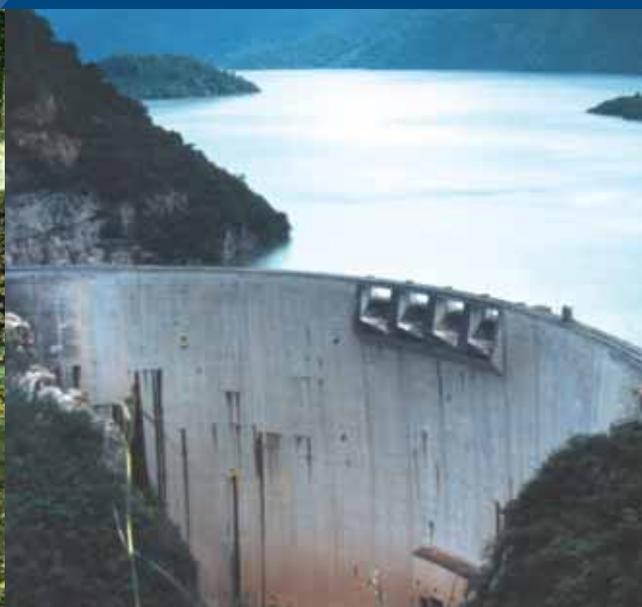


# Aspects écologiques de la gestion intégrée des crues

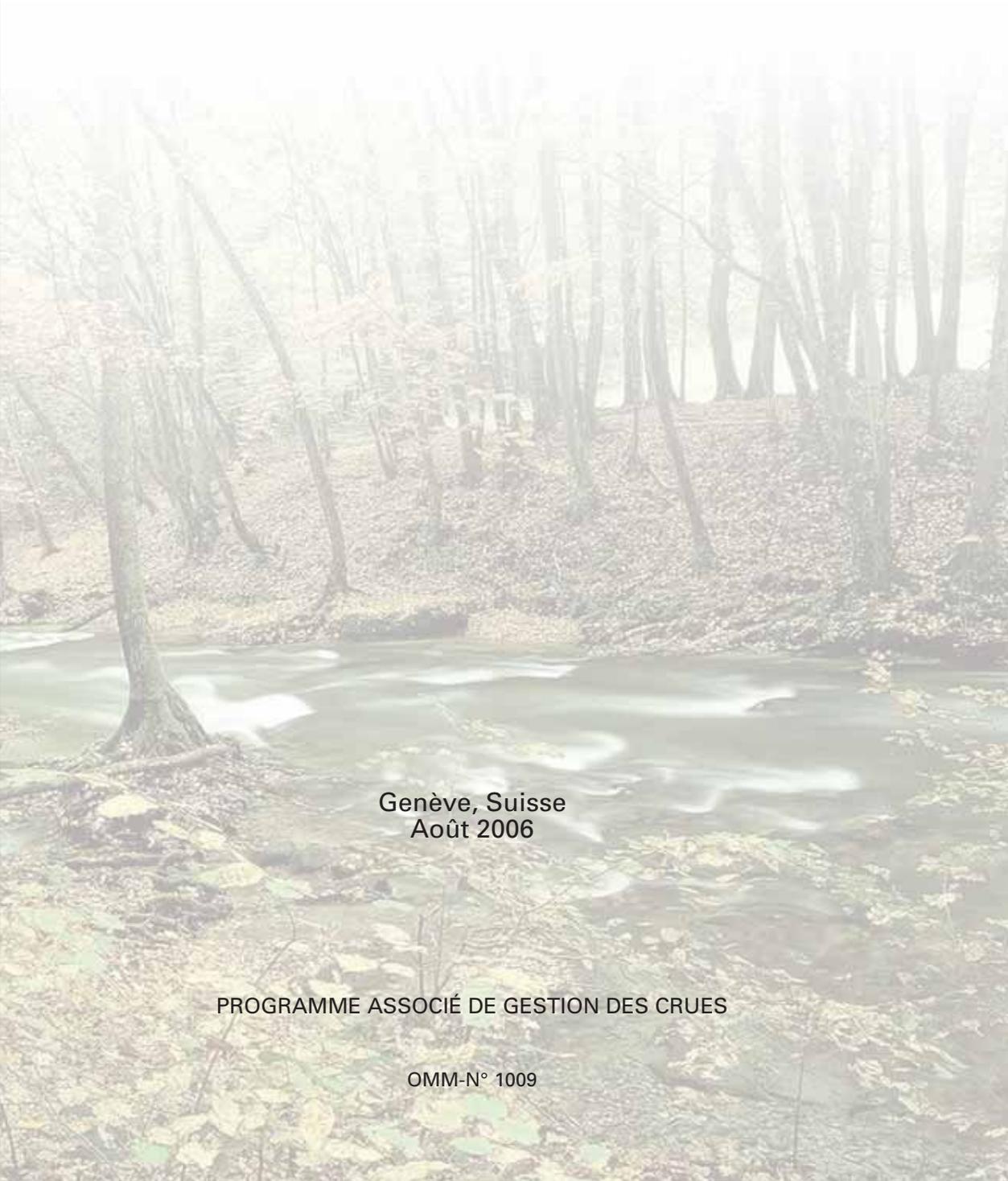


Organisation  
météorologique  
mondiale

Temps • Climat • Eau

POLITIQUES DE GESTION DES CRUES

# Aspects écologiques de la gestion intégrée des crues



Genève, Suisse  
Août 2006

PROGRAMME ASSOCIÉ DE GESTION DES CRUES

OMM-N° 1009



Le **Programme associé de gestion des crues (APFM)** est une initiative conjointe de l'Organisation météorologique mondiale et du Partenariat mondial pour l'eau. Il a été conçu pour promouvoir cette nouvelle façon de conduire la gestion des crues connue désormais sous le nom de «gestion intégrée des crues» (GIC). Il est financé par les Gouvernements japonais et néerlandais.



L'**Organisation météorologique mondiale (OMM)** est une institution spécialisée des Nations Unies. Pôle de connaissances pour ce qui est des questions relatives au temps, au climat et à l'eau, elle coordonne les activités des Services météorologiques et hydrologiques de 187 pays et territoires.



Le **Partenariat mondial pour l'eau (GWP)** est un réseau international ouvert à toutes les organisations qui s'occupent de la gestion des ressources en eau. Il a été créé en 1996 pour favoriser la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE).

---

Photos:

OMM

En bas et à gauche: Liang Changsheng

---

Cet ouvrage fait partie de la collection «Politiques de gestion des crues» publiée dans le cadre du Programme associé OMM-GWP de gestion des crues. Cette collection est consacrée aux divers aspects de la politique de gestion des crues, notamment aux aspects économiques, écologiques, juridiques, institutionnels et sociaux. Chaque ouvrage est fondé sur un texte établi par un groupe d'experts chargé d'orienter et de conseiller la rédaction; le texte fait ensuite l'objet d'un vaste processus d'examen et de consultation mené dans le cadre de conférences et de correspondances directes avec les meilleurs spécialistes de la gestion des ressources naturelles et des politiques de développement. Les ouvrages existent en anglais, en espagnol et en français.

Document technique APFM N° 3, Collection «Politiques de gestion des crues»

© Organisation météorologique mondiale, 2006

ISBN: 92-63-21009-8

#### NOTE

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation météorologique mondiale aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

# TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	v
REMERCIEMENTS .....	x
1. INTRODUCTION .....	1
1.1 De la lutte contre les crues à la gestion intégrée des crues .....	1
1.2 Objet et portée de la présente publication .....	2
2. CONTEXTE: ENVIRONNEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE .....	5
2.1 Le développement durable .....	5
2.2 L'environnement et les écosystèmes .....	6
2.3 Les services écosystémiques .....	7
2.4 La dégradation de l'environnement et les impératifs du développement .....	10
2.5 En résumé ... ..	12
3. CONCEPTS FONDAMENTAUX DE MORPHOLOGIE ET D'ÉCOLOGIE DES COURS D'EAU ET DE LEURS PLAINES INONDABLES .....	15
3.1 Les processus fluviaux et les plaines inondables .....	15
3.2 Le régime morphologique .....	18
3.3 La biodiversité .....	20
3.4 La connectivité morphologique et écologique .....	23
3.5 En résumé ... ..	25
4. PROCESSUS DE CRUES ET ÉCOSERVICES: LES INTERACTIONS .....	27
4.1 Les forêts .....	27
4.2 Les étangs et les lacs .....	29
4.3 Les zones humides .....	30
4.4 Les corridors fluviaux .....	33
4.5 Les écosystèmes estuariens et côtiers .....	35
4.6 En résumé ... ..	37
5. INTERVENTIONS AUX FINS DE LA GESTION DES CRUES ET ÉCOSYSTÈMES .....	41
5.1 Les barrages et les réservoirs .....	41
5.2 Les ouvrages d'endiguement .....	46
5.3 Les réservoirs d'écrêtement de crues et les bassins de retenue .....	48
5.4 Les canaux de dérivation .....	49
5.5 La chenalisation .....	50
5.6 Les mesures non structurelles .....	51
5.7 En résumé ... ..	54

6. PRISE EN COMPTE DES CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES DANS LES PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISIONS .....	59
6.1 Les processus de prise de décisions .....	59
6.2 La compréhension et l'analyse scientifiques .....	61
6.3 L'évaluation de l'environnement .....	62
6.4 Les analyses économiques intégrant des considérations environnementales.....	64
6.5 La participation des parties prenantes .....	65
6.6 La gestion adaptative .....	66
6.7 Le suivi .....	68
6.8 Le mécanisme d'habilitation .....	69
6.9 En résumé ... ..	70
NOTES .....	73
POUR EN SAVOIR PLUS ... ..	77
GLOSSAIRE .....	79
ENCADRÉS	
Encadré 1. Zones humides et cycle hydrologique .....	32
Encadré 2. Gestion intégrée des zones côtières .....	37
Encadré 3. Flux écologiques .....	42
Encadré 4. Directives pour une gestion des lâchers d'eau .....	45
Encadré 5. Processus d'évaluation stratégique de l'environnement.....	63
TABLEAUX	
Tableau 1. Principes de la GIC et approche écosystémique.....	13
Tableau 2. Écosystèmes et processus de crue.....	39
Tableau 3. Impacts des mesures structurelles sur divers processus à l'œuvre dans les corridors fluviaux et mesures correctives envisageables.....	56
FIGURES	
Figure 1. Liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain .....	8
Figure 2. Le système fluvial.....	16
Figure 3. Structure spatio-temporelle des éléments et processus observables dans les plaines inondables .....	17
Figure 4. Modelé et dépôts de la plaine inondable d'un cours d'eau méandriforme .....	19
Figure 5. Schéma du «fleuve suspendu» près de Kaifeng .....	20
Figure 6. Les divers facteurs caractérisant la biodiversité.....	22
Figure 7. Utilisation des habitats de frai par les poissons dans le Rhône supérieur .....	23
Figure 8. Dimensions spatio-temporelles d'un corridor fluvial.....	24
Figure 9. Canaux de dérivation.....	49
Figure 10. Cadre de prise de décisions respectueux de l'environnement pour la gestion des crues.....	60
Figure 11. Méthode de gestion adaptative .....	67

## RÉSUMÉ

La gestion intégrée des crues (GIC) porte sur la sécurité des personnes et le développement durable sous l'angle particulier de la gestion des crues, mais dans le cadre d'ensemble de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). Du fait d'un certain cloisonnement des disciplines, il est difficile de tenir compte des inquiétudes croissantes qu'inspire la dégradation de l'environnement et d'intégrer les perspectives des diverses disciplines pour définir des pratiques cohérentes de gestion des crues et de développement durable. La présente publication traite des stratégies de GIC respectueuses des besoins de l'environnement et vise à permettre une meilleure compréhension entre les disciplines. Élaborée essentiellement à l'intention des gestionnaires de crues pour leur permettre de comprendre les divers facteurs écologiques intervenant dans le domaine, elle fournit aussi aux décideurs, aux écologistes, aux organisations non gouvernementales et aux collectivités des renseignements utiles pour évaluer les risques de crue dans la perspective de l'environnement et du développement durable.

Aucun critère universel ne permet d'établir des pratiques de gestion des crues respectueuses de l'environnement: il est impératif de s'adapter au contexte hydroclimatique, topographique et socioéconomique particulier, et d'adopter une approche cohérente et nuancée des questions environnementales.

### Contexte

Depuis la naissance de l'humanité, les plaines inondables sont le siège privilégié de l'activité socioéconomique, comme l'attestent les très fortes densités des populations qui s'y sont établies. La gestion des crues y joue un rôle crucial pour protéger les personnes et les activités socioéconomiques contre les inondations. Cependant, les stratégies essentiellement fondées sur des ouvrages de protection (barrages, réservoirs, digues, canaux de dérivation, etc.) modifient malheureusement l'environnement naturel des cours d'eau au détriment des habitats, de la biodiversité et de la productivité des écosystèmes. La nécessité d'assurer un développement durable a mis en lumière l'importance de remédier aux conséquences néfastes qu'ont ces mesures de lutte et de protection contre les crues. La philosophie actuelle est ainsi de renoncer à la *lutte* contre les crues au profit de la *gestion* des crues.

La dégradation de l'environnement est une menace potentielle pour la sécurité des êtres humains, leur vie, leurs moyens d'existence, leur nourriture et leur santé. Les écosystèmes que sont les forêts, les zones humides et les lacs nous fournissent d'énormes services: ils nous apportent notamment de la nourriture et de l'eau potable, assurent la purification de l'eau, régulent les régimes d'écoulement et entretiennent notre patrimoine culturel. Ces écosystèmes naturels ont certes une remarquable capacité de rétablissement à la suite de déséquilibres, mais il est difficile de les restaurer s'ils sont détruits. Le développement durable, en général, et la gestion des ressources en eau, en particulier, visent donc avant tout à préserver l'aptitude des écosystèmes à absorber des perturbations continues, afin qu'ils continuent à fournir les services dont nous avons besoin; il importe donc de tenir compte des incidences écologiques des activités de gestion des crues tant aux fins du développement durable que de la sécurité humaine.

Dans de nombreuses régions du monde, la demande très forte que la croissance démographique fait peser sur les ressources naturelles contraint les populations à se rapprocher des cours d'eau et à y établir leur environnement matériel. De plus, les mesures de lutte et de protection contre les crues les encouragent à exploiter extensivement des zones qui ne sont protégées que depuis peu, ce qui accroît les risques d'inondation et de dommages qui s'y associent. Parallèlement, diverses autres activités menées à bien afin de développer et d'améliorer les conditions de vie, les moyens d'existence et la sécurité humaine concourent à la dégradation de l'environnement et des écosystèmes. Les politiques et les pratiques de gestion des crues doivent être considérées dans ce contexte global. Aussi est-il très important de concilier les impératifs de développement, les risques de crue, les vulnérabilités socioéconomiques et le développement durable avec la préservation des écosystèmes.

### **Évaluation des options de gestion des crues sur la base des connaissances scientifiques**

Dans des conditions naturelles, les cours d'eau divaguent continuellement dans leur plaine inondable et transforment la configuration du terrain. Les régimes d'écoulement et de transport des sédiments, qui interagissent avec les matériaux de fond et des berges ainsi qu'avec la végétation riveraine, modifient les cours d'eau, faisant apparaître ou disparaître telle ou telle de leurs caractéristiques, offrant ainsi divers habitats aux différentes communautés biotiques. La morphologie des cours d'eau ainsi que la diversité et la densité des habitats sont donc dans un état d'équilibre dynamique. Or les inondations saisonnières des plaines inondables sont essentielles au maintien de la complexité d'un corridor fluvial (c'est-à-dire le lit d'un cours d'eau et sa plaine inondable) : elles permettent non seulement aux organismes aquatiques de sortir du chenal principal ou d'y entrer, mais elles sont aussi à l'origine de changements morphologiques, créent de nouveaux habitats, déposent du limon et des matières organiques fertiles, entretiennent les zones humides, renouvellent les étangs des plaines inondables et, enfin, stockent temporairement de l'eau dans ces plaines, ce qui limite les inondations en aval. Il faut maintenir les connectivités écologiques et morphologiques longitudinales (entre le bassin versant en amont et le bassin fluvial en aval), latérales (entre la rivière et sa plaine inondable) et verticales (entre le cours d'eau et les zones hypodermiques), en assurant des débits de qualité adéquate, qui fluctuent avec les saisons.

Les processus fluviaux ont aussi une forte incidence sur la dynamique des estuaires et des deltas, pour lesquels les cours d'eau sont la principale source d'eau douce, de sédiments et de nutriments. Les modifications morphologiques des deltas découlent des interactions entre les forces fluviales et les forces marines qui s'exercent à proximité de l'embouchure d'un fleuve. Or les barrages et les ouvrages de dérivation des eaux peuvent modifier le régime d'écoulement et, en conséquence, l'apport de sédiments dans les zones côtières, influant ainsi sur les processus morphologiques et écologiques qui y sont à l'œuvre. La protection des écosystèmes côtiers exige donc une synergie entre la GIRE — et plus particulièrement la GIC — et la gestion intégrée des zones côtières (GIZC).

Les ouvrages de protection contre les crues, tels que barrages, réservoirs, digues ou canaux, peuvent modifier les régimes d'écoulement, figer le tracé des rivières ou déconnecter le chenal d'un cours d'eau de sa plaine inondable. Ils tendent ainsi à entraver les processus écologiques et morphologiques naturels, à se solder par des corridors fluviaux par trop simplifiés, créant un

écosystème spatialement homogène qui ne se prête plus à la variabilité des types d'habitat pour répondre aux besoins d'espèces diverses et variées. En conséquence, il est important de ne pas agir sur la structure et la fonction des écosystèmes fluviaux, car toute simplification de tracé pourrait avoir raison de la plupart des écoservices apportés par les corridors fluviaux, qui en dépendent.

