, on peut avantageusement avoir recours aux « solutions fondées sur la nature ».



Les solutions fondées sur la nature (ou NBS pour « *Nature-based solutions* »)

Les solutions fondées sur la nature (ou NBS pour « *Nature-based solutions* ») sont des actions visant à protéger, restaurer et gérer de manière durable des écosystèmes naturels ou modifiés, pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative tout en assurant le bien-être humain et des avantages pour la biodiversité, à l'échelle des paysages et sur le long terme. Enjeux sociétaux et bénéfiques pour la biodiversité apparaissent ici indissociables, même si les actions sont basées sur l'utilisation ou la valorisation des milieux naturels pour des bénéfices qui peuvent être autres que la préservation de la biodiversité. L'expérience internationale sur les NBS est croissante et l'Union européenne est demandeuse de projets scientifiques permettant leur développement (Cohen-Shacham *et al.*, 2016).

Pour mettre en application ce type de solution, on peut utiliser plus particulièrement le génie écologique et végétal, qui représente l'ensemble des techniques reposant sur un principe d'utilisation du vivant, animal et végétal, et plus globalement de moyens et de processus naturels, pour préserver, restaurer ou gérer les écosystèmes, en répondant de manière efficace à divers objectifs écologiques, économiques et sociaux (Chocat, 2013). Il permet d'agir sur les écosystèmes et d'accroître les services rendus par ces derniers, tant en nombre qu'en niveau de services déjà présents. Il peut surtout permettre d'accroître le niveau de services de régulation et de soutien rendus par les écosystèmes, mais il peut aussi permettre d'améliorer le niveau des services à caractère social et culturel rendus par les écosystèmes, ainsi que ceux des services d'approvisionnement en eau, fibre ou nourriture. Le génie écologique en général et le génie végétal en particulier peuvent également, dans certaines situations bien définies, représenter un complément au génie civil pour la prévention des inondations. Dans de telles situations, ils sont d'ail-

leurs souvent moins onéreux à installer et à gérer qu'un aménagement de génie civil, le tout avec une meilleure intégration dans le paysage. Il ne faut cependant pas oublier qu'un fonctionnement optimisé de tout système fondé sur la nature requiert un entretien car il évolue en permanence. Cela représente un coût qu'il faut savoir intégrer dans l'analyse économique. Il faut aussi savoir considérer les bénéfices induits car à la différence des ouvrages de génie civil, les ouvrages de génie écologique et végétal sont multifonctions au travers des bénéfices qu'ils procurent au-delà d'un rôle de protection. À titre d'exemple, les zones d'expansion de crues vont capter une grande partie des nutriments et des polluants qui seront bio-transformés avec production de biomasse, de biodiversité et de réduction de la pollution.

Ainsi, en combinant ces différents types d'approches au sein d'un bassin versant, on peut avantageusement envisager une solution fondée sur la nature conjuguant la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques à cette échelle. De nombreuses expériences et références françaises et internationales peuvent être reportées (Rey, 2018), et alliées à de récentes innovations dans ce domaine issues de la science, on peut proposer les actions-types suivantes (figure 1) :

- re-méandrer le cours d'eau et/ou le laisser divaguer pour dissiper son énergie ;
- laisser au cours d'eau la possibilité d'éroder ses berges dans les zones les moins vulnérables aux inondations ;
- aménager des zones d'expansion des crues, en utilisant notamment les zones humides rivulaires, pour permettre au cours d'eau de déborder ;
- combiner génie civil et génie végétal au niveau des berges, en utilisant parfois des ouvrages en bois (caissons végétalisés par exemple), et en veillant à ce que les ligneux et leurs grosses racines ne déstabilisent pas un éventuel ouvrage de protection proche (ex. : une digue en sommet de berge) (voir l'article de Zanetti *et al.*, pages 30-35 dans ce même numéro) ;

- ❶ Solutions fondées sur la nature basées sur l'utilisation du génie écologique et végétal, en complément du génie civil, pour une conjugaison entre restauration des milieux et prévention des inondations (source : <https://www.youtube.com/watch?v=M2bAEkookmc&t=10s>).



- planter les berges des cours d'eau pour limiter la vitesse du courant, les protéger et créer une trame verte ;
- végétaliser les versants du bassin pour réduire et ralentir le ruissellement ;
- végétaliser les lits des ravines érodées (cordons et garnissages sur seuils en bois, fascines, haies...) pour réduire l'apport de sédiments fins dans les rivières.