Lors de la conception et de l'exploitation des ouvrages de protection contre les crues, il faut veiller à ne pas supprimer toute fluctuation du régime d'écoulement et du régime sédimentaire du cours d'eau, afin que celui-ci puisse trouver un nouvel équilibre dynamique, caractérisé par ses nouveaux régimes d'écoulement et de transport des sédiments, ce qui contribuera à maintenir la santé de l'environnement. Les mesures non structurelles, telles que la réglementation de l'utilisation des sols, les prévisions et les avis de crues et la mise à profit des écosystèmes naturels, concourent sensiblement à préserver l'environnement et constituent d'excellentes options qu'il ne faut pas manquer d'envisager, que ce soit à titre indépendant ou complémentaire.

## **Intégrer le souci de l'environnement dans la prise de décisions**

Toute décision relative à la gestion des crues est soumise à diverses contraintes, de nature physique, technique, économique et politique. Chacune des parties prenantes a ses propres valeurs sociétales, sa perception des risques et sa conception de l'importance relative du développement et de la protection de l'environnement, et qui toutes doivent être prises en compte. Pour se prémunir autant que possible contre la subjectivité, il convient de définir un cadre de décisions où sont pris en compte les risques pour l'environnement dans le triple souci de les éviter, de les limiter et de les atténuer, sans compromettre les objectifs de gestion des crues. Ce cadre contribuera à réduire au minimum les effets négatifs des mesures de gestion des crues qui tendent à limiter la productivité naturelle et compromettent la santé des écosystèmes et leurs services.

### *La compréhension et l'analyse scientifiques*

Une connaissance scientifique des notions fondamentales de la morphologie et de l'écologie des cours d'eau et de leurs plaines inondables est essentielle pour comprendre la dynamique des écosystèmes dans un bassin fluvial et les incidences qu'auront sur eux les mesures de gestion des crues. Seule une bonne compréhension de ces concepts scientifiques peut ici garantir que les nouveaux projets seront conçus, réalisés et mis en œuvre dans le respect de l'environnement, et que des mesures pourront être prises pour mieux exploiter ou restaurer les ouvrages existants afin d'atténuer leurs effets néfastes. La gestion intégrée des crues appelle à adopter une approche pluridisciplinaire encourageant le dialogue entre des professionnels de diverses branches qui, tous, ont une autre perspective sur la question, afin qu'ils puissent examiner la situation sous tous ses angles et travailler à la définition d'objectifs communs.

### *L'évaluation de l'environnement*

L'évaluation de l'environnement est un outil permettant de déterminer les études approfondies à mener avant de prendre des décisions susceptibles d'avoir de lourdes conséquences sur le milieu. Elle intervient à diverses étapes de la prise de décisions, de la phase de définition des grandes orientations à celle de la mise en œuvre du projet, en passant par sa planification et sa

conception. Pour plus d'efficacité, il importe de commencer l'évaluation dès l'établissement de la stratégie et de faciliter le dialogue entre les autorités chargées de l'environnement et du développement et des représentants du public bien informés. Des renseignements échangés et mis à profit, ainsi que des données directement exploitables facilitent la communication entre les divers acteurs et experts; ils sont ainsi souvent la clef d'une étroite collaboration entre les parties prenantes et contribuent à la transparence du processus de prise de décisions.

#### *Les analyses économiques attentives à l'environnement*

Les analyses économiques intégrant des considérations environnementales permettent en général d'harmoniser les objectifs et de mieux gérer les situations conflictuelles. L'analyse multicritère (AMC) est utile pour établir les priorités et déterminer les options viables en vue de procéder à leur évaluation détaillée, par exemple par une analyse coûts-avantages (ACA). L'analyse multicritère permet aux parties prenantes d'étudier la nature de leur choix, de déterminer les facteurs clefs, de comprendre leurs propres préférences et de simplifier le processus de sélection des principales options. Comme l'évaluation économique s'appuie partiellement sur des valeurs sociétales, il est judicieux d'associer le public concerné aux analyses économiques intégrant des considérations environnementales.

#### *La participation des parties prenantes*

Dans le domaine de la gestion des crues, la participation des parties prenantes est un élément essentiel à plusieurs étapes du processus de prise de décisions. Elle permet en particulier de garantir l'application des principes de la GIC dans la mesure où ces partenaire contribueront à définir, façonner, élaborer, valider sur le plan logique et mettre en œuvre les plans et les projets, ainsi qu'à assurer le suivi et l'évaluation de leur impact. La consultation et la participation du public sont aussi essentielles pour procéder aux évaluations de l'environnement et aux analyses économiques attentives à l'environnement. Interagir avec les intéressés et les encourager à s'exprimer permet aux communautés concernées d'influer sur les processus de prise de décisions en soulevant des questions méritant d'être étudiées dans plusieurs phases des projets.

#### *La gestion adaptative*

Bien que comprendre la morphologie et l'écologie des cours d'eau soit un des fondements de la GIC, nos connaissances scientifiques des conditions prévalant dans les écosystèmes sont fragmentaires et l'impact des interventions humaines sur les écosystèmes reste encore mal compris. Faute de pouvoir s'appuyer sur des certitudes scientifiques, il est recommandé d'appliquer des principes de précaution. La gestion adaptative prévoit de remédier à ces incertitudes par une évaluation et un suivi permanents des stratégies mises en œuvre, en mettant à profit les nouvelles connaissances à mesure qu'elles sont acquises et en modifiant les méthodes appliquées si nécessaire.

#### *Le suivi*

Le suivi s'avère important tout au long du processus. Le suivi préliminaire des divers processus naturels fournit les renseignements de base pour l'évaluation des ressources, des risques et des options d'aménagement. Au stade de la planification des aménagements, le suivi vise

essentiellement à évaluer les effets des mesures prises à la suite de l'évaluation de l'environnement réalisée lors de la phase de définition de la stratégie. Enfin, pendant et après la mise en œuvre du projet, le suivi est important pour déterminer si les mesures de gestion des crues ont permis d'atteindre les objectifs fixés. De plus, les enseignements tirés du suivi et de l'évaluation peuvent améliorer la méthodologie choisie lors de la planification et de la conception de projets à venir.

### *Le mécanisme d'habilitation*

La plupart des pays ne disposent ni d'organismes à même d'adopter des approches intégrées, ni de ressources permettant de financer la formation nécessaire au sein des organisations et des interactions efficaces entre celles-ci. Le cloisonnement des divers secteurs professionnels et le clivage entre les experts et le grand public sont d'autres facteurs défavorables pour la mise en œuvre d'un cadre adapté. Les lois peuvent protéger et renforcer les droits et les intérêts environnementaux qui pourraient sinon ne pas peser sur la prise de décisions. Un changement de comportement entre institutions et organisations est nécessaire et il convient de renforcer les capacités à divers niveaux afin de mettre en place des institutions à même d'établir un cadre adapté, avec le soutien de dispositions juridiques.

## REMERCIEMENTS

La présente publication a été élaborée dans le cadre du Programme associé de gestion des crues (APFM) en consultation avec de nombreux spécialistes de diverses disciplines. Un nombre considérable de personnes ont donc contribué à sa mise au point.

Nous tenons en particulier à remercier

- Avinash C. Tyagi de l'Organisation météorologique mondiale (OMM);
- Makoto Hyodo de l'IDEA Consultants, Inc., Japon (actuellement au Service d'appui technique de l'APFM, à l'OMM);
- Ania Grobicki, consultante indépendante, France.

Un groupe d'experts, constitué pour apporter des orientations et des informations aux fins de l'élaboration de cette publication, s'est réuni en septembre 2005 à Genève; par la suite, ses membres ont poursuivi leur collaboration par voie électronique. Le groupe a examiné et défini les thèmes écologiques liés à la gestion des crues qu'il convenait de traiter et ses membres, dont les noms figurent ci-dessous, ont apporté de précieuses contributions:

Claudio Meier (Université de Concepción, Chili; actuellement à l'Université du Montana, États-Unis), Colin Creighton (Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth – CSIRO, Australie), Fabrice Renaud (Université des Nations Unies – Institut pour l'environnement et la sécurité humaine – UNU-EHS, Bonn, Allemagne), Maria-Franca Norese (École polytechnique, Turin, Italie), Mike Acreman (Centre pour l'écologie et l'hydrologie – CEH, Wallingford, Royaume-Uni), Mogens Dyhr-Nielsen (Centre de collaboration du PNUE pour l'eau et l'environnement, Danemark), Ognjen Bonacci (Université de Split, Croatie), Peter Goodwin (Université de l'Idaho, États-Unis), Videh Upadhyay (avocat à la Cour suprême, Inde).

Le texte a été présenté à une session spéciale sur la gestion intégrée des crues, organisée par l'OMM et la Yellow River Conservancy Commission (YRCC) dans le cadre du Deuxième forum international sur le fleuve Jaune, qui s'est tenu à Zheng Zhou (Chine), en octobre 2005: il a alors été enrichi au cours des débats et a bénéficié de nouvelles contributions. Les versions préliminaires ont ensuite été soumises à plusieurs spécialistes et diffusées sur le site Web. Il y a lieu de remercier notamment les personnes suivantes qui ont formulé des observations fort utiles:

Christopher George (Association internationale pour la recherche en hydraulique – AIRH, Espagne), Francesca Bernardini (Commission économique pour l'Europe de l'ONU-CEE, Genève), Futoshi Nakamura (Université d'Hokkaido, Japon), Ger Bergkamp (Union internationale pour la conservation de la nature – UICN, Suisse), Jacques Ganoulis (Université Aristote de Thessalonique, Grèce), Keigo Nakamura (Institut de recherche des travaux publics – PWRI, Japon), Kevin Coulton (Watershed Concepts, États-Unis), Soontak Lee (Université Yeungnam, République de Corée), Toshiharu Kojiri (Université de Kyoto, Japon), Rainer Enderlein (CEE, Genève), Rajib Shaw (Université de Kyoto, Japon), Valerio Vendegna (Université de Pavie, Italie), Yukihiro Shimatani (Université de Kyushu, Japon) et des membres de l'International Hydrologic Environmental Society – IHES (République de Corée).

De plus, la publication a fait l'objet d'un examen par des pairs, à savoir Paolo Burlando (École polytechnique fédérale de Zurich, Suisse), dans une perspective hydrologique, et Klement Tockner (Institut de recherche de l'eau du domaine des Écoles polytechniques fédérales – EAWAG, Suisse), dans une perspective écologique.

Cette publication s'appuie par ailleurs sur les travaux de nombre d'organisations et de spécialistes, dont les noms sont cités dans les notes de bas de page et les références. Enfin, et surtout, des remerciements doivent être adressés aux membres du Département de l'hydrologie et des ressources en eau de l'OMM et aux membres du Service d'appui technique de l'APFM pour l'ouverture d'esprit et l'honnêteté dont ils ont fait preuve, ainsi que pour s'être attachés à faire clairement ressortir les idées-maîtresses lors des discussions.



# 1. INTRODUCTION

De tout temps, les plaines inondables ont été l'assise du développement socio-économique en raison de leur potentiel de développement, comme l'attestent les très fortes densités des populations établies le long des fleuves et des rivières dans le monde entier<sup>1\*</sup>, notamment au Bangladesh<sup>2</sup> et au Japon<sup>3</sup>. Les sociétés modernes sollicitent très largement toutes ces ressources naturelles. Dans les pays développés, dont la prospérité économique a été favorisée par l'utilisation des plaines inondables à des fins commerciales et résidentielles, une meilleure gestion des crues a encouragé les populations à se rapprocher des cours d'eau avec leurs biens, augmentant ainsi les risques d'inondations et de dégâts liés à celles-ci. Or les statistiques attestent une augmentation des pertes économiques causées par les inondations sur la planète<sup>4, 5</sup>. Ce phénomène tient à divers facteurs, tels qu'une forte expansion démographique, une accélération de la croissance et du développement économiques (urbanisation, par exemple) et une augmentation des investissements dans des infrastructures, facteurs qui se conjuguent avec des incertitudes comme la variabilité du climat et les changements climatiques. Diminuer les risques en réduisant l'occupation des plaines inondables limite cependant le potentiel de développement socioéconomique de ces zones<sup>6</sup>.

## 1.1 De la lutte contre les crues à la gestion intégrée des crues

La gestion des crues et des plaines inondables concourt largement à protéger les personnes et à favoriser le développement socioéconomique. Encore récemment, la lutte et la protection contre les inondations étaient de nature essentiellement technique, ne prenaient guère en compte les conséquences sociales, culturelles et écologiques de la stratégie choisie et négligeaient toute réflexion économique à long terme. Elles s'appuyaient largement sur des solutions structurelles (comme les digues, les canaux de dérivation, les barrages ou les réservoirs) qui ont malheureusement modifié les régimes d'écoulement, figé le tracé des rivières ou déconnecté les chenaux des cours d'eau de leurs plaines inondables, au détriment des habitats, de la biodiversité et de la productivité. Au cours des cinquante dernières années, progressivement, la protection contre les crues a moins mis l'accent sur les ouvrages physiques pour intégrer des mesures complémentaires non structurelles, telles que la prévision des crues et la réglementation de l'utilisation des sols.

Une prise de conscience des méfaits de certaines de ces mesures structurelles et le souci croissant d'assurer un développement durable ont fait apparaître la nécessité de remédier aux conséquences fâcheuses des mesures de lutte et de protection contre les crues. Aussi la «lutte contre les crues» a-t-elle progressivement cédé le pas à la «gestion des crues» au cours des vingt dernières années. Il est maintenant admis que les inondations sont des phénomènes naturels qui déterminent le régime naturel d'un cours d'eau, et que toute intervention structurale a des répercussions sur le milieu naturel qu'elle est susceptible de détériorer, au détriment des services fournis par les écosystèmes.

\* Les notes sont regroupées à la fin du texte, à partir de la page 73.

La nécessité d'abandonner la lutte contre les crues au profit de la gestion des crues est à la base du concept de gestion intégrée des crues (GIC), un processus encourageant une approche intégrée de la gestion des crues. La GIC vise à exploiter au maximum les avantages nets que procurent les plaines inondables en réduisant autant que possible les pertes en vies humaines dues aux inondations. Elle repose sur les principes suivants:

- Envisager la gestion des crues dans la perspective du bassin;
- Intégrer une démarche pluridisciplinaire dans la gestion des crues;
- Réduire la vulnérabilité et les risques liés aux crues;
- Encourager la participation des communautés;
- Préserver les écosystèmes.

La gestion intégrée des crues porte sur la sécurité des personnes et le développement durable sous l'angle particulier de la gestion de ces phénomènes, mais dans le cadre d'ensemble de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE). En tant que telle, elle se mène en synergie avec la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), car le bassin inférieur de l'estuaire d'un fleuve et la zone côtière font partie intégrante du bassin fluvial. Toutefois, si le principe de la gestion intégrée des ressources en eau s'est aujourd'hui largement imposé, son application reste soumise à certaines contraintes dans le domaine de la gestion des crues. Dans la pratique, la gestion des crues garde un caractère essentiellement monodisciplinaire et monofonctionnel.

## **1.2 Objet et portée de la présente publication**

Chaque discipline, comme la science de l'environnement, l'écologie, la gestion des crues et l'hydrologie, aborde le développement durable sous sa propre perspective. La difficulté d'intégrer les priorités des diverses disciplines concernant la dégradation de l'environnement pour définir des pratiques cohérentes de gestion des crues tient essentiellement à un manque de communication entre ces disciplines, leur cloisonnement faisant obstacle à la prise en compte de leurs diverses perspectives sur le développement durable. La terminologie utilisée est parfois différente et les problèmes d'une discipline sont souvent mal compris par une autre. Il est donc essentiel que spécialistes et parties prenantes puissent mieux se comprendre. Remédier à cette insuffisance de communication est ce que nous nous efforçons de faire ici.

Cette publication vise essentiellement les responsables de la gestion des crues, pour leur permettre de comprendre les divers facteurs écologiques intervenant dans le domaine. Elle fournit également aux décideurs, aux écologistes, aux ONG et aux collectivités des renseignements utiles pour appréhender les risques de crues dans la perspective de l'environnement et du développement durable. Elle a pour but d'améliorer la communication et la compréhension entre les intervenants des diverses disciplines, les parties prenantes et les spécialistes; aussi n'y trouvera-t-on pas de détails de nature très technique. Les faits présentés s'appuient sur les connaissances scientifiques actuelles et sont étayés par des références.

On sait aujourd'hui qu'il n'existe aucun critère universel permettant d'établir des pratiques de gestion des crues respectueuses de l'environnement: il est impératif de s'adapter au contexte

hydroclimatique, topographique et socioéconomique propre au bassin hydrographique. Ainsi, la présente publication n'a pas pour vocation d'être un guide ou un manuel de procédures ou de mesures à suivre. En revanche, elle propose une approche cohérente et nuancée des questions environnementales dans le cadre de la gestion des crues. Elle se concentre sur les enjeux écologiques en rapport direct avec la gestion des crues. Elle ne traite pas de pollution, bien que celle-ci soit également un facteur de dégradation de la qualité de l'eau et de la santé des écosystèmes riverains. La pollution de l'eau relève de la gestion intégrée des ressources en eau dont la gestion intégrée des crues est une composante.

Étudiant la façon d'intégrer au mieux les considérations écologiques dans les pratiques de gestion des crues, la publication s'est fixée comme objectifs particuliers:

- Concilier les impératifs de développement et les risques de crues avec le développement durable;
- Comprendre les notions hydrologiques, morphologiques et écologiques qui interviennent dans les processus à l'œuvre dans les plaines inondables;
- Reconnaître les effets sur l'environnement des mesures de gestion des crues;
- Concilier les objectifs incompatibles et gérer les situations conflictuelles par le compromis entre les parties prenantes;
- Adopter une méthode de gestion des crues respectueuse de l'environnement;
- Vivre et travailler en harmonie avec la nature.

L'économie générale de l'ouvrage est la suivante:

Le chapitre 2 fait ressortir l'importance du développement durable et du maintien d'un équilibre entre le développement économique, la protection de l'environnement et la sécurité humaine. Il expose donc les liens fondamentaux entre les impératifs du développement et la dégradation de l'environnement. L'écohydrologie ou l'écohydraulique (l'étude des interactions entre les écosystèmes et l'hydrologie ou l'hydraulique) et la morphologie des cours d'eau (qui s'intéresse au modelé fluvial) sont des sources d'informations importantes pour la GIC.