Les solutions fondées sur la nature pour une meilleure intégration de la prévention des inondations avec les enjeux environnementaux

Une gestion plus intégrée à l'échelle des bassins versants

Les stratégies et actions sont maintenant majoritairement d'initiative locale, mais les programmes de financement aux niveaux national (Programme d'action pour la prévention des inondations – PAPI), interrégional (Plan Grand fleuve – PGF, tel que le Plan Rhône ; Appel à projet « GEMAPI » de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse) et régional (Contrats de Plan État-Région) restent d'excellents moyens de favoriser la mise en œuvre par les acteurs de terrain des objectifs fixés aux niveaux régional, national et européen. Dès avant la mise en place de la GEMAPI, les politiques encouragent l'évolution vers une véritable « gestion intégrée », définie par la loi sur l'eau 92-3 du 03/01/92 comme « la gestion qui implique, à l'échelle d'une unité hydrographique cohérente, d'une part une concertation et une organisation de l'ensemble des acteurs ainsi qu'une coordination des actes d'aménagement et de gestion (politiques sectorielles, programmation,...), d'autre part une synergie entre le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques et la satisfaction des usages. La gestion intégrée vise à optimiser les actions

pour atteindre une gestion équilibrée ». Encore faut-il s'entendre sur les critères de cette optimisation.

Une vision à l'échelle d'un bassin versant permet en effet d'envisager une gestion intégrée des risques naturels liés à l'eau. Elle doit poser toutes les questions pertinentes (protection des biens et des personnes, objectifs environnementaux, ensemble des usages, économiques comme récréatifs), sur le territoire dont le maître d'ouvrage a la charge, mais aussi sur toute la zone impactée (dépendances amont-aval, au niveau des risques en particulier). Les solutions fondées sur la nature se prêtent particulièrement bien à ce type d'approche. Elles rejoignent ainsi l'ingénierie écologique, caractérisée par des finalités écologiques mais aussi économiques et sociales, et basée sur une utilisation du vivant. L'ingénierie écologique présente cependant un champ d'actions plus limité car explicitement centré sur des procédés d'ingénierie, à l'instar des ouvrages de génie écologique et végétal. L'harmonisation des actions à l'échelle d'un petit bassin versant nécessite des principes d'aménagement qui ont été développés et testés dans le cadre du programme « Ecohydrologie » de l'Unesco (<http://ecohydrology-ihp.org/demosites>).

Envisager une gestion intégrée du bassin versant signifie que la prévention des inondations démarre sur les têtes de bassin versant, avec utilisation des zones humides de versant (voir l'article de P. Breil, pages 62-65 dans ce même numéro), puis s'appuie sur des systèmes d'endiguement ou des ouvrages écrêteurs dans le lit des écoulements principaux (« aménagements hydrauliques » au sens du décret du 12 mai 2015), mais aussi sur les caractéristiques écologiques du bassin versant. Il s'agit donc de considérer, à cette échelle de bassin versant, les interactions entre les aménagements (zones d'expansion de crues, digues...), la couverture végétale et les pro-

cessus de crues et d'inondations, ainsi que ceux liés à l'érosion et au ruissellement (Breil et Abekhzerh, 2017), afin d'en déduire les types d'actions à mener par les collectivités – sachant qu'il existe des sites plus propices que d'autres pour l'approche intégrative, par exemple là où les gestionnaires disposent d'un espace suffisant pour faire reméandrer un cours d'eau, action permettant de favoriser les milieux aquatiques tout en abaissant le niveau des crues.

Du point de vue de l'ingénierie, le passage d'un mode de raisonnement PI à une démarche GEMAPI va poser des difficultés techniques, notamment liées à des actions de natures différentes, posant chacune des difficultés de modélisation spécifique, dispersées sur le bassin versant mais devant être évaluées en tant que système à l'échelle du bassin. L'autre difficulté est de réellement raisonner dans un contexte multi-critères, à la bonne échelle spatiale, pour évaluer et prioriser les propositions, et si possible encourager la conception pluridisciplinaire. Les bureaux d'étude s'engageant dans la conception innovante et la réalisation de projets conciliant la GEMA et la PI ont besoin de pouvoir s'appuyer sur des méthodes validées pour réaliser des diagnostics écologiques des milieux, évaluer les performances des ouvrages de protection contre les inondations, ou encore mener des analyses multicritères et coût-bénéfices. Ces outils permettent ainsi d'aller du diagnostic initial aux modes d'interventions possibles, en passant par l'évaluation socio-économique des actions envisagées.