Le chapitre 3 présente les concepts de base de la morphologie et de l'écologie des cours d'eau, ainsi que l'influence qu'ont sur elles les régimes d'écoulement; ces notions sont fondamentales pour comprendre les incidences des mesures de gestion des crues et pour appliquer les nouveaux projets dans le respect de l'environnement.

Au chapitre 4, on traite du rôle de l'écosystème dans la régulation du cycle hydrologique, de son potentiel et de ses limites en tant que variante complémentaire pour la gestion des crues.

Dans le chapitre 5 sont décrites quelques-unes des conséquences pour l'environnement des mesures structurales de gestion des crues, notamment du point de vue du régime d'écoulement, du transport des sédiments, de la qualité de l'eau et de la biodiversité; on y examine en outre d'éventuelles solutions pour éviter, réduire ou atténuer les conséquences négatives de ces mesures.

Le chapitre 6 place les enjeux écologiques au cœur des processus de prise de décisions. Il explique comment intégrer au mieux les considérations écologiques dans la prise de décisions aux étapes successives de la définition de la politique générale, de l'établissement du plan d'aménagement du bassin et de la conception du projet, lorsqu'a été défini un cadre intégrant les éléments pertinents d'une approche respectueuse de l'environnement aux fins de la GIC. En raison des incertitudes qui subsistent dans les études scientifiques sur l'environnement, ce dernier chapitre traite des méthodes de gestion adaptative s'appuyant sur l'évaluation et le suivi et, enfin, définit les exigences requises pour l'habilitation des intervenants.

## 2. CONTEXTE: ENVIRONNEMENT ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les hommes tirent d'énormes avantages des écosystèmes; leur sécurité et leur bien-être exigent donc de préserver ceux-ci et d'éviter la dégradation de l'environnement. Aussi l'intelligence humaine se trouve-t-elle confrontée à une double exigence: gérer tout à la fois les impératifs du développement et leurs conséquences néfastes pour l'environnement. Le présent chapitre porte sur le développement durable, les services écosystémiques dans le processus de développement, la sécurité humaine et les impératifs du développement qui s'y associent, dans la perspective de la gestion des crues.

### 2.1 Le développement durable

#### *Vers un développement durable*

Le concept de «développement durable» est au centre du débat sur l'environnement et le développement depuis la Conférence de Stockholm sur l'environnement humain tenue en 1972<sup>7</sup>. Le développement durable se définit comme «un développement qui répond aux besoins actuels sans nuire à la capacité des générations futures de répondre aux leurs<sup>8</sup>». Parallèlement, «le droit au développement est un droit inaliénable de l'homme qui fait partie intégrante des libertés fondamentales<sup>9</sup>». Il a été établi que les ressources naturelles, l'environnement et le développement sont interdépendants<sup>10</sup>. Le développement humain est étroitement lié à notre milieu naturel et à ses ressources, y compris l'eau, les terres, l'agriculture et les forêts, et il dépend même de ce milieu et de ces ressources. Dans les pays en développement, en particulier, des millions de personnes tirent leurs moyens d'existence directement de ces ressources naturelles, car il existe peu d'autres sources de croissance économique et de progrès.

Par le passé, le développement a souvent nui aux ressources naturelles, affectant les écosystèmes naturels et leurs fonctions écologiques. Or il est de plus en plus largement admis qu'il convient aujourd'hui de répondre aux besoins de développement présents et futurs, tout en assurant la protection de l'environnement. Dans le Plan de mise en œuvre, adopté au Sommet mondial pour le développement durable<sup>11</sup>, il est reconnu que les activités humaines ont de plus en plus d'incidences sur l'intégrité des écosystèmes qui fournissent des ressources et des services essentiels pour le bien-être des êtres humains et pour leurs activités économiques. De toute évidence, cette situation ne saurait se prolonger à long terme. Nous devons redéfinir la relation que nous entretenons avec notre environnement naturel et comprendre la portée que pourrait avoir un changement de comportement sur la qualité de la vie à l'avenir. Ainsi, pour inverser au plus tôt la tendance actuelle à la dégradation des ressources naturelles, il est nécessaire de mettre en œuvre des stratégies de développement protégeant les écosystèmes en assurant une gestion intégrée des terres, des eaux et des ressources biologiques, tout en renforçant les capacités régionales, nationales et locales. Ces principes font aujourd'hui largement autorité dans la gestion des ressources en eau grâce à un changement d'orientation dans la façon de concevoir la GIRE.

## **Développement durable, sécurité humaine et environnement**

La sécurité humaine, qui comprend non seulement la sécurité physique des personnes et des collectivités, mais aussi la sécurité économique, alimentaire, sanitaire, écologique et politique, fait partie intégrante du concept de développement durable. La sécurité écologique présuppose un environnement sain, dépourvu des menaces écologiques présentes lorsque les ressources sont mal gérées ou dégradées. La relation entre la sécurité humaine et l'environnement est plus forte dans les régions où les êtres humains sont davantage tributaires de l'accès aux ressources naturelles. Lorsque celles-ci sont menacées à la suite de changements subis par l'environnement, la sécurité humaine est elle aussi menacée. Les populations doivent alors quitter les zones rurales pour des terres marginales ou des zones urbaines, et entamer ainsi un nouveau cycle de développement non durable et d'insécurité.

Dans la perspective de la gestion des crues, la dégradation de l'environnement peut menacer la sécurité humaine à de nombreux égards. Elle peut tout d'abord accroître les risques de crues, du point de vue de leur ampleur comme de leur fréquence. Elle peut aussi affecter d'autres aspects de la sécurité humaine, tels que la sécurité économique et alimentaire (par exemple par la dégradation des terres, qui diminue la productivité de l'agriculture) et la sécurité sanitaire (par exemple par la pollution des eaux), et ainsi accroître la vulnérabilité des personnes exposées à ces risques. Une prise en compte adaptée des incidences qu'ont les activités de gestion des crues sur l'environnement est donc profitable tant pour le développement durable que pour la sécurité humaine.

### **2.2 L'environnement et les écosystèmes**

On peut définir l'environnement comme le milieu dans lequel évolue une entité, ce milieu comprenant l'air, l'eau, le sol, les ressources naturelles, la flore, la faune, les êtres humains et leurs interrelations. Le climat, le contexte physique et les régimes d'écoulement des cours d'eau qui en résultent, qui appartiennent à divers écosystèmes, et les activités humaines qui viennent s'y greffer déterminent l'environnement d'une plaine inondable. Les activités humaines ont un profond impact sur les divers écosystèmes au sein cet environnement.

On entend par écosystème «le complexe dynamique formé de communautés de plantes, d'animaux et de micro-organismes et de leur environnement non vivant qui, par leur interaction, forment une unité fonctionnelle<sup>12</sup>». Les écosystèmes tels que les forêts, les zones humides et les lacs comprennent tous les organismes qui s'y trouvent, ainsi que leur environnement physique (ou abiotique<sup>13</sup>) et leurs interactions. Un écosystème possède une certaine structure ou organisation déterminée par ses différents éléments, vivants comme non vivants, qui interagissent les uns avec les autres. Plus un écosystème compte d'éléments et d'interactions, plus les perturbations qui y surviennent peuvent être contrebalancées efficacement. Les écosystèmes sont donc résilients (capables de retrouver leur état d'origine après une perturbation), mais difficiles à recréer une fois détruits.

Les processus écologiques permettent à la planète de rester un milieu propice à la vie en produisant nourriture, air respirable, médicaments et une large part de ce que nous appelons la «qualité de vie». L'immense diversité biologique, chimique et physique de la Terre forme

les constituants essentiels des écosystèmes<sup>14</sup>. Le développement durable, en général, et la mise en valeur des ressources en eau, en particulier, ont donc pour principal enjeu de préserver la capacité de ces systèmes à absorber des changements constants, sans perdre leur aptitude à fournir en permanence des biens et des services écologiques<sup>15</sup>. Il est donc extrêmement important de comprendre et de protéger non seulement la structure, mais aussi le fonctionnement des écosystèmes complexes, tels que les forêts, les zones humides et les cours d'eau.

Pour ce qui est de la gestion, les stratégies de développement qui tiennent compte de la nécessité de protéger le fonctionnement des écosystèmes sont appelées approches par écosystème ou «approches écosystémiques». Elles excluent de ne prendre en considération qu'une seule ressource ou activité particulière, ou un seul ensemble de biens et de services environnementaux, indépendamment des autres. Ainsi, l'approche écosystémique est une stratégie de gestion intégrée des terres, des eaux et des ressources vivantes qui favorise la conservation et l'utilisation durable d'une manière équitable<sup>16</sup>. Elle s'applique à toutes les échelles, aussi bien au plan local que planétaire. Les plaines inondables constituent la meilleure source de moyens d'existence, en particulier dans le tiers monde, où la lutte contre la pauvreté et le développement socioéconomique dépendent largement de l'exploitation des ressources naturelles. Le développement durable doit donc tout à la fois répondre aux besoins de développement et préserver autant que possible l'environnement naturel d'un corridor fluvial<sup>17</sup>. La gestion intégrée des crues, dont la protection de l'environnement est un des objectifs, répond aux douze principes de l'approche écosystémique<sup>18</sup>. Le tableau 1 présente une vue d'ensemble de ces principes et de leur rapport avec les principes de la GIC.

## 2.3 Les services écosystémiques

### *Services écosystémiques aux personnes*

L'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire définit les services écosystémiques comme les avantages que les populations tirent des écosystèmes<sup>19</sup>: ces avantages comprennent les services d'approvisionnement, de régulation et culturels, dont les personnes profitent directement, ainsi que les services d'auto-entretien, nécessaires pour le maintien d'autres services. Beaucoup de ces services sont étroitement liés les uns aux autres (voir fig. 1).

**Les services d'approvisionnement** sont les produits tirés des écosystèmes, comme les aliments, les fibres, les combustibles, les ressources génétiques, les substances biochimiques, les médicaments naturels, les produits pharmaceutiques et les ressources ornementales. La fourniture d'eau douce est l'un des services d'approvisionnement les plus vitaux qu'offrent les écosystèmes, tout comme les nombreux et divers organismes présents dans l'eau douce qui sont utilisés comme aliments ou fibres.

**Les services de régulation** sont les processus par lesquels les écosystèmes régulent la qualité de l'air, le climat, les maladies, les parasites, la pollinisation, l'érosion, etc. Les écosystèmes peuvent contribuer à la filtration et à la décomposition des déchets organiques introduits dans les eaux intérieures et les écosystèmes côtiers et marins en fournissant des

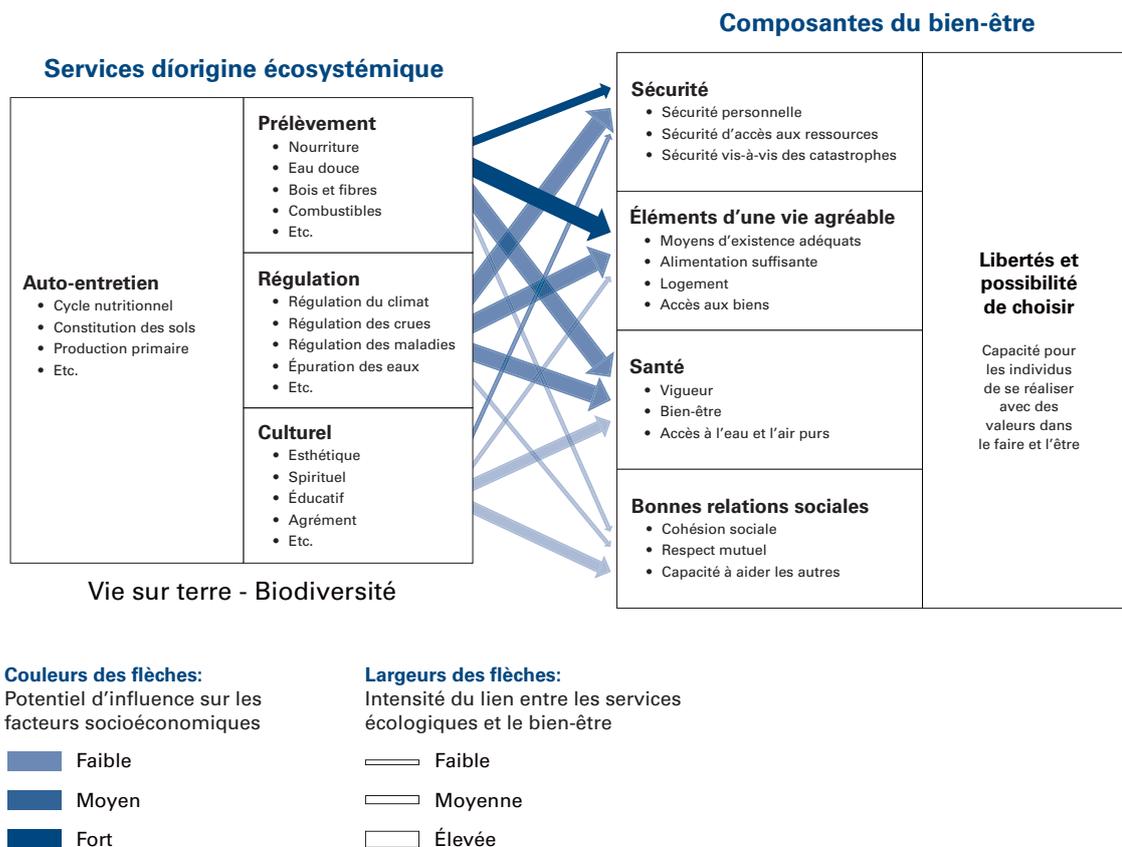


Figure 1. Liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain.

(Source: L'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, 2005)

services d'épuration des eaux et de traitement des déchets. Ils peuvent aussi assimiler et détoxifier les composés grâce à des processus à l'œuvre dans le sol ou le sous-sol. Les écosystèmes régulent également les débits d'eau, en agissant notamment sur la répartition dans le temps et sur l'ampleur du ruissellement et de l'alimentation des aquifères. Si les écosystèmes ne sont pas adéquatement préservés, leurs fonctions sont perturbées, ils fournissent moins de services et ils ne réagissent plus de la même façon aux régimes fluviaux. Leurs réactions sont en particulier fortement influencées par la modification de la capacité de retenue des eaux. Certains écosystèmes côtiers, comme les mangroves et les récifs coralliens, atténuent les risques naturels et, ainsi, limitent les dégâts causés par les ouragans et les ondes de tempête.

Les services culturels sont les avantages non matériels que les populations retirent des écosystèmes: l'enrichissement spirituel, le développement cognitif (réflexion, agréments, inspiration et expériences esthétiques), les relations sociales, ainsi que les valeurs éducatives et celles qui sont liées au patrimoine culturel.

Les services d'auto-entretien sont nécessaires pour la production de tous les autres services écosystémiques; ils se distinguent des services d'approvisionnement, de régulation et culturels par le fait que leurs effets sur les personnes s'exercent souvent de manière indirecte et s'étendent sur une très longue durée. Certains de ces services, notamment la régulation de l'érosion, peuvent être considérés comme relevant tant des services d'auto-entretien que des services de régulation, selon la perspective spatiale et temporelle que l'on adopte pour déterminer leur impact sur les personnes. Les services d'auto-entretien comprennent la constitution des sols, la photosynthèse, la production primaire et le recyclage des nutriments. L'eau que recyclent les écosystèmes transporte des nutriments et de l'énergie, est un composant environnemental essentiel pour tous les organismes vivants, et joue un rôle crucial dans la majorité des processus écologiques.

### **Services écosystémiques et environnement naturel**

Depuis la nuit des temps, les populations ont très largement bénéficié d'écosystèmes sains, mais elles ont aussi travaillé à se protéger contre toutes sortes de conditions naturelles très peu favorables. Pourtant, le mot «naturel» est devenu synonyme de «propre et sûr» pour beaucoup de personnes, en particulier dans les pays développés. On peut distinguer deux types d'environnement naturel: l'environnement primitif, sauvage, qui a échappé à toute influence des activités humaines, et l'environnement modifié, que les être humains ont adapté pour améliorer la qualité de la vie et le bien-être économique. Pour pouvoir déterminer la durabilité de l'environnement, il convient d'évaluer dans quelle mesure celui-ci peut être préservé à l'état sauvage dans la perspective de la sécurité humaine. Cela permet d'obtenir des services écosystémiques sans le moindre frais et de n'intervenir qu'avec circonspection. Il faut donc bien comprendre que, dans le contexte des services écosystémiques, «naturel» signifie «entretenu» et ne fait pas référence à la nature sauvage. Certains services sanitaires fournis par les écosystèmes illustrent bien l'ambiguïté de la dichotomie classique entre le «naturel» et l'«entretenu»<sup>20</sup>.

Du point de vue de la sécurité humaine, l'environnement sauvage peut présenter les risques naturels suivants:

- La chaleur, le froid, la pluie, la neige, le vent et les catastrophes naturelles qui s'y associent;
- Les risques inhérents à une quête constante de nourriture et d'eau en quantités suffisantes, ainsi que d'un abri satisfaisant;
- Les infections causées par les insectes et les parasites qui se transmettent d'une personne à l'autre ou d'un animal à une personne par l'air, la nourriture ou l'eau;
- La poussière, l'humidité, la fumée, les pollens et les autres risques de contamination par l'air;
- Les blessures dues aux chutes, aux incendies et aux attaques d'animaux.

Même si, sous sa forme primitive, l'environnement présente des risques naturels, il est évident que les écosystèmes nous fournissent d'énormes avantages, comme indiqué précédemment. Il est donc important de maintenir un juste équilibre en entretenant l'environnement de manière à protéger les êtres humains contre les dangers naturels provoqués par la nature sauvage et, parallèlement, à maximiser les services écosystémiques. Ce juste équilibre est la clef de l'accès à un environnement durable.

## 2.4 La dégradation de l'environnement et les impératifs du développement

L'un des principaux objectifs de la GIC est la préservation de l'environnement. Cependant, les politiques de gestion des crues ne sont pas élaborées isolément: elles s'inscrivent dans le contexte plus général du développement durable et doivent donc y trouver leur place. Aussi est-il important de bien comprendre les divers moteurs du développement et les facteurs de dégradation de l'environnement.

### *Facteurs de dégradation de l'environnement*

S'ils diffèrent d'un pays à l'autre selon le contexte socioéconomique, ils sont en général associés à la pauvreté et au consumérisme, au développement agricole, à l'industrialisation, à l'urbanisation, aux transports, au tourisme et à l'accroissement démographique. Paradoxalement, ils ont de tout temps été liés à des activités visant à améliorer les moyens d'existence et le bien-être économique.

**Pauvreté et consumérisme** – La pauvreté est la plus grande source de pollution. Pour préserver l'environnement naturel, il faut combattre la pauvreté en amont. La pauvreté et l'environnement entretiennent des liens extrêmement complexes<sup>21</sup>. Dans nos sociétés modernes, l'inégalité peut favoriser les comportements incompatibles avec le développement durable, car les pauvres dépendent plus des ressources naturelles que les riches et n'ont pas de réelles perspectives d'accès à d'autres types de ressources. De leur côté, les riches, qui tendent à trop consommer, gaspillent les ressources naturelles. Ces attitudes ont une portée sensible à l'échelle planétaire. Or l'épuisement des ressources naturelles et la dégradation de l'environnement peuvent ensuite accélérer l'appauvrissement, car les pauvres se trouvent alors privés de biens naturels.

**Développement agricole** – Faute d'autres moyens d'existence, l'agriculture est la principale activité dans de nombreuses régions du monde. En soi, elle marque une forme d'intrusion et de rupture dans l'environnement naturel, les activités humaines remplaçant les écosystèmes naturels (par exemple les plaines inondables, les forêts ou les zones humides) par des écosystèmes artificiels. Le développement agricole a un impact direct sur l'environnement, car les activités d'une exploitation agricole contribuent à l'érosion des sols, à la diminution de la fertilité, à la salinisation et l'alcalisation des terres, à l'engorgement du sol par l'eau, à la pollution par les pesticides et à la détérioration consécutive de la qualité de l'eau de surface et de l'eau souterraine.

**Industrialisation** – Depuis les débuts de l'industrialisation et jusqu'à récemment, la plupart des techniques de fabrication pesaient lourdement sur l'environnement, en particulier du fait de l'utilisation intensive des ressources et de l'énergie et de la production de déchets toxiques (pollution). Or cela se traduit par l'épuisement des ressources naturelles (combustibles fossiles, minéraux, bois, etc.), par la pollution des eaux, de l'air et des terres, et par la dégradation globale des écosystèmes naturels. Enfin, sous l'effet de l'industrie chimique, qui produit d'importantes quantités de déchets industriels dangereux, la gestion des déchets a maintenant une forte incidence sur la santé de l'environnement.

**Urbanisation** – L'industrialisation concourt par ailleurs à une urbanisation massive, qui est encore encouragée par le manque d'emplois rémunérateurs dans les zones rurales; il en découle une migration croissante des pauvres vers les villes, qui donne lieu à l'apparition de



OMM

Inondations dans une ville du Bangladesh.

mégapoles et de taudis urbains tentaculaires. L'expansion rapide et anarchique des villes dans les pays en développement a entraîné la dégradation de l'environnement urbain et accentué le déséquilibre entre l'offre et la demande de services d'infrastructure, en particulier en ce qui concerne l'énergie, le logement, les transports, les communications, l'enseignement, la distribution d'eau, les égouts et les installations de loisirs. Il en résulte des changements indésirables dans l'utilisation des sols, une détérioration croissante de la qualité de l'air et des eaux, et la production de déchets supplémentaires – autant de facteurs contribuant à dégrader l'environnement urbain.

**Transports** – L'établissement de systèmes de transport exige la construction et l'entretien de routes et d'ouvrages de protection des voies ferrées, de voies navigables dans les rivières, de ports, etc. Or, pour que les chenaux fluviaux restent navigables, il faut en modifier le régime d'écoulement. Si les ponts routiers et ferroviaires qui enjambent les cours d'eau ne sont pas conçus adéquatement, ils gênent les processus hydrauliques naturels. En outre, les systèmes de transport ont des conséquences très diverses sur l'environnement, notamment la pollution de l'air, le bruit dû au trafic routier et les déversements d'hydrocarbures de navires marchands.

**Tourisme** – Dans de nombreux pays, le tourisme est indispensable au développement économique. Cependant, la pollution et l'évacuation de résidus solides dans les systèmes hydrologiques naturels sont des nuisances croissantes pour la flore et la faune, dont les

habitats sont dégradés par les activités touristiques, en particulier dans les écosystèmes côtiers et sur les petites îles. Que cela soit délibéré ou non, le tourisme et les touristes peuvent causer des dégâts importants dans les écosystèmes de base<sup>22</sup>.

**Croissance démographique** – La croissance démographique peut accélérer tous les facteurs susmentionnés de dégradation de l’environnement. Elle entraîne notamment une consommation accrue de ressources limitées, la production de polluants et une pression de plus en plus forte sur les terres. L’augmentation de la densité de population dans les plaines inondables exige d’énormes investissements pour la réalisation d’infrastructures destinées à protéger les habitants, leurs moyens d’existence et leurs propriétés contre les inondations. Si les ouvrages construits aux fins de la gestion des crues et des ressources en eau, comme les barrages et les réservoirs, les déversoirs et les digues, ne sont pas conçus de manière adéquate, ils peuvent avoir de lourdes conséquences pour l’environnement.

## 2.5 En résumé...

Dans les systèmes fluviaux, les inondations viennent naturellement évacuer l'eau provenant de pluies abondantes occasionnelles<sup>23</sup>. Ces inondations ne posent pas de problème, sauf si des populations utilisent les plaines inondables naturelles pour y mener des activités socio-économiques et comprennent qu’elles doivent se protéger des crues. Il apparaît alors un dilemme: faut-il limiter l’occupation des plaines inondables pour protéger les personnes qui ont choisi d’y vivre et d’y travailler<sup>24</sup>, alors même que cela restreint leur potentiel de développement socioéconomique<sup>25</sup>? La plupart des initiatives visant à développer et à améliorer les moyens d’existence et la sécurité humaine pour lutter contre la pauvreté, telles que l’industrialisation, l’agriculture et la construction d’ouvrages de défense contre les inondations, tendent à dégrader l’environnement et les écosystèmes. En conséquence, les politiques et les pratiques de gestion des crues doivent être envisagées dans un contexte global, en tenant compte des facteurs de dégradation de l’environnement. Il est donc primordial de trouver un juste équilibre entre les divers impératifs du développement et d’aborder la question des risques de crues, de leur lien avec la vulnérabilité sociale et économique et du développement durable sans jamais perdre de vue la nécessité de préserver les écosystèmes.

**Tableau 1. Principes de la GIC et approche écosystémique**

Approche écosystémique	Gestion intégrée des crues	Risques liés à une gestion non intégrée des crues
<ul style="list-style-type: none"> <li>Les objectifs de gestion des ressources relèvent des choix sociétaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fondée sur les principes de gestion des risques.</li> <li>Visé à rendre résilientes les sociétés vulnérables.</li> <li>Analyse économique fondée sur l'analyse multicritère qui tient compte de valeurs sociétales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La vulnérabilité et l'exposition aux crues des communautés locales peuvent être augmentées.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La gestion devrait être décentralisée et placée au niveau adéquat le plus bas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fondée sur l'importance d'une approche participative.</li> <li>Association judicieuse des approches ascendante et descendante.</li> <li>Intégration de la synergie des institutions.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Des intérêts légitimes cruciaux risquent d'être exclus des décisions concernant la gestion des crues et de l'eau, au détriment de certains secteurs de la société et de l'économie.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Les responsables de la gestion d'écosystèmes donnés devraient prendre en considération les effets (réels ou potentiels) de leurs activités sur les écosystèmes adjacents et d'autres écosystèmes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visé à améliorer le fonctionnement d'un bassin fluvial dans son ensemble.</li> <li>Prend en compte les gains, les pertes et les certitudes liés à la modification des interactions entre les milieux aquatique et terrestre.</li> <li>Trouve un juste équilibre entre les exigences du développement, de la gestion des dégâts des crues et de la protection de l'environnement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une prise en compte inadéquate des exigences de l'environnement peut mener à sa dégradation, ce qui peut nuire à l'économie et à la société.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour retirer le maximum de bénéfices de la gestion, il faut généralement comprendre et gérer l'écosystème dans le contexte économique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adopte des stratégies fondées sur une pluralité optimale de perspectives en s'appuyant sur des facteurs tels que le climat, les caractéristiques du bassin et les conditions socioéconomiques.</li> <li>Visé à rentabiliser l'utilisation des plaines inondables tout en réduisant au minimum les pertes humaines dues aux crues.</li> <li>Intègre l'évaluation des écosystèmes dans l'analyse coûts-avantages.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modifier l'utilisation des sols et des écosystèmes peut altérer le régime naturel des cours d'eau, au risque de ne pas saisir des possibilités d'utilisation durables des ressources en eau.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>La sauvegarde de la structure et de la fonction des écosystèmes en vue de maintenir les services écosystémiques devrait être une priorité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A pour objectifs la durabilité de l'environnement et le maintien des services et de la biodiversité des écosystèmes fluviaux.</li> <li>Répond aux besoins de sécurité humaine et remédie aux dégâts dus aux crues.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toute atteinte à la durabilité de l'environnement et à l'intégrité écologique inhérente à une gestion inadéquate des crues réduit les services que les écosystèmes peuvent offrir à la société.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Les écosystèmes doivent être gérés dans les limites de leur fonctionnement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Établit des compromis entre des intérêts contradictoires dans un bassin afin de maximiser les avantages et de maintenir la durabilité de l'environnement.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une approche mal adaptée du fonctionnement des écosystèmes peut faire manquer des possibilités de réduire les coûts inhérents aux inondations et de retirer des avantages des écosystèmes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Les écosystèmes doivent être considérés à une échelle spatiale et une échelle temporelle appropriées.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'unité de planification est le bassin fluvial ou le bassin versant dans son ensemble.</li> <li>Le cycle de l'eau est traité dans sa totalité (y compris les événements météorologiques extrêmes).</li> <li>Il est tenu compte des objectifs et des mesures à court et à long termes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prendre des décisions dans un secteur de la gestion de l'eau sans tenir compte des connaissances d'autres disciplines et sans y associer toutes les parties prenantes risque de compromettre une utilisation durable des plaines inondables et de nuire aux services écosystémiques.</li> </ul>

**Tableau 1 (suite)**

<b>Approche écosystémique</b>	<b>Gestion intégrée des crues</b>	<b>Risques liés à une gestion non intégrée des crues</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Compte tenu des échelles temporelles variables et des hystérésis qui caractérisent le fonctionnement des écosystèmes, les objectifs de gestion des écosystèmes devraient être fixés à long terme.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Constituée sur l'utilisation à long terme des plaines inondables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Des mesures ponctuelles visant à retirer des avantages à court terme risquent par la suite d'entraîner une perte d'efficacité et de nuire inutilement à l'économie.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le changement étant inévitable, la gestion doit adopter une méthode adaptative.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adopte une démarche multiforme assortie de plusieurs options adaptées aux conditions données.</li> <li>La méthode de gestion adaptative évalue régulièrement les conséquences.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Une seule approche trop focalisée et ne tenant compte que des éléments scientifiques ne peut pas intégrer l'incertitude et risque d'être par la suite très préjudiciable à l'environnement.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'approche écosystémique devrait rechercher le juste équilibre entre la préservation et l'utilisation de la diversité biologique, pour les intégrer dans la gestion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Équilibre la gestion des risques de crues et la préservation des services écosystémiques pour maintenir les moyens d'existence.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ne pas tenir compte des aspects écologiques peut nuire aux moyens d'existence et, par là, avoir de lourdes conséquences pour la santé.</li> <li>Ne pas prendre suffisamment en considération les risques de crues peut augmenter les pertes économiques et humaines.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'approche écosystémique devrait prendre en compte toutes les formes d'information pertinentes, en particulier les connaissances, les innovations et les pratiques scientifiques, indigènes et locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Connaissances en hydrologie et ingénierie; connaissances, données et informations sociales, juridiques, économiques et écologiques; connaissance indigène des ressources, de l'adaptabilité, des vulnérabilités et des risques.</li> <li>Mécanismes de coopération des responsables de la gestion des crues, avec des liens intersectoriels.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La connaissance insuffisante du cycle hydrologique et de son interaction avec les écosystèmes peut précariser l'utilisation des ressources d'eau et augmenter les risques de crues.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'approche écosystémique devrait associer tous les secteurs de la société et toutes les disciplines scientifiques concernés.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cherche à adopter une démarche pluridisciplinaire faisant intervenir de nombreux acteurs de diverses communautés et divers groupes d'intérêts dans un même bassin fluvial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'approche monodisciplinaire ne permet pas de prévoir les conséquences négatives de mesures particulières et revient en définitive à transférer les risques au lieu de les réduire.</li> </ul>

### 3. CONCEPTS FONDAMENTAUX DE MORPHOLOGIE ET D'ÉCOLOGIE DES COURS D'EAU ET DE LEURS PLAINES INONDABLES

Une gestion intégrée des crues exige de connaître les concepts fondamentaux de la morphologie (nature du terrain) et de l'écologie (répartition des organismes et processus de l'écosystème) des cours d'eau et de leurs plaines inondables, ainsi que de comprendre les incidences que les régimes d'écoulement ont sur les processus morphologiques et écologiques. Il faut aussi comprendre l'impact écologique des mesures de gestion des crues et étudier les aménagements susceptibles de nuire à l'environnement qui sont envisagés dans le cadre de nouveaux projets ou pour atténuer les effets néfastes de précédents ouvrages. Les concepts de morphologie et d'écologie que présente ce chapitre devraient permettre de bien saisir tant les processus déterminant le comportement des cours d'eau que les écosystèmes liés aux crues et aux plaines inondables. Dans les sections qui suivent, nous nous concentrerons principalement sur les problèmes liés aux bassins moyens et inférieurs des cours d'eau alluviaux, dont les plaines inondables font l'objet d'aménagements et dans lesquels les processus à l'œuvre entre le cours d'eau et la plaine inondable sont découplés des versants adjacents. Pour plus de simplicité, nous partons de l'hypothèse qu'aucune pollution anthropique ne nuit à la qualité de l'eau. La plupart de ces concepts s'appliquent également à des chenaux d'autres types et moins communs.

#### 3.1 Les processus fluviaux et les plaines inondables

Les crues sont généralement entraînées par de fortes précipitations ou par la fonte des neiges (ou par leur effet conjugué). Il s'agit donc d'un processus naturel. Le chenal d'une rivière s'adapte



YIN HEXIAN

Les méandres du fleuve Jaune en Chine.

naturellement pour pouvoir contenir des écoulements de taille moyenne. Il faut donc s'attendre à ce que, environ tous les deux ans, des écoulements plus importants dépassent leur capacité, entraînant un débordement des eaux sur les rives et une inondation des terres adjacentes. Les crues peuvent aussi résulter de précipitations tombant directement sur les plaines inondables ou de la montée du niveau des eaux souterraines. Les crues s'inscrivent donc dans les fluctuations naturelles des processus hydrologiques: elles concourent à déterminer le niveau de productivité et de diversité biologiques des plaines inondables et contribuent notamment à la fertilité du sol, à la formation et au renouvellement des habitats et aux échanges de nutriments et d'organismes.

### Processus fluviaux

Les têtes de rivière et les cours supérieurs, qu'on appelle aussi les eaux d'amont, sont en général fortement reliés aux versants adjacents. Par contre, les cours moyens et inférieurs en sont en général désolidarisés, car ils font normalement l'objet d'aménagements<sup>26</sup>. Les processus déterminant la nature du terrain riverain y dépendent essentiellement du bassin versant amont, où le cours d'eau est alimenté en eau et en matières solides.

Les facteurs déterminant la nature d'un bassin hydrographique à plus long terme sont d'ordre géologique et climatique. La température locale et le régime pluvial, qui agissent sur les roches exposées, définissent la nature du sol et le type de végétation qui peut y pousser (voir fig. 2). Tous ces paramètres, conjuguant leurs effets sur le réseau hydrographique, déterminent le régime du débit, des matières solides et des débris ligneux à l'exutoire du bassin versant.

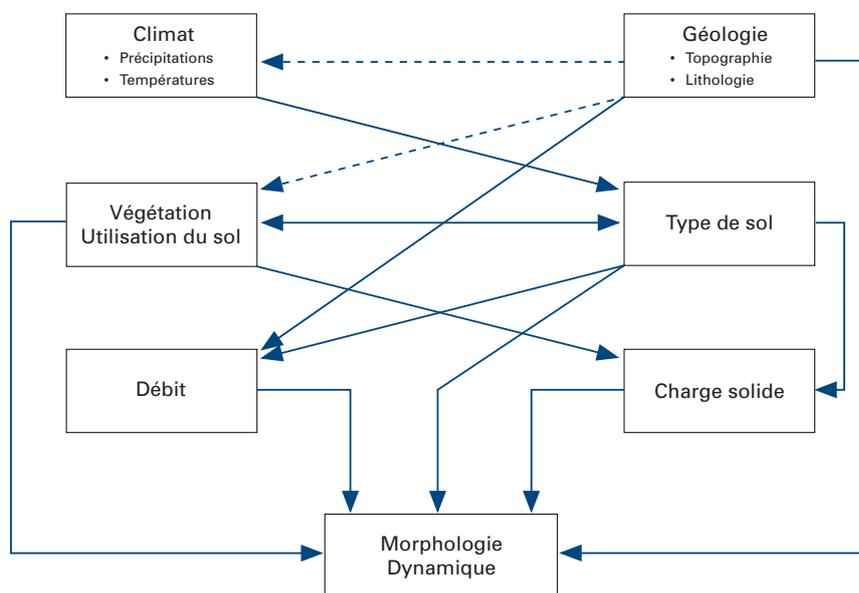


Figure 2. Le système fluvial.