De la difficulté d'évaluer l'efficacité des actions pour la prévention des inondations

Il reste difficile d'évaluer précisément l'effet combiné des ouvrages au sein d'un même bassin versant sur l'aléa inondation. Dans des projets d'ingénierie qui étudient plusieurs ouvrages, on se base souvent encore sur une crue spécifique, telle qu'observée sur le bassin (donc avec des périodes de retour estimées différentes selon les affluents), crue qui bien évidemment ne se reproduira jamais à l'identique.

Poulard *et al.* (2017) présentent plus en détail ce problème, et montrent quelques méthodes utilisées pour raisonner sur tout un bassin (figure 2). Les auteurs évoquent une méthode développée à Irstea, basée sur l'utilisation de chroniques de champs de pluie hétérogènes stochastiques utilisées comme scénarios d'apport à un modèle pluie-débit : l'idée est d'estimer le régime des crues en chaque point à partir des chroniques ainsi simulées, qui intègrent un maximum de variabilité (intensité et durée des événements, concomitances...). Ici, on retiendra surtout la difficulté d'évaluer correctement l'aléa de manière probabiliste (zone inondée pour une période de retour donnée...), même pour un petit nombre de gros ouvrages. Le tableau 1 récapitule les difficultés spécifiques, souvent aux limites de l'état de l'art. Il faut disposer des données de terrain et l'expertise suffisante pour construire, caler et valider le modèle ou la chaîne de modèles de manière satisfaisante.

Quand une étude complexe est nécessaire, il vaut mieux s'assurer avant de s'y lancer de la faisabilité des solutions proposées (études et réalisation), et de la compatibilité avec tous les objectifs fixés. Ainsi, s'interdire des actions de type génie civil peut empêcher d'atteindre les objectifs PI, mais s'appuyer seulement sur ces structures, surtout sans adaptation/compensation, risque de rendre le projet irrecevable du point de vue GEMA. Or, il reste difficile de concilier des objectifs différents, tels que la réduction des dommages et la préservation de la biodiversité, en s'appuyant notamment sur des analyses multicritères (voir l'article de Piton *et al.*, pages 58-61 dans ce même numéro), afin de relever le défi majeur de l'« intégration GEMAPI ». Il faut enfin aussi se poser la question suivante : sous l'hypothèse de savoir simuler les effets cumulés des ouvrages de génie civil et de génie écologique et végétal avec différents scénarios, jusqu'où pourrions-nous aller dans la logique de la gestion intégrée des espaces d'un territoire sans pour autant pénaliser son développement futur ?

2 Exemple de fonctionnement d'ouvrages sous un événement pluvieux hétérogène (d'après Poulard *et al.*, 2017).



Les sous-bassins versant délimités par les ouvrages écrêteurs (1), (2) et (3) sont soumis à des pluies locales différentes ; or, c'est la combinaison de ces trois fonctionnements spécifiques qui va déterminer la crue en entrée de la ville (4).

Le schéma ci-contre illustre une configuration :

- en (1) : un débit modéré traverse le pertuis sans modification ;
- en (2) : la crue a presque rempli la retenue, donc la capacité de stockage est utilisée au mieux ;
- en (3) : la crue a rempli totalement la retenue et le déversoir est entré en fonction : l'écrêtement a donc été limité sur la fin de l'événement hydrométéorologique.

Les inondations en (6) dépendent en outre d'inondations par ruissellement schématisées en (5), de l'effet des digues dans la ville, et éventuellement localement du comportement des réseaux.

▶ De nouvelles questions de recherche

Les solutions fondées sur la nature, vues comme des actions multi-bénéfiques, peuvent permettre d'envisager une gestion plus intégrée des risques naturels et des territoires, et notamment d'accorder la prévention des inondations avec la gestion des milieux aquatiques. Nous avons évoqué plus haut les difficultés techniques de l'évaluation de ces solutions du point de vue hydrologique (infiltration et écoulements en subsurface, écoulements complexes en lit majeur, calculs à l'échelle du bassin versant...), environnemental (diagnostics écologiques) et de la gestion de projet (valider des objectifs communs avec des acteurs ayant des cultures et des priorités différentes, s'entendre sur des règles de choix communes...). Mais le développement du concept de solutions fondées sur la nature appelle dès aujourd'hui à de nouvelles recherches de manière beaucoup plus globale, et dont les résultats doivent être portés à connaissance des ingénieurs, gestionnaires et décideurs.