(Source: Morisawa, M.E. et Vemuri, R., *Multi-Objective Planning and Environmental Evaluation of Water Resources Systems*, Final Report, Project C-6065, Washington, D.C, Office of Water Research, Ministère de l'intérieur des États-Unis, 1975)



zone se caractérise par des bois de début de succession. Ces caractéristiques géomorphologiques et végétales s'étendent cependant aux zones C et D. La région C connaît des crues de grande ampleur, mais de faible fréquence, les terres pouvant être inondées sur des dizaines de milliers de kilomètres dans les grands réseaux hydrographiques. Les ingénieurs hydrologues, qui se soucient essentiellement des conséquences économiques des inondations, donnent de la plaine inondable une définition normative qui s'appuie sur l'hydraulique: la zone, s'étendant de part et d'autre d'un cours d'eau, qui est inondée avec un intervalle de récurrence de 100 ans<sup>28</sup>.

Dans la zone D s'observent les changements climatiques et fondamentaux: elle est influencée par la relaxation post-glaciaire des apports hydrologiques et sédimentaires dans la plaine inondable. De leurs côtés, les géomorphologistes des cours d'eau définissent la plaine inondable comme une terre alluviale essentiellement horizontale, adjacente à un chenal, séparée de celui-ci par ses berges, constituée des sédiments déposés par le cours d'eau dans les conditions climatiques et le régime d'écoulement actuels, et inondée lors de crues modérées<sup>29</sup>.

Les plaines inondables sont des écosystèmes très hétérogènes. Bien que très plane, leur microtopographie comprend un ensemble complexe de petits chenaux, de dépressions, de remous, de monticules et de crêtes. Les dépressions qui s'y trouvent sont des zones humides présentant un intérêt particulier, tant pour la biodiversité que pour les moyens d'existence qu'elle fournit (produits de l'agriculture, de la pêche et de l'élevage). Ces zones humides dépressionnaires sont souvent reliées au cours d'eau par de petits chenaux qui les alimentent en eaux de crue et, par ce biais, en sédiments fins et en nutriments; ils permettent également la migration des poissons qui fraient et se reproduisent dans la plaine inondable. Ces zones humides peuvent retenir les eaux de crue même après la baisse de niveau du cours d'eau. Progressivement, à mesure que l'eau disparaît, s'instaure la culture de décrue. Certaines dépressions abritent des écosystèmes particulièrement importants, comme les forêts alluviales, qui fournissent leur habitat à d'importantes populations d'oiseaux.

Dans le présent ouvrage, le terme «corridor fluvial» désigne la zone qu'occupent le chenal du cours d'eau et sa plaine inondable. L'étendue d'une plaine inondable est définie par ses caractéristiques géomorphologiques et végétales (voir les paragraphes précédents), ainsi que par les objectifs fixés dans le cadre de sa gestion. En tant que tel, le corridor fluvial est séparé de l'écosystème terrestre adjacent et des eaux souterraines sous-jacentes par des frontières latérales semi-perméables.

## 3.2 Le régime morphologique

La plupart des systèmes fluviaux se caractérisent par des roches de fond non alluviales et un confinement latéral dans leur cours supérieur ou en d'autres lieux de leur parcours. Lorsqu'ils ne sont pas confinés latéralement par des murs de la vallée, tous les cours d'eau alluviaux forment des levées de sédiments et constituent des plaines inondables. Sur un versant donné, le paysage du cours d'eau est déterminé par les interactions entre le régime hydrologique (les variations de l'écoulement), le volume et le calibre<sup>30</sup> des sédiments, le régime de débris ligneux grossiers, les matériaux du lit et des rives, ainsi que la couverture végétale de la plaine inondable. Ainsi, l'eau, les sédiments et les gros débris de bois qui parviennent dans un cours d'eau alluvial interagissent entre eux, de même qu'avec les sédiments et la végétation du chenal, modifiant la ligne de démarcation fluctuante des sédiments, par érosion et par dépôt, et créant divers styles ou types de chenaux. La

puissance ou l'énergie du cours d'eau (qui est fonction du débit, de la largeur du chenal et de la pente), la taille des sédiments et les effets de la végétation riveraine déterminent le tracé des cours d'eau alluviaux dans leur plaine inondable: ils peuvent être méandriformes, anastomosés (qui communiquent entre eux), simples (chevelus), divagants ou tressés. Le type et la forme du chenal peuvent être mis en relation avec d'importants indicateurs écologiques de la santé de l'écosystème, comme la complexité de l'habitat et la biodiversité. L'écosystème d'un corridor fluvial s'étend bien au-delà de la zone mouillée du chenal principal; il inclut également les chenaux secondaires, les levées sédimentaires, les îles du cours d'eau et la plaine inondable proprement dite.

Le type et la forme des cours d'eau évoluent inévitablement avec le temps, chacun créant sa plaine inondable par divers mécanismes. Les mécanismes de formation particuliers des plaines inondables et la vitesse de leur formation sont cependant très variables. Par exemple, les cours d'eau méandriformes divaguent, en érodant les matériaux de la plaine situés sur la berge extérieure des méandres et en déposant des sédiments sur la levée de la berge intérieure – un processus nommé «alluvionnement latéral». Les cours d'eau divagants à fond de gravier forment quant à eux des levées sédimentaires à mi-chenal, susceptibles d'être colonisées par la végétation. En période de fort débit, la végétation retient de fins sédiments, élevant ainsi à mesure la surface de la levée par alluvionnement vertical, jusqu'à ce qu'elle se mue en une île, qui fera par la suite partie intégrante de la plaine inondable lorsque le cours d'eau aura abandonné l'un de ses chenaux latéraux adjacents. Du point de vue morphologique, un cours d'eau peut être considéré comme étant dans un état d'équilibre dynamique: la configuration du terrain varie en permanence mais, d'un point de vue global, les éléments restent inchangés (concept de stabilité des habitats évolutifs). La figure 4 présente un corridor fluvial d'un cours d'eau alluvial, en l'occurrence de type méandriforme. Les processus fluviaux d'érosion et de sédimentation entraînés par les inondations, les transports solides, les dépôts ligneux et la croissance de la

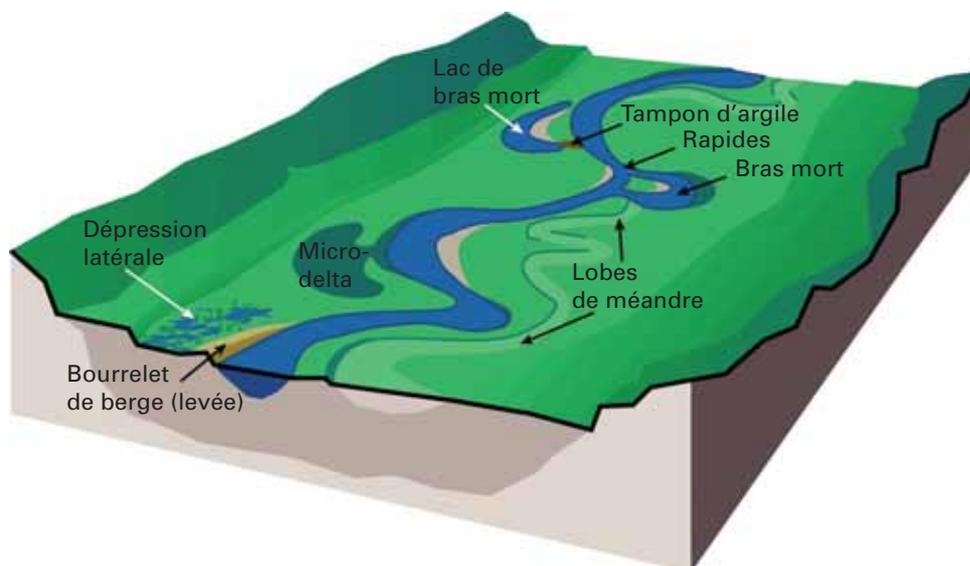


Figure 4. Modelé et dépôts de la plaine inondable d'un cours d'eau méandriforme.

(Source: États-Unis, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*, adopté en tant que Partie 652 du National Engineering Handbook, National Resources Conservation Service, Ministère de l'agriculture, 1998, révisé en 2001)

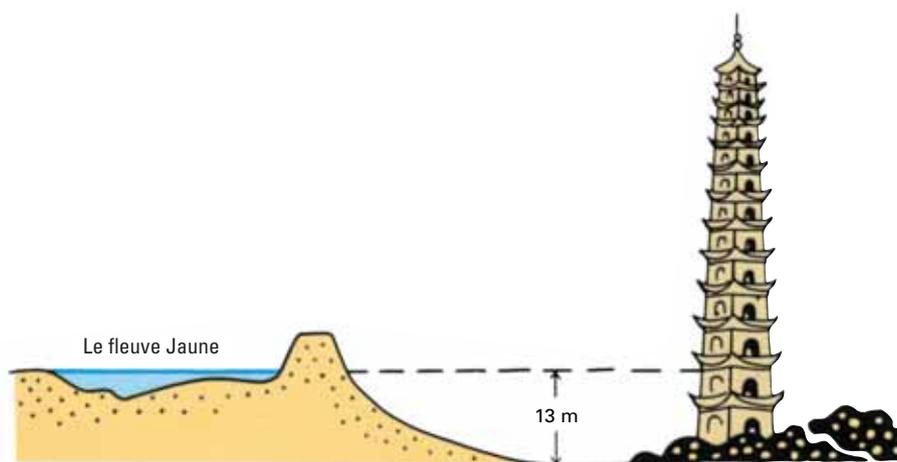


Figure 5. Schéma du «fleuve suspendu» près de Kaifeng.

(Sources: Li, G., *Ponderation and Practice of the Yellow River Control*, Zheng Zhou, Yellow Water River Conservancy Press, 2003)

végétation modifie ainsi continuellement l'ensemble du corridor fluvial, même si, de loin, le paysage peut paraître inchangé.

Dans des conditions naturelles ou sous l'effet de modifications liées à l'utilisation des terres par les êtres humains, le taux d'érosion de certains bassins versants peut être tel que les sédiments charriés dans un cours d'eau dépassent la capacité de ce dernier de les acheminer en aval. Ces systèmes fluviaux sont intrinsèquement instables, le niveau de leur lit s'élevant constamment par un processus appelé alluvionnement. Les plaines inondables ainsi formées, assimilables dans certains cas à d'immenses cônes de déjections, peuvent être très larges, et, par ses fréquentes divagations, le chenal peut se déplacer latéralement sur de grandes distances. Dans les cas extrêmes, ces cours d'eau sont dits «suspendus». S'ils sont endigués pour éviter les crues et les avulsions latérales, l'alluvionnement se poursuit le long du chenal rétréci, faisant monter le lit à un niveau supérieur à celui des plaines inondables environnantes (voir fig. 5). La gestion des crues et la gestion de l'environnement de ce type de cours d'eau sont bien sûr d'une grande complexité.

En revanche, la construction de barrages, la protection du sol et la reforestation, qui diminuent la charge solide, et les modifications entraînant une augmentation des débits de crue peuvent aussi rompre l'équilibre du cours d'eau, mais par un effet contraire: une capacité de débit excessive peut se traduire par un abaissement du lit, processus appelé creusement. Un creusement prononcé diminue le risque local d'inondation, mais les matériaux de fond ainsi entraînés peuvent provoquer un alluvionnement du lit en aval. Le creusement modifie aussi considérablement l'environnement le long du corridor fluvial, notamment par la disparition de la végétation riveraine due à l'abaissement de la surface libre.

### 3.3 La biodiversité

Des écosystèmes sains et divers représentent pour les populations une source importante de biens et de services qui concourent sensiblement à leur développement économique et social. La plupart des services fournis par les écosystèmes riverains proviennent de l'activité

biologique des diverses associations d'organismes qui s'y trouvent. Il ne s'agit donc pas uniquement d'entretenir la diversité biologique (ou biodiversité) pour la protection des espèces menacées et de belles zones humides. Il est nécessaire de comprendre pleinement comment les écosystèmes aquatiques et terrestres fonctionnent et interagissent, en particulier en liaison avec les interventions de gestion des crues.

Pour que les organismes survivent, les conditions suivantes doivent être remplies:

- La qualité de l'eau doit être adéquate; les valeurs de divers facteurs physiques ou chimiques, notamment le taux d'oxygène dissous, le pH et la température, doivent être comprises dans les limites tolérées, et la pollution ne doit pas être excessive;
- L'eau doit être présente en quantité suffisante et d'une variabilité appropriée pour permettre les processus biologiques naturels;
- Divers habitats physiques doivent être présents.

Il est de fait largement reconnu que la biodiversité et la productivité riveraines sont régies dans une large mesure par des facteurs physiques liés au régime d'écoulement et aux régimes sédimentaire et thermique. Afin de survivre, croître et se reproduire, les organismes ont besoin de nourriture et d'espace – d'un habitat – dans l'environnement physique qui les abrite. Non seulement chaque espèce a ses propres besoins, mais certaines espèces ont aussi des besoins très différents (en matière de nourriture et d'habitat) aux différents stades de leur développement (par exemple, la truite brune à l'état d'œuf, puis de juvénile et à l'âge adulte): un environnement donné doit alors répondre à tous leurs besoins pour que l'espèce puisse continuer d'y vivre.

Les habitats des corridors fluviaux naturels sont d'une extrême diversité. La diversité d'un tronçon est facteur des modifications de l'habitat dans le temps et dans l'espace.

L'hétérogénéité spatiale est déterminée par les caractères de l'habitat: est-il en eau profonde ou peu profonde, à l'ombre ou au soleil, sur une surface plane boueuse, ou couverte de sable ou de gravier? Y-a-t-il de la végétation aquatique? Le courant est-il fort ou faible? L'eau est-elle claire ou trouble? Coule-t-elle dans de grands ou de petits cours d'eau? L'habitat est-il situé à la source d'un ruisseau ou dans le chenal principal? etc.

La variabilité temporelle se caractérise par l'alternance de conditions de débit de crue faible et fort (inondation), par les variations saisonnières entre eaux froides et chaudes, par le passage d'un chenal unique à des chenaux multiples qui tour à tour se resserrent et s'étendent sur la plaine inondable, etc.

Cela explique pourquoi les environnements complexes et variables peuvent abriter une plus grande diversité d'organismes que les environnements uniformes. En général, plus l'habitat d'un corridor fluvial est complexe, plus la biodiversité qu'il peut abriter est importante. La figure 6 présente divers éléments favorables à la biodiversité. Les habitats fluctuants, créés par des perturbations, sont des éléments essentiels d'un écosystème fluvial sain.

Dans les systèmes fluviaux très dynamiques, caractérisés par de fortes pentes ou de fortes crues par rapport à leur charge solide et au calibre de leurs sédiments, le rythme de perturbation (le taux

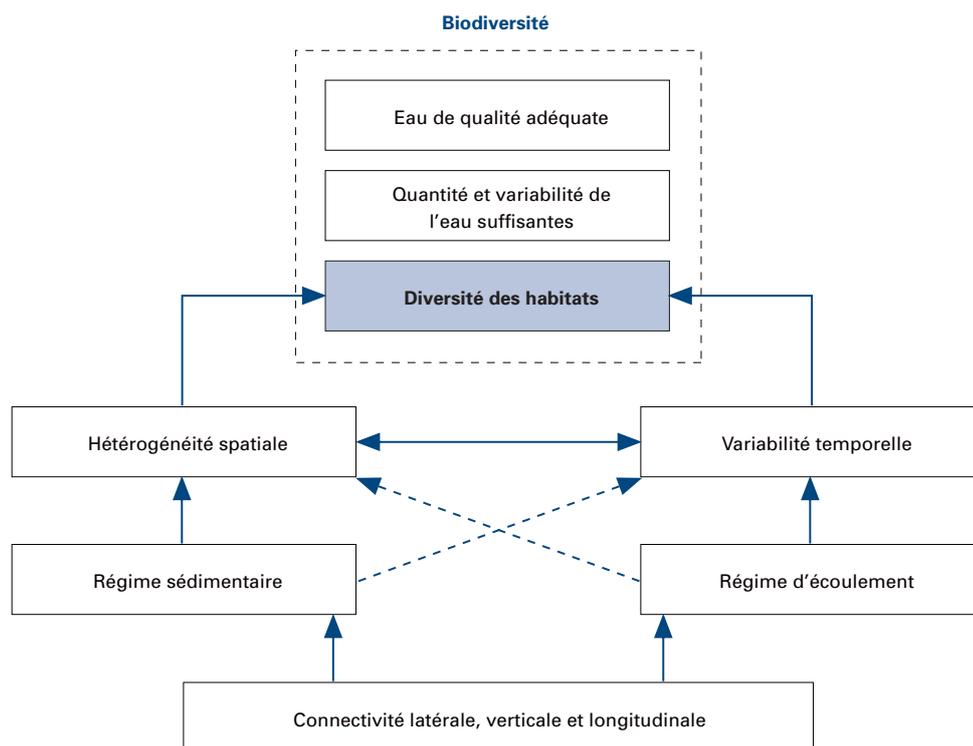


Figure 6. Les divers facteurs caractérisant la biodiversité.

de création et de destruction des habitats) peut être trop élevé pour maintenir une forte biodiversité. Les cours d'eau tressés à lit de gravier et de sable, par exemple, ont en général un taux de renouvellement des levées et des îles si élevé que la plupart des parcelles d'habitat situées dans le chenal sont relativement récentes. Ils fournissent cependant des habitats à une faune et à une flore très particulières et souvent hautement menacées, caractéristiques des débuts de succession. En revanche, un cours d'eau méandrique, peu dynamique, qui se déplace lentement latéralement, est susceptible d'abriter une végétation mature sur une part importante de sa plaine inondable, n'offrant que très peu de nouvelles parcelles. Ce type de système tend aussi à être trop homogène pour se caractériser par une grande biodiversité. En fait, il a été démontré que la biodiversité est la plus forte lorsque l'écosystème présente un taux de renouvellement moyen<sup>31</sup>. En d'autres termes, trop de variations – qui contraignent le système à se reconstituer continuellement – ou trop peu de variations – qui permettent à un certain type d'habitat de dominer les autres – réduisent la diversité.