Nous proposons ci-dessous quelques autres pistes de réflexions devant permettre de mieux montrer les apports possibles des solutions fondées sur la nature pour la GEMAPI :

- quel est le rôle des ouvrages de génie végétal et de la végétation vis-à-vis des inondations au niveau du bassin de risque, en intégrant la complexité des processus à l'échelle de la plante et de l'ouvrage ?
- comment concilier protection et écologie pour une gestion intégrée des écosystèmes, de l'eau et des territoires ? Par exemple, de quelle façon le génie végétal peut-il apporter des solutions en regroupant à la fois des fonctions de protection de berges et de corridor écologique (photo ②) ?
- comment assurer la sécurité des ouvrages tout en optimisant les services écosystémiques de la végétation ?
- quelles méthodes de restauration mettre en œuvre pour limiter les impacts à long terme des aménagements sur les cours d'eau ?

① Difficultés rencontrées pour simuler des actions pour la prévention des inondations et évaluer leur efficacité.

Processus spécifique	Conséquences sur le modèle	Références, projets et/ou articles
Débordements puis écoulements en zone d'expansion de crue en lit majeur hétérogène, avec des interactions complexes avec ceux du lit mineur...	Calculer des « pertes de charge » par le « coefficient » de Manning Strickler est acceptable en géométrie simple, mais erroné dans des écoulements complexes, avec plusieurs processus de dissipation d'énergie (ANR FlowRes, article Dupuis). L'effet de zones d'expansion de crue est donc complexe à modéliser ; l'article de Shober sur le recul de digues sur le Danube pose en outre en perspective la simulation des affluents, importants dans la genèse de la crue et des potentialités de laminage, qui supposera de définir des scénarios de crue sur tout le bassin (voir dernière ligne de ce tableau).	<ul style="list-style-type: none"> • Projet ANR FLOWRES : https://flowres.irstea.fr/partners • DUPUIS, V., PROUST, S., BERNI, C., PAQUIER, A., 2017, Compound channel flow with a longitudinal transition in hydraulic roughness over the floodplains, <i>Environmental Fluid Mechanics</i>, 17 (5), p. 903-928. • SCHOBER, B., HAUER, C., HABERSACK, H., 2015, A novel assessment of the role of Danube floodplains in flood hazard reduction (FEM method), <i>Nat Hazards</i>, 75(Suppl 1), 33 p.
Idem, y compris en versant, faisant appel à des processus de type ralentissement, et facilitation de l'infiltration. L'état de saturation du sol et la topographie locale sont déterminants pour les flux d'infiltration, et donc la répartition ruissellement/écoulements de subsurface.	La modélisation hydrologique (en amont du modèle hydraulique) doit être distribuée ou semi-distribuée. Il faut trouver le meilleur compromis pour simuler tout le bassin en rendant compte des effets locaux significatifs, ponctuels (petits ouvrages) ou surfaciques (changement d'occupation du sol...).	<ul style="list-style-type: none"> • LABBAS, M., BRANGER, F., BRAUD, I., 2015, Développement et évaluation d'un modèle hydrologique distribué pour des bassins périurbains. Application au Bassin de l'Yzeron (150 km²), <i>La Houille Blanche</i>, n° 5, p. 84-9. • REFSGAARD, J.C., HØJBERG, A.L., HE, X., HANSEN, A.L., RASMUSSEN, S.H., STISEN, S., 2016, Where are the limits of model predictive capabilities?, <i>Hydrological Processes</i>, 30 (26), p. 4956-4965.
Idem, y compris en zone urbaine (écoulements en carrefour, interactions écoulements de surface/écoulements en réseau...).	En zone urbaine, le modèle doit prendre en compte une géométrie et des phénomènes spécifiques (représentation des bâtiments, écoulements complexes en carrefour, interactions avec les réseaux enterrés, formation d'embâcles de voitures...). Modéliser un domaine couvrant à la fois des zones rurales, périurbaines et urbaines cumule donc les difficultés, pouvant nécessiter le recours à plusieurs codes de calcul.	<ul style="list-style-type: none"> • Projet : Maquette Urbaine pour le Risque Inondation. • BAZIN, P.-H., MIGNOT, E., PAQUIER, A., 2017, Computing flooding of crossroads with obstacles using a 2D numerical model, <i>Journal of Hydraulic Research</i>, 55 (1), p. 72-84. • ARONICA, G.T., et al., 2012, Probabilistic evaluation of flood hazard in urban areas using Monte Carlo simulation, <i>Hydrological Processes</i>, 26(26), p. 3962-3972.
Ouvrages nombreux, de natures différentes et dispersés sur tout le bassin.	En plus de représenter chacune des actions, il faut construire des scénarios de crue spatialisés. Plus les ouvrages sont dispersés, plus la structure spatiale et temporelle de la pluie est déterminante sur l'efficacité de chacun des ouvrages et donc de l'ensemble (figure ②).	<ul style="list-style-type: none"> • EMMANUEL, I., ANDRIEU, H., LEBLOIS, E., JANEY, N., 2016, Influence de la variabilité spatiale des champs pluvieux pour la modélisation pluie-débit de petits bassins versants : Une approche par simulation, <i>La Houille Blanche</i>, (2), p. 47-55. • FALTER, D. et al., 2016, Continuous, large-scale simulation model for flood risk assessments: Proof-of-concept, <i>Journal of Flood Risk Management</i>, 9(1), p. 3-21.