Les besoins de la plupart des espèces fluctuent pendant leur cycle de vie, ainsi qu'au cours de la journée et tout au long de l'année; les organismes doivent donc pouvoir se déplacer entre les parcelles d'habitat. Ces déplacements peuvent avoir lieu une fois dans leur vie, sur de longues distances, comme chez certaines espèces de saumons qui remontent des océans jusqu'au cours supérieur, ou tous les jours, comme lorsqu'il est nécessaire de se déplacer entre le lieu d'alimentation et le lieu de repos. Les mouvements peuvent suivre l'axe du cours d'eau ou s'opérer transversalement, comme dans le cas des espèces de poissons qui utilisent des habitats latéraux pour frayer, mais retournent ensuite dans le chenal principal. De nombreuses espèces se répartissent sur plusieurs parcelles et ne comprennent que quelques

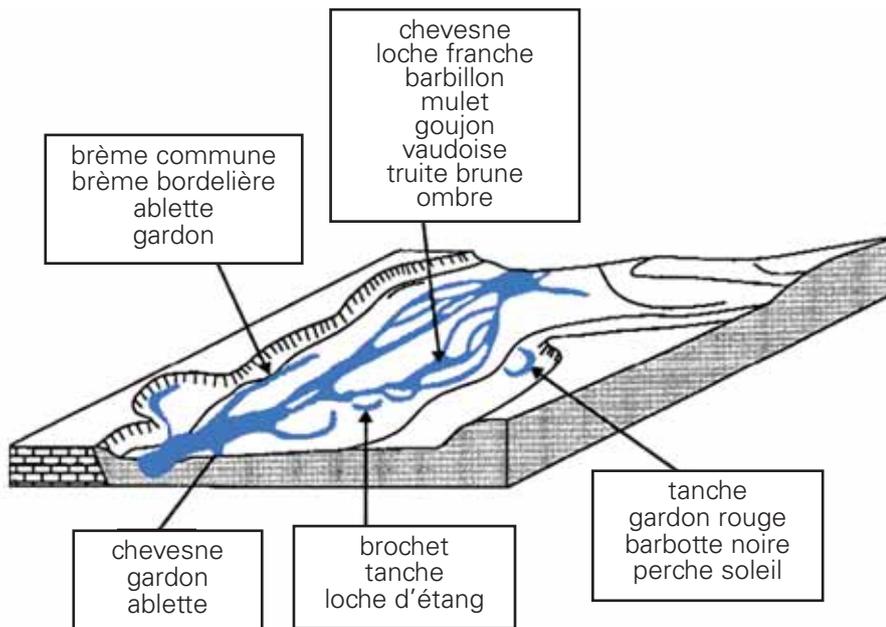


Figure 7. Utilisation des habitats de frai par les poissons dans le Rhône supérieur.

(Source: Roux, A.L. et Copp, G.H., «Fish populations in rivers,» chapitre 8 de *Fluvial Hydrosystems*, G.E. Petts et C. Amoros (dir.), Londres, Chapman et Hall, 1996)

individus par population. Une connectivité latérale et longitudinale intacte est donc nécessaire pour qu'elles puissent passer d'une parcelle à l'autre et suivre leur processus écologique.

Les systèmes classiques de lutte contre les crues tendent à réduire excessivement la complexité du corridor fluvial, transformant ce dernier en un écosystème spatialement homogène, qui ne possède pas les diverses caractéristiques propres à l'habitat d'espèces très diverses. Par exemple, le tronçon alluvial illustré à la figure 7 présente des environnements aquatiques variés utilisés pour le frai par nombre d'espèces de poissons. Si ce tronçon venait à être canalisé aux fins de la navigation ou de la lutte contre les crues, les écoulements seraient concentrés en un chenal simple, isolé des autres. Le tronçon prendrait finalement la forme d'un chenal unique, de largeur et de profondeur uniforme, et d'hétérogénéité très réduite; beaucoup d'habitats disparaîtraient ainsi dans les chenaux latéraux et dans la plaine inondable, ce qui entraînerait une nette diminution de la biodiversité locale et, au bout du compte, régionale.

### 3.4 La connectivité morphologique et écologique

Il ressort donc clairement de la section 3.3 qu'il importe de maintenir la connectivité (c'est-à-dire d'éviter toute rupture spatiale dans un corridor ou milieu fluvial)<sup>32</sup>. La connectivité des divers habitats est importante pour répondre aux besoins des organismes qui doivent se déplacer de l'un à l'autre, et pour assurer les divers processus physiques, biologiques et chimiques qui régulent la structure et le fonctionnement du corridor fluvial.

On peut donc concevoir les couloirs fluviaux comme des systèmes tridimensionnels évoluant dans le temps (fig. 8). Sur l'axe longitudinal, la partie amont du bassin versant est reliée aux

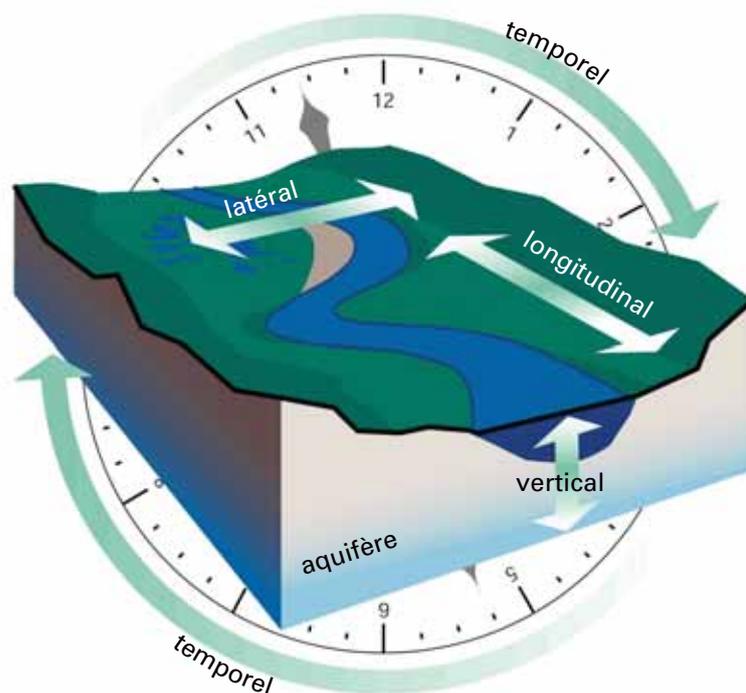


Figure 8. Dimensions spatio-temporelles d'un corridor fluvial.

(Source: États-Unis, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*, adopté en tant que Partie 652 du National Engineering Handbook, National Resources Conservation Service, Ministère de l'agriculture, 1998, révisé en 2001)

cours inférieurs. Ce lien se manifeste essentiellement par des flux unidirectionnels d'eau, de sédiments, de matière organique (du bois et des feuilles, par exemple) et de substances dissoutes allant d'amont en aval. De nombreux organismes, aquatiques comme terrestres, se déplacent toutefois dans le corridor fluvial tantôt vers l'amont, tantôt vers l'aval. Un barrage, un déversoir ou un tronçon souterrain peuvent rompre la connectivité longitudinale du cours d'eau, faisant obstacle aux migrations ou retenant les sédiments ou de gros débris ligneux, qui jouent un rôle morphologique et écologique important. Il arrive cependant aussi que des cours d'eau soient de nature intermittente ou éphémère; dans ce cas, l'assèchement de certains tronçons, et la perte de continuité qui en résulte, sont des perturbations naturelles qui régulent la structure de l'écosystème parallèlement au régime des crues.

Comme expliqué plus haut, les inondations saisonnières de la plaine de crue sont essentielles pour le maintien des caractéristiques du corridor fluvial. La régulation de l'écoulement et la construction de digues diminuent la connectivité latérale, limitant les mouvements des organismes et les flux de nourriture, de sédiments, de limon organique, etc. entre le chenal et sa plaine inondable. Considérons par exemple un débordement d'eau de surface sur une plaine inondable pendant une période de fort débit, comme il s'en produit lorsque des eaux de crue débordent du chenal principal et recouvrent une partie de la plaine inondable. Comme les fortes crues sont des phénomènes moins fréquents, les zones adjacentes au chenal principal sont fréquemment submergées, alors que les zones qui en sont plus éloignées ne sont inondées que temporairement, environ une fois tous les deux ans, et se caractérisent par des structures moins hétérogènes. L'inondation permet non seulement aux organismes aquatiques d'entrer dans le

chenal principal ou d'en sortir, mais elle entraîne aussi des modifications morphologiques, crée de nouveaux habitats, dépose une partie de ses sédiments fins (y compris du limon organique fertile), alimente les zones humides, régénère les étangs, stocke temporairement de l'eau sur la plaine, etc. Si les crues d'un tel tronçon étaient régulées, la continuité entre le chenal principal et sa plaine inondable serait affaiblie, au détriment de la plupart de ces processus.

La connectivité verticale est liée à la connexion entre le système de surface et le système alluvial d'eaux souterraines sous-jacent, appelé zone hyporhéique<sup>33</sup>. Une connectivité verticale intacte, qui permet des échanges entre les eaux de surface et souterraines, est importante car les processus microbiens souterrains entretiennent la productivité du corridor fluvial et contribuent au maintien de la qualité de l'eau. Beaucoup de zones humides et d'étangs des plaines inondables, ainsi que la plupart des arbres riverains, ne pourraient subsister sans les eaux souterraines. De plus, les remontées d'eaux souterraines offrent à de nombreuses espèces un important refuge d'eau froide.

La diversité des plans d'eau et l'extrême complexité de la trajectoire des crues à l'intérieur d'un corridor fluvial, comportant par exemple un chenal principal et des chenaux secondaires, des dépôts sédimentaires de toutes textures et de toutes formes, des étangs et des zones humides riveraines, parmi lesquels l'eau s'écoule en permanence ou sporadiquement, en surface, sous la surface ou dans l'aquifère, à l'ombre ou exposée au rayonnement solaire, etc., se traduisent par une forte variabilité des régimes thermiques qui s'ajoute aux fluctuations de la mosaïque des habitats physiques. En d'autres termes, il est très probable que la morphologie du cours d'eau et l'éventail des habitats existants connaissent un régime d'équilibre dynamique, dans lequel la configuration de chaque parcelle évolue continûment, alors même que l'éventail global des divers types d'habitats reste plus ou moins le même le long d'un tronçon. Ce modèle conceptuel d'un corridor fluvial envisagé comme fonctionnant tel un «régime» est connu sous le nom de «*shifting habitat mosaic steady state concept*» (concept du régime continu d'une mosaïque d'habitats fluctuants).

Il est donc essentiel de comprendre que la diversité et la connectivité des habitats, loin d'être figées dans le temps et dans l'espace, suivent un cycle où elles sont perpétuellement créées puis détruites par la dynamique fluviale. Si l'on empêche les fluctuations d'un corridor fluvial d'une grande diversité (par exemple en empêchant les crues ou en séparant la plaine alluviale du chenal principal par des digues), le processus de création de nouvelles parcelles d'habitat sera interrompu et le système s'homogénéisera à mesure que la végétation existante atteindra sa maturité et dominera le paysage fluvial originellement hétérogène.

### 3.5 En résumé...

L'écologie des cours d'eau alluviaux et de leurs plaines inondables repose sur les principes fondamentaux suivants:

- Les cours d'eau subissent constamment des modifications et leur tracé se déplace latéralement au travers de leur zone alluviale; leurs régimes de débit, de sédiments et de bois charrié interagissent avec les matériaux de leur lit et de leurs berges, ainsi qu'avec la végétation riveraine pour redéfinir sans cesse leurs propres caractéristiques.

- La mosaïque dynamique et changeante des parcelles d'habitat dans le chenal principal et dans sa plaine inondable est un des attributs essentiels des systèmes fluviaux: elle offre de l'espace à de diverses et nombreuses espèces riveraines de plantes et d'animaux, que leur évolution a pleinement adaptées à cet environnement dynamique et hétérogène.
- Pour alimenter les processus écologiques naturels, les habitats riverains ont besoin que trois conditions soient remplies simultanément: une qualité de l'eau adéquate, une variabilité suffisante de l'eau des points de vue quantitatif, spatial et temporel et une diversité d'habitats physiques.
- Les continuités longitudinale, latérale et verticale du corridor fluvial sont essentielles, aussi bien pour les organismes riverains que pour l'écosystème fluvial.
- Un régime de crue fortement modifié (par exemple par des changements dans l'ampleur et la fréquence des crues et dans la période dans laquelle elles surviennent) peut avoir des incidences négatives sur les écosystèmes. Il importe de maintenir la structure et la fonction des écosystèmes fluviaux car la plupart des services écosystémiques fournis par les corridors fluviaux en dépendent et sont perdus lorsque les cours d'eau sont rendus moins complexes.

## 4. PROCESSUS DE CRUES ET ÉCOSERVICES: LES INTERACTIONS

Les écosystèmes déterminent dans une large mesure les réactions hydrologiques d'un bassin hydrographique. Il est donc important de comprendre les divers processus hydrologiques à l'origine des crues, ainsi que la manière dont les écosystèmes interagissent avec ces processus pour influencer leur volume, leur ampleur et leur répartition dans le temps. Le présent chapitre porte sur le rôle que jouent divers écosystèmes (notamment les forêts, les lacs et les étangs, les zones humides, les corridors fluviaux et les écosystèmes estuariens et côtiers) dans les processus hydrologiques et sur la manière dont ils interagissent avec les crues. Il traite également des possibilités et des limites des écosystèmes en matière d'atténuation des crues (voir le résumé présenté au tableau 2, p. 39).

### 4.1 Les forêts

Les forêts sont des écosystèmes terrestres liés à des processus à l'œuvre dans le sol. La capacité du sol de permettre le développement de la végétation dépend de ses caractéristiques physiques (matières organiques, capacité de rétention d'eau, structure et densité apparente), chimiques (types d'éléments minéraux présents) et biologiques (diversité et activité des micro-organismes présents), ainsi que du microclimat local (température, précipitations et quantité d'eau sollicitée pour l'évaporation).

#### ***Les forêts: une source d'énergie vitale pour les populations et les écosystèmes aquatiques***

Les forêts riveraines constituent une interface entre les écosystèmes terrestres et aquatiques<sup>34</sup> et offrent divers habitats essentiels aux espèces riveraines indigènes. Une forêt continue offre des



OMM

voies de transport aux animaux arboricoles; les ressources forestières fournissent un apport direct de moyens d'existence aux êtres humains, profitent à l'agriculture, contribuent aux réserves alimentaires, et sont ainsi une importante source de richesse nationale<sup>35</sup>. Les forêts contribuent à maintenir la qualité des eaux en filtrant les nutriments et d'autres polluants des écoulements dans les couches supérieures du sol et dans les aquifères et en retenant les sédiments des eaux de ruissellement. En fournissant de l'ombre aux étangs, marécages, ruisseaux de printemps et chenaux fluviaux des plaines inondables, elles régulent le régime thermique. Elles alimentent le système aquatique en matières organiques allochtones<sup>36</sup> sous la forme de feuilles, de rameaux, de grands débris ligneux, etc. qui fournissent des ressources alimentaires vitales aux organismes aquatiques<sup>37</sup>. Dans les régions tropicales, elles modèrent l'aridité du climat et fournissent une multitude de ressources, notamment du bois, des produits de cueillette et des pâturages.

### ***Les forêts et les processus hydrologiques***

Les forêts jouent un rôle important pour la détermination des processus hydrologiques dans le bassin: leur structure complexe permet une stabilisation saisonnière du débit des cours d'eau et favorise l'infiltration et l'évapotranspiration. Par l'infiltration, elles contribuent à réalimenter la nappe phréatique, dont les eaux s'échappent peu à peu sur une longue période. Dans des conditions hydroclimatiques données, elles peuvent réduire l'apport d'eau total dans le bassin sous l'effet d'une augmentation de l'évapotranspiration. Lors de sécheresses prolongées, le débit des cours d'eau peut subir une diminution radicale. Cependant, du fait de l'extrême complexité des processus à l'œuvre, ces effets doivent encore être quantifiés, même à l'échelle locale<sup>38</sup>. Les effets régulateurs des forêts ont certaines limites et sont surtout tributaires de la complexité structurelle, de la taille et de la nature des forêts, ainsi que de la profondeur et de la structure de la couverture du sol, et des conditions antérieures d'humidité du sol dans le bassin versant. La couverture forestière – qu'elle soit présente ou absente – reste toutefois sans effet sur les crues de grande ampleur (les pointes de crue), car les précipitations continues peuvent saturer le sol augmentant ainsi l'écoulement de surface.

Les forêts riveraines interagissent avec l'hydraulique fluviale, influant sur la morphologie du corridor fluvial, augmentant la résistance à l'érosion des berges et rétrécissant et creusant les chenaux. Dans les cours d'eau inférieurs qui s'écoulent sur de vastes plaines inondables, la rugosité de la végétation entraîne un creusement des lits; l'augmentation de la capacité de stockage de l'eau qui en résulte tend à ralentir l'onde de crue et atténue les pointes de crue en aval. Le bois échappé et les troncs flottants peuvent obstruer les chenaux des ouvrages de drainage transversal et faire obstacle aux écoulements de crue, provoquant une montée du niveau de l'eau en amont et d'éventuelles ruptures de digues ou des débordements.

### ***Les forêts et les apports sédimentaires aux cours d'eau***

Les racines des arbres contribuent considérablement à la stabilité des pentes. Elles renforcent le sol en augmentant sa résistance à la tension, mais apportent par ailleurs leur propre poids à la charge du terrain. Les pressions qui s'exercent pour convertir les forêts et les pâturages en zones cultivables, ainsi que l'abattage des arbres, légal ou non, sont des menaces constantes pour la couverture forestière. Or sa disparition contribue non seulement aux glissements superficiels de terrain (responsables de la perte d'une partie de la couche arable fertile de vastes zones), mais aussi au ravinement par érosion, qui provoque une dégradation du terrain

et augmente le débit de solides dans les bassins hydrographiques. Les glissements profonds de terrain, qui sont dus à des facteurs géologiques, topographiques et climatiques, ne subissent toutefois pas d'influence notable de la couverture forestière<sup>39</sup>.