- dans la gamme des possibilités de gestion des cours d'eau compatible avec la maîtrise du risque d'inondation, quelles seraient les scénarios de gestion les plus à même de conserver des écosystèmes associés à une dynamique naturelle du cours d'eau ?
 - comment élaborer une approche (réellement) intégrée pour la conception d'aménagements de cours d'eau/de bassins versants conciliant GEMA et PI ? Plus spécifiquement, comment faire en sorte que la PI ne « domine » pas systématiquement la GEMA ? Et plus globalement, comment mieux intégrer l'ensemble des processus physiques et biologiques à l'échelle d'un bassin versant ?
- Par ailleurs, le partage de retours d'expérience sera toujours précieux, chaque nouveau projet étant un terrain d'expérimentation, avec des contraintes spécifiques (enjeux vulnérables aux inondations, foncier disponible, santé des écosystèmes, acceptation, pollutions menaçant l'efficacité de travaux de restauration, possibilités de compensations...) appelant des ajustements spécifiques. ■



Aménagement utilisant du génie végétal sur une berge de rivière.

© F. Rey (Irstea)

Les auteurs

Freddy REY et Vincent BRETON

Univ. Grenoble Alpes, Irstea, UR LESSEM,
Centre de Grenoble,
2 rue de la Papeterie, BP 76,
F-38402 St-Martin-d'Hères, France.

✉ freddy.rey@irstea.fr

✉ vincent.breton@irstea.fr

Christine POULARD et Pascal BREIL

Irstea, UR RIVERLY, centre de Lyon-Villeurbanne,
5 Rue de la Doua, CS 20244,
F-69625 Villeurbanne Cedex, France.

✉ christine.poulard@irstea.fr

✉ pascal.breil@irstea.fr

Patrice MÉRIAUX

Irstea, UR RECOVER,
3275 Route de Cézanne, CS 40061,
F-13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France.

✉ patrice.meriaux@irstea.fr

Remerciements

Cet article a été rédigé dans le cadre du projet SONATRa, financé par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) du ministère de la Transition écologique et solidaire.

EN SAVOIR PLUS...

✉ BREIL, P., ABEKHZER, H., 2017, *Gestion des inondations par ruissellement au moyen de la reconquête de zones humides (RIZHU). Appui à la GEMAPI*, Rapport PROGRAMME MEEM (DGPR / SRNH) – Connaissance et prévention des risques naturels et hydrauliques, 44 p.

✉ CHOCAT, B. (Coord.), 2013, *Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques : Pourquoi ? Comment ?*, Astee, 357 p.

✉ POULARD, C., ROYET, P., LEBLOIS, É., FAURE, J.-B., BREIL, P., PROUST, S., DEROO, L., 2017, Gérer des inondations par des ouvrages dispersés sur le bassin versant : principes et méthodes de diagnostic d'efficacité probabiliste, *Science Eaux et Territoires*, numéro spécial « Gestion du risque inondation : connaissances et outils au service de l'aménagement des territoires », vol. 23, p. 34-41, disponible sur : <http://www.set-revue.fr/gerer-des-inondations-par-des-ouvrages-disperses-sur-le-bassin-versant-principes-et-methodes-de>

✉ REY, F., 2018, *Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal*, Éditions Quae, 114 p.

✉ COHEN-SHACHAM, E., JANZEN, C., MAGINNIS, S., WALTERS, G., 2016, *Nature-based solutions to address global societal challenges*, IUCN, 97 p.