Comme mentionné plus haut, les relations entre les processus hydrologiques et la dynamique des forêts n'ont pas encore été étudiées à l'échelle du bassin hydrographique, essentiellement en raison de leur grande complexité. Il est donc impératif d'entreprendre des études éco-hydrologiques approfondies pour suivre de près, sur le long terme, l'influence que les forêts ont sur les écoulements pendant la saison sèche, sur l'atténuation des effets des crues et sur l'alimentation des eaux souterraines dans les grands bassins hydrographiques.

## 4.2 Les étangs et les lacs

Les étangs et les lacs sont en général des plans d'eau lenticques, c'est-à-dire des écosystèmes d'eau douce non courante. Ils sont habituellement alimentés par les précipitations directes, les eaux de ruissellement (diffus ou du réseau tributaire) et les aquifères peu profonds. L'eau s'échappe des systèmes lenticques par évaporation de la surface libre, transpiration, transmission et écoulement via l'exutoire. Un lac de bras mort (un ancien méandre plus ou moins déconnecté du lit principal d'un cours d'eau du fait du déplacement de celui-ci) n'est pas, à proprement parler lenticque, car il devient un système d'eau courante en période de haut débit.

### *La biodiversité des lacs et des étangs*

La biodiversité des lacs et des étangs est tributaire de leurs caractéristiques physiques ainsi que de leur équilibre nutritif et de leur éventuel état d'atrophie. La diversité biologique est plus forte dans les eaux peu profondes proches du rivage. Les nutriments et les sédiments pénètrent dans les lacs



Le lac Léman sur le parcours du Rhône.

par des sources non ponctuelles. Les variations de température à l'intérieur de ces plans d'eau, qui dépendent principalement des énergies solaire et éolienne, déterminent dans une large mesure leurs caractéristiques écologiques. Dans les plans d'eau peu profonds et de petites dimensions, que nous appelons ici des étangs, la température est uniforme le long de la colonne d'eau, car la lumière du soleil arrive sans peine jusqu'au fond. Les différences de température dans les plans d'eau profonds, que nous désignons ici sous le nom de lacs, forment des couches thermiques, car l'énergie thermique n'atteint pas les profondeurs, et de l'eau plus froide reste piégée au fond. La tension du vent en surface fournit l'énergie de brassage, qui diminue fortement avec la profondeur. Dans les lacs reliés à des systèmes fluviaux, l'emplacement et les caractéristiques des affluents et de l'exutoire définissent également le taux de brassage du lac. Le fait qu'un lac soit brassé ou stratifié est un des facteurs qui déterminent ses caractéristiques écologiques.

Les lacs et les étangs fournissent divers services à l'être humain: ils apportent notamment de l'eau potable et permettent l'irrigation, et offrent des loisirs et des moyens d'existence (agriculture, pêche, élevage, etc.). Ces plans d'eau assurent aussi des services cruciaux pour l'environnement: ils assimilent les nutriments des plantes, retiennent les sédiments et réalimentent les nappes souterraines. Ils offrent une grande diversité végétale et constituent le principal mécanisme vital pour de nombreuses espèces végétales et animales indigènes, ainsi que pour les oiseaux migrateurs<sup>40</sup>.

### **Les lacs et les crues**

La capacité qu'ont ces plans d'eau de stocker de l'eau leur permet d'atténuer les pointes de crue. Un étang ou un lac intercepte l'eau du ruissellement de surface et la retient jusqu'à ce que soit atteinte sa capacité de stockage; passé ce stade, il déborde et concourt à son tour au ruissellement. Lorsqu'une onde de crue arrive dans un lac, elle ne se transmet pas directement à son exutoire, mais est partiellement absorbée par le plan d'eau, dont elle fait monter le niveau. Ainsi, quand le débit sortant maximal est atteint, un grand volume d'eau a été stocké, qui s'écoule avec un décalage temporel qui est fonction des caractéristiques de l'exutoire: les pointes de crue sont ainsi atténuées et leur transmission en aval est ralentie. La contribution des étangs et des lacs à l'atténuation des inondations lors de fortes crues dépend de leur type, de leur emplacement, de leur surface, de leur forme, de leurs conditions antérieures ainsi que du comportement hydrologique de leur exutoire.

## **4.3 Les zones humides**

Les zones humides sont définies comme «des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres<sup>41</sup>». Elles constituent des milieux de transition entre les systèmes terrestre et aquatique. Elles peuvent ou non connaître des marées, être lotiques ou lenticules. Les zones humides marines ou côtières, les lacs et les étangs, bien qu'également considérés ici comme des zones humides, sont traités ailleurs dans la présente publication. La présence d'eau de surface et le développement de végétation sur sol humide sont deux caractéristiques essentielles des habitats de zone humide.



### ***L'environnement géomorphologique***

Selon leur environnement, les zones humides tendent à avoir des sources d'eau dominantes différentes et des hydropériodes différentes, deux facteurs qui ont une incidence sur les types d'organismes aptes à y vivre. Certaines zones humides alluviales sont étroitement connectées à des chenaux de cours d'eau, tandis que d'autres sont isolées. Par exemple, les zones humides dépressionnaires (dénudées d'écoulement de surface) sont souvent fortement liées, par les eaux souterraines, à d'autres zones humides ou plans d'eau. Certaines offrent un habitat essentiel pour les amphibiens, car la sécheresse saisonnière y élimine les prédateurs potentiels que sont les poissons. D'autres environnements géomorphologiques répandus sont les zones humides riveraines, au bord d'un cours d'eau, qui comprennent des portions de plaines inondables alluviales et des deltas, les zones humides lacustres, qui occupent une bande étroite de terre abritée sur rives de lacs et au bord de réservoirs, et les zones humides en pente, principalement alimentées par des eaux souterraines au travers de failles. Ces divers environnements géomorphologiques entretiennent des zones humides, dont le climat peut être plus ou moins aride et plus ou moins humide.

Les zones humides se caractérisent souvent par une végétation dense, adaptée à des périodes d'inondation comme de sécheresse. La qualité de l'eau y est fortement influencée par l'écosystème aquatique et le sol ainsi que par le type et la quantité de végétation émergente qui s'y associent. Les plateaux humides, en revanche, ne se trouvent que dans les climats suffisamment humides qui permettent le maintien de la végétation et du sol de la zone humide sans apport d'eaux souterraines ou de surface. Dans certains cas, ils ont accumulé suffisamment de matière organique pour devenir des tourbières, qui se caractérisent par leur forte teneur en matière organique morte non décomposée. Le développement et les aménagements humains qui lui sont associés exercent de plus en plus de pressions sur les zones humides et les régions qui ont les mêmes caractéristiques géomorphologiques sont sujettes aux mêmes altérations anthropogènes<sup>42</sup>.

## La biodiversité des zones humides

Certaines zones humides, étroitement connectées au cours d'eau principal par de petits chenaux, permettent le transport et la rétention des eaux de crue, ainsi que des sédiments fins et des nutriments qu'elles charrient. Le taux élevé de nutriments retenus dans ces zones leur permet de produire d'importantes quantités de biomasse, laquelle est source de réseaux alimentaires tant aquatiques que terrestres. Les zones humides sont des écosystèmes essentiels qui offrent des habitats vitaux à nombre d'espèces<sup>43</sup> et leur assurent les moyens d'existence. La biodiversité de ces zones pour ce qui est de l'éventail des espèces abritées peut donc être extraordinairement élevée. Les crues temporaires sont d'une importance capitale pour préserver les écosystèmes des zones humides.

Les zones humides abritent des espèces aussi bien terrestres qu'aquatiques, et la présence prolongée d'eau crée des conditions favorables à des plantes spécialement adaptées (hydrophytes). Les eaux qui s'y trouvent sont peu profondes et stagnent ou ne s'écoulent que très lentement. Ces zones fournissent un habitat favorable à de nombreuses espèces et, surtout, constituent des frayères et des nourriceries pour les poissons, et sont adaptées à la nidification et à l'éclosion des œufs pour les oiseaux. Les zones humides de plaines inondables entretiennent des liens écologiques qui peuvent s'étendre sur des milliers de kilomètres (oiseaux migrateurs, poissons anadromes, etc.).

## Les zones humides et le cycle hydrologique

Les zones humides ont une portée considérable sur le cycle hydrologique (voir l'encadré 1): les processus hydrologiques sont influencés par leur capacité de stockage de l'eau, la quantité d'eau qu'elles transmettent aux aquifères et la capacité de réalimentation des nappes souterraines. L'atténuation des crues est l'un des plus importants services qu'apportent les zones humides; ce service est surtout important dans les vastes plaines inondables, dans les cours inférieurs des bassins hydrographiques, où l'eau qui déborde du cours d'eau est stockée dans des creux de terrain et des dépressions de grandes dimensions. De plus, la résistance qu'exerce la rugosité de la végétation des zones humides a pour effet de ralentir et de réduire l'onde de crue, ce qui retarde et réduit les inondations en aval.

### Encadré 1. Zones humides et cycle hydrologique

Dans une étude menée par le Centre for Ecology and Hydrology de Wallingford (Royaume-Uni) sur la base de 439 rapports publiés sur les fonctions régulatrices des zones humides à la suite de 169 études de divers pays, il est établi que:

- Les zones humides modifient considérablement le cycle hydrologique;
- La plupart d'entre elles réduisent ou retardent les inondations, mais plus d'un tiers des zones humides situées dans les cours supérieurs augmentent en fait les pointes de crue;
- L'évaporation y est plus active que dans d'autres types de terrains; par conséquent, dans deux tiers des cas, elles réduisent la moyenne annuelle de l'écoulement des cours d'eau;
- Deux tiers des zones humides sont à l'origine d'une réduction des écoulements dans les cours inférieurs pendant les saisons sèches;
- Certaines zones humides de plaines inondables situées sur sol sablonneux alimentent les nappes souterraines lorsqu'elles sont inondées; cependant, la plupart d'entre elles doivent leur existence à un sol imperméable ou rocheux, et n'interagissent que peu avec les eaux souterraines.

Source: Bullock, A. et Acreman, M., «The role of wetlands in the hydrological cycle», *Hydrology and Earth System Sciences*, 7 (3): 358–389, 2003.

Comme les zones humides comprennent une vaste gamme d'écosystèmes, notamment des tourbières, des marais, des vasières et des plaines inondables, toutes n'atténuent pas les inondations avec la même efficacité. Leur effet atténuateur à cet égard en aval est facteur de leur superficie, de la taille de la crue, de la proximité d'une zone humide en amont et de l'absence d'autres zones de stockage en amont. Bien entendu, elles n'ont guère de portée atténuatrice si elles sont saturées lors de la crue, ne pouvant pas absorber de nouvelles eaux.

#### **4.4 Les corridors fluviaux**

Un cours d'eau est dynamique: il divague, quittant certaines zones pour en occuper d'autres, donnant ainsi naissance à de nouveaux chenaux; il ne cesse de créer et de détruire des habitats rivulaires. Un corridor fluvial (c'est-à-dire le chenal, sa plaine de crue et tous les types de terrains qui s'y trouvent) forme une mosaïque variable de divers types de terrains connaissant un équilibre ou un régime dynamique: bien qu'en mutation constante, il semble toujours pareil. Cela tient à la continuité des régimes d'écoulement et de sédimentation. Divers éléments du régime d'écoulement régulent les processus écologiques dans les écosystèmes à eau courante: l'ampleur, la fréquence, la durée, la répartition dans le temps et la variabilité des conditions hydrologiques. Les crues sont un élément important du régime d'écoulement de tout système fluvial, car les débits plus élevés concourent au processus d'érosion et, par la suite, de sédimentation. Les crues doivent survenir à la bonne période de l'année, car le cycle de vie des espèces locales est adapté aux régimes fluviaux naturels.

Différentes espèces (ou différents stades de développement d'une même espèce) ont besoin des divers habitats qu'offre cette mosaïque variable de types de terrains à différents moments de leur cycle de vie. Pour que les écosystèmes rivulaires naturels prospèrent, un cours d'eau a besoin d'espace susceptible d'abriter des habitats complexes. On observe une plus grande diversité de terrains, et donc d'habitats, aux abords des cours d'eau qui sont libres de se mouvoir. Si les écoulements sont régulés et maintenus à un niveau faible et uniforme aux fins de la production d'énergie ou de la prévention des crues, les cours d'eau perdent leurs habitats de frai et une partie de leur intégrité écologique: la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème rivulaire s'appauvrissent.

Si l'écosystème ne se situe pas au-delà d'une distance critique du chenal principal, il fait partie de la mosaïque variable, comme le montre la figure 4 à la page 19. Avant de décider de l'emplacement d'ouvrages d'endiguement, il convient de prendre en considération les caractéristiques du corridor fluvial.

##### ***Les plaines inondables: une soupe pour les crues***

L'écoulement d'un cours d'eau confiné entre des digues est plus puissant, la vitesse de l'eau y étant plus élevée que si le cours d'eau pouvait se répandre sur sa plaine inondable. Cette puissance hydraulique peut entraîner une érosion destructrice des berges et modifier le chenal bien davantage que si le cours d'eau pouvait sortir de son lit. La capacité d'un cours d'eau de déborder sur sa plaine inondable pendant les crues empêche la montée en puissance de cette



Les Kafue Flats, la grande plaine marécageuse de la Kafue en Zambie.

force destructrice. Les plaines inondables servent ainsi de «soupape de sûreté»<sup>44</sup>: elles stockent l'eau qui s'est répandue et atténuent les pointes de crue en aval, tout en réalimentant les nappes souterraines.

### ***La propagation de polluants***

Les crues peuvent entraîner des problèmes environnementaux et des risques si aucune précaution n'est prise pour réduire au minimum la diffusion de polluants par la voie des inondations. En effet, les eaux d'égout sont refoulées dans les sous-sols et les eaux non traitées des stations d'épuration situées dans des zones inondables peuvent présenter des dangers pour la santé lors d'inondations. Ce problème se pose plus particulièrement dans les zones urbaines des pays en développement, où les eaux usées non traitées sont déversées dans des systèmes de drainage à ciel ouvert. De plus, les eaux usées contiennent des microbes pathogènes, des solides en suspension, des substances toxiques, des nutriments, des déchets ainsi que d'autres polluants susceptibles de contaminer les sources d'eau potable.

Les eaux de crue risquent parfois de diffuser des substances chimiques d'origine industrielle ou domestique. Il convient de planifier avec soin le lieu de stockage des produits chimiques dangereux, en tenant compte des propriétés de la plaine inondable et des mécanismes d'inondation. Les dépôts et les usines de produits chimiques situés sur des plaines inondables peuvent avoir des fuites ou des installations défectueuses, auquel cas des produits chimiques ou des hydrocarbures peuvent être rejetés dans les eaux de crue. Une telle contamination peut nuire à long terme à la salubrité et à l'habitabilité de la zone inondée. Il faut alors des travaux coordonnés, du temps et des ressources financières pour nettoyer une telle pollution. Pendant le nettoyage, l'élimination des produits chimiques est une décision importante, requérant le plus grand soin, car elle peut avoir une portée considérable sur les écosystèmes récepteurs.

## 4.5 Les écosystèmes estuariens et côtiers

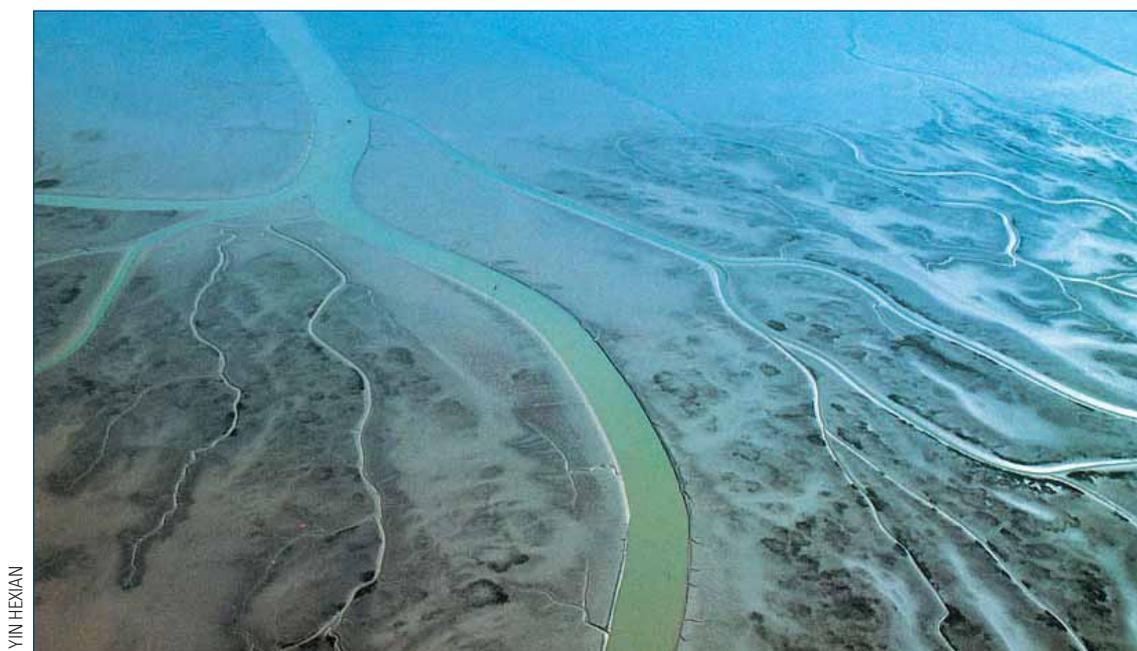
### *Les processus estuariens et deltaïques*

Les cours d'eau constituent la principale source d'eau douce, de sédiments, de nutriments et de silice des estuaires. Le débit entrant détermine la charge solide fournie à l'estuaire. Les eaux de crue charrient un plus grand pourcentage de charge solide qu'un écoulement fluvial normal et déterminent dans une large mesure le régime hydrologique des cours d'eau, lequel influe à son tour considérablement sur la morphologie de l'estuaire<sup>45</sup>.

Les cours d'eau amènent des sédiments sur la côte et les déposent à leur embouchure. Les courants de marée et les vagues refaçonnent les sédiments déposés, modifiant la forme et l'apparence de leur structure. Le delta d'un fleuve est le résultat des interactions entre forces fluviales et forces marines à proximité de l'embouchure<sup>46</sup>. L'évolution à long terme d'une plaine deltaïque dépend du taux d'apport en matériaux riverains, de la vitesse et du mode de remodelage des couches sédimentaires, ainsi que de leur transport et de leur dépôt par les processus marins à la suite du dépôt initial. Ainsi, le régime d'écoulement des cours d'eau influence les processus morphologiques des zones côtières. Les ouvrages structuraux de maîtrise des crues, comme les barrages et les ouvrages de dérivation, modifient le régime d'écoulement et, par conséquent, l'apport en sédiments aux zones côtières; ils influent donc considérablement sur les processus morphologiques et écologiques de ces zones.

### *Les caractéristiques des écosystèmes côtiers*

L'eau qui s'écoule à travers et le long des sols du bassin versant transporte des nutriments, dissous et en suspension, jusqu'à l'embouchure située en aval. Les eaux douces riches en nutriments se mélangent alors aux eaux océaniques, riches en oxygène. De par ce phénomène,



YIN HEXIAN

La région du delta du fleuve Jaune en Chine.

les estuaires et les deltas sont les régions les plus biologiquement productives de l'environnement marin. Ainsi, les habitats d'eau douce et d'eau saumâtre sont déterminés par les caractéristiques – quantitatives, qualitatives et temporelles – de l'eau douce arrivant dans le système et par l'influence saisonnière et quotidienne des marées, qui modifient la salinité, la température, la turbidité et le niveau énergétique. Les écosystèmes côtiers comprennent les mangroves, les forêts de plage (forêts maremme et forêts de plaines inondables) et les tourbières marécageuses, très riches en biodiversité. Ils fournissent des ressources précieuses, un habitat, de la nourriture et des moyens d'existence aux habitants de la forêt, offrant ainsi les moyens de préserver ces communautés. Ces zones revêtent donc à l'évidence une importance socioéconomique particulière dans les régions arides des pays en développement. Les phénomènes saisonniers de marée basse et de crue déterminent le mode de vie et les pratiques agricoles des communautés qui sont tributaires de ces écosystèmes.

### ***Les écosystèmes côtiers: une protection contre les inondations***

Les zones côtières de basse altitude des tropiques sont souvent inondées à la suite d'orages cycloniques, d'ondes de tempête, de tsunamis et de crues liées aux marées. De l'eau de mer pénètre dans le delta et peut inonder les terrains deltaïques de basse altitude. Or par leur présence physique et leur capacité de retenir l'eau et d'absorber l'énergie des orages côtiers, les écosystèmes côtiers protègent les terres intérieures situées le long des estuaires et des zones côtières contre les inondations. Par exemple, comme on l'a largement annoncé à la suite du tsunami qui a frappé l'océan Indien en 2004, de vastes étendues de mangrove peuvent réduire le nombre de victimes et les dommages provoqués par les tsunamis en absorbant le gros de l'impact et en dispersant l'énergie de la vague à mesure que cette dernière progresse ; à l'inverse, d'étroites bandes de mangrove, lorsque leurs arbres sont déracinés ou arrachés à mi-tronc et projetés vers l'intérieur des terres, peuvent provoquer d'énormes dégâts à la propriété et coûter beaucoup de vies. Bien que les effets protecteurs des mangroves et d'autres forêts côtières lors de tsunamis et d'autres catastrophes naturelles soient bien connus, les données actuelles ne permettent malheureusement pas de déterminer dans quelle mesure et dans quelles circonstances les mangroves et les forêts côtières assurent une atténuation efficaces de ces phénomènes<sup>47</sup>.

### ***La synergie des systèmes fluviaux et côtiers***

Comme indiqué plus haut, la morphodynamique et les écosystèmes côtiers sont influencés par le régime d'écoulement des systèmes fluviaux. De nombreux écosystèmes côtiers sont durement menacés par les activités de mise en valeur des ressources en eau (y compris les projets de gestion des crues) et par la montée du niveau de la mer que pourraient entraîner des changements climatiques. Ce «rabetage des côtes» restreint terriblement la superficie et la largeur des zones humides côtières, et affaiblit ainsi leur capacité de s'adapter<sup>48</sup>. Libérer ou stocker de trop grands volumes d'eau en amont du bassin, sans tenir compte des besoins environnementaux des processus morphodynamiques des deltas, des écosystèmes côtiers et des mangroves est une menace pour leur survie dans les zones deltaïques. La protection des écosystèmes côtiers exige une synergie entre la GIRE, la GIC (qui en fait partie intégrante) et la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) (voir l'encadré 2).

## Encadré 2. Gestion intégrée des zones côtières

Qu'est-ce que la gestion intégrée des zones côtières (GIZC)?

La GIZC est un processus de planification et de coordination qui traite de la gestion de l'aménagement et des ressources côtières et qui privilégie l'interface terre/eau.

### Objectifs

La GIZC a pour but premier de pourvoir à l'utilisation durable des ressources naturelles côtières et au maintien de la biodiversité. On sait qu'une planification écologique du développement concourt à long terme à la prospérité économique et sociale des communautés vivant sur la côte. La productivité de la pêche, l'essor du tourisme, l'entretien des mangroves et la protection contre les catastrophes naturelles comptent parmi les avantages qu'offre la GIZC.

### Principes

- La zone côtière est un système de ressources unique qui exige des modes de gestion et de planification particuliers;
- L'eau est le principal facteur d'intégration dans les systèmes de ressources côtières;
- L'utilisation des terres et l'utilisation de la mer doivent absolument être planifiées et gérées ensemble;
- Le bord de mer est le point focal des programmes de gestion des côtes;
- Le territoire couvert par la gestion des côtes devrait être évolutif et défini selon les enjeux;
- L'un des grands enjeux de la gestion des ressources côtières est la préservation des biens communs;
- La protection contre les catastrophes naturelles et la préservation des ressources devraient se combiner dans les programmes de GIZC;
- Les autorités d'un pays donné devraient participer à tous les niveaux à la planification et à la gestion côtières;
- Une conception du développement en synchronie avec la nature est particulièrement appropriée dans les zones côtières;
- Les programmes de gestion des zones côtières font intervenir des formes particulières d'évaluation des bénéfices socioéconomiques et de participation du public;
- La conservation en vue d'une utilisation durable des ressources est l'un des principaux objectifs de la GIZC;
- La gestion polyvalente est appropriée pour la plupart des systèmes de ressources côtières;
- La participation de plusieurs secteurs est essentielle à l'utilisation durable des ressources côtières;
- La gestion traditionnelle des ressources devrait être respectée;
- Les évaluations de l'impact sur l'environnement sont essentielles pour une gestion côtière efficace.

Source: Clark, J.R., *Integrated management of coastal zones*, Document technique sur les pêches N° 327, Rome, FAO, 1992.

## 4.6 En résumé...

- En stabilisant l'écoulement saisonnier des cours d'eau, les forêts concourent à déterminer les processus hydrologiques des bassins hydrographiques. Les très fortes crues ne sont toutefois pas influencées par la couverture forestière pour ce qui est du débit de pointe et du volume total de ruissellement.
- Les racines des arbres tendent à stabiliser les pentes. La perte de couverture forestière peut provoquer des glissements de terrain superficiels, qui apportent de grandes quantités de sédiments dans les chenaux fluviaux.
- Les étangs et les lacs contribuent largement à atténuer les pointes de crue et à retarder le phénomène grâce à leur capacité de stocker de l'eau, capacité qui dépend du type, du lieu, de la superficie, de la forme et des conditions antérieures du plan d'eau, ainsi que des caractéristiques hydrauliques de son exutoire.

- Les zones humides influencent considérablement le cycle hydrologique en stockant de l'eau, la transmettant aux aquifères ou réalimentant la nappe souterraine. Cependant, toutes les zones humides n'atténuent pas les crues avec la même efficacité.
- Plusieurs espèces vivant dans les couloirs fluviaux ont besoin de divers habitats, que leur fournit la mosaïque de terrains variable créée par les régimes naturels d'écoulement et de sédimentation du cours d'eau.
- Les inondations présentent le risque de diffuser des polluants et divers produits chimiques se trouvant sur la plaine inondable au-delà de celle-ci, menaçant ainsi la santé de l'homme et des écosystèmes.
- Les crues sont un élément important du régime d'écoulement de tout système fluvial. Elles constituent la principale source d'eau douce, de sédiments, de nutriments et de silice pour les estuaires. Ainsi, le régime d'écoulement des systèmes fluviaux influence les processus morphologiques et écologiques des zones côtières.
- Les systèmes fluviaux influencent les processus morphodynamiques des systèmes côtiers, des deltas et des écosystèmes côtiers. Ces derniers protègent des inondations les terres intérieures situées le long des estuaires et des zones côtières, par leur présence physique et leur capacité de retenir l'eau et d'absorber l'énergie des orages côtiers.

**Tableau 2. Écosystèmes et processus de crue**

	Cours supérieurs	Cours moyens	Cours inférieurs	Estuaires et deltas
Forêts	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Elles régulent les processus hydrologiques en augmentant l'infiltration et la transpiration.</li> <li>+ L'augmentation de l'infiltration réduit le ruissellement lors d'orages de faible intensité et de courte durée.</li> <li>+ La stabilisation du sol favorise la réduction des glissements de terrain, selon des facteurs géographiques, topographiques et climatiques.</li> <li>+ Elles régulent la température des eaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Les forêts situées le long d'un chenal fluvial peuvent augmenter la résistance des berges par leur effet fixateur.</li> <li>+ Elles rétrécissent et creusent le chenal fluvial, ce qui maintient le niveau d'eau pour un écoulement donné.</li> <li>+ Elles contribuent à réduire les glissements de terrain superficiels, et préviennent ainsi une haute concentration de sédiments dans les cours d'eau.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Elles retardent les ondes de crue de par la rugosité de la végétation de la plaine inondable.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crue dépend de leur superficie, de la structure du sol et des conditions antérieures du bassin.</li> <li>- L'effet régulateur de crue peut être négligeable lors de crues violentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La végétation du chenal fluvial peut augmenter la résistance à l'écoulement et faire monter le niveau des eaux.</li> <li>- Des troncs flottants obstruant les voies d'eau étroites peuvent encore réduire la capacité de débit, provoquant ainsi une montée du niveau des eaux en amont.</li> <li>- L'effet régulateur de crues peut être négligeable lors de crues violentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Des troncs flottants obstruant les voies d'eau étroites peuvent encore réduire la capacité de débit, provoquant ainsi une montée du niveau des eaux en amont.</li> </ul>	
Étangs et lacs	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ils diminuent le ruissellement de surface ou modèrent les pointes de crue en aval, d'abord en stockant les eaux de crue, puis en les libérant lentement, avec un certain décalage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ils diminuent le ruissellement de surface ou modèrent les pointes de crue en aval, d'abord en stockant les eaux de crue, puis en les libérant lentement, avec un certain décalage.</li> <li>+ Ils retiennent les sédiments.</li> <li>+ Ils alimentent les eaux souterraines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ils diminuent le ruissellement de surface ou modèrent les pointes de crue en aval, d'abord en stockant les eaux de crue, puis en les libérant lentement, avec un certain décalage.</li> <li>+ Ils retiennent les sédiments.</li> <li>+ Ils alimentent les eaux souterraines.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crue dépend du type, de l'emplacement, du volume de stockage, de la superficie et de la forme du plan d'eau, ainsi que du comportement hydraulique de son exutoire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crue dépend du type, de l'emplacement, du volume de stockage, de la superficie et de la forme du plan d'eau, ainsi que du comportement hydraulique de son exutoire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crue dépend du type, de l'emplacement, du volume de stockage, de la superficie et de la forme du plan d'eau, ainsi que du comportement hydraulique de son exutoire.</li> </ul>	
Zones humides		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Elles atténuent les pointes de crue en aval, d'abord en stockant les eaux de crue dans des dépressions, puis en les laissant s'écouler lentement avec un décalage.</li> <li>+ Elles retardent les ondes de crue de par la rugosité de la végétation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Elles atténuent les pointes de crue en aval, d'abord en stockant les eaux de crue dans des dépressions, puis en les laissant s'écouler lentement avec un décalage.</li> <li>+ Elles retardent les ondes de crue de par la rugosité de la végétation.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lorsqu'elles sont saturées, elles génèrent du ruissellement, accentuant ainsi les pointes de crue.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crue dépend du type, des conditions antérieures, de l'emplacement, de la taille de la dépression et de sa connectivité avec l'écoulement fluvial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crue dépend du type, des conditions antérieures, de l'emplacement, de la taille de la dépression et de sa connectivité avec l'écoulement fluvial.</li> </ul>	

Indique que la case ne doit pas obligatoirement être remplie.

+ Indique les effets positifs des écosystèmes sur les processus de crue.

- Indique les limites et les effets négatifs de l'écosystème en tant que fournisseur de services pour la gestion des crues.

Tableau 2 (suite)

	Cours supérieurs	Cours moyens	Cours inférieurs	Estuaires et deltas
Corridors fluviaux		<ul style="list-style-type: none"> <li>+ La capacité d'un cours d'eau de déborder sur sa plaine inondable contribue à modérer l'érosion des berges en aval.</li> <li>+ Ils modèrent et ralentissent les ondes de crue par stockage de l'eau et grâce à la rugosité de la végétation de la plaine inondable.</li> <li>+ Ils alimentent les eaux souterraines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ La capacité d'un cours d'eau de déborder sur sa plaine inondable contribue à modérer l'érosion des berges en aval.</li> <li>+ Ils modèrent et ralentissent les ondes de crue par stockage de l'eau et grâce à la rugosité de la végétation de la plaine inondable.</li> <li>+ Ils alimentent les eaux souterraines.</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ils permettent aux cours d'eau de changer de morphologie et de former des méandres, et permettent aux eaux de crue de déborder sur les plaines inondables, rendant difficile l'implantation de populations et réduisant les avantages des crues.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ils permettent aux cours d'eau de changer de morphologie et de former des méandres, et permettent aux eaux de crue de déborder sur les plaines inondables, rendant difficile l'implantation de populations et réduisant les avantages des crues.</li> </ul>	
Écosystèmes côtiers				<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Ils favorisent la stabilisation du littoral et servent de rempart contre l'action du vent, des vagues et des courants.</li> <li>+ Ils absorbent l'énergie des orages côtiers, des raz-de-marée et des orages cycloniques, protégeant ainsi les terres intérieures.</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'effet régulateur de crues dépend largement de leur taille, de leur emplacement et du type d'écosystème.</li> </ul>

## 5. INTERVENTIONS AUX FINS DE LA GESTION DES CRUES ET ÉCOSYSTÈMES

Une approche intégrée de la gestion des crues exige une combinaison optimale de mesures structurelles et de mesures non structurelles. Une mesure isolée permettra peut-être d'atteindre le but fixé, par exemple la protection d'une certaine zone, mais manquera de prendre en compte diverses priorités qui s'imposeraient à l'échelle du bassin fluvial. Il convient de tenir compte des risques résiduels qui s'associent aux solutions structurelles, risques qui peuvent être dus au caractère incertain des renseignements fournis pour l'analyse de l'option envisagée ou à la possibilité que les ouvrages structuraux de défense ou de protection connaissent des défaillances survenant en chaîne. Le présent chapitre traite donc de certaines des incidences que peuvent avoir sur l'environnement les ouvrages de protection contre les crues, tels que barrages, réservoirs d'écrêtement des crues, bassins de retenue, canaux de dérivation, digues et aménagements de chenalisation. Il expose les incidences écologiques de ces mesures, en particulier sur les régimes d'écoulement, les transports solides, la qualité de l'eau et la biodiversité; il explore également les options envisageables pour éviter, limiter ou atténuer ces incidences négatives. Au tableau 3 sont récapitulées les incidences des mesures structurelles de gestion des crues sur les divers processus à l'œuvre dans les corridors fluviaux, ainsi que les mesures correctives envisageables pour garantir une gestion des crues respectueuse de l'environnement. D'un point de vue écologique, il est important de rappeler l'incidence des mesures non structurelles sur l'environnement. Certaines mesures non structurelles de gestion des crues sont également examinées, en particulier dans la perspective de leur contribution à la protection de l'environnement.

### 5.1 Les barrages et les réservoirs

La gestion durable d'une rivière ou d'un fleuve en tant que ressource exige que l'être humain puisse trouver de l'eau lorsqu'il en a besoin, et que l'approvisionnement soit fiable. Parallèlement, il faut que suffisamment d'eau soit disponible pour assurer la survie des écosystèmes fluviaux. Les barrages construits en travers des vallées, des fleuves ou des rivières servent à retenir, réguler et détourner l'eau à diverses fins, notamment la production agricole, la production d'énergie hydraulique, la consommation humaine et industrielle et l'écrêtement des crues. La plupart des barrages remplissent des fonctions multiples. Le réservoir qui se crée en amont du barrage entraîne la submersion de vastes zones le long du cours d'eau. Les dispositifs de régulation placés dans le courant, tels que les déversoirs et les écluses, forment des zones d'inondation permanente dans le chenal principal, empêchant ainsi les crues d'assurer leurs fonctions écologiques normales.

#### ***Les barrages de protection contre les crues et leurs réservoirs***

Les barrages de protection contre les inondations emmagasinent tout ou partie des eaux de crue dans le réservoir, essentiellement pendant les pointes de crue, puis les libèrent lentement. En règle générale, ces barrages servent essentiellement à stocker une partie du volume de la crue afin de retarder et d'atténuer les pointes en aval. Le réservoir est

généralement destiné au stockage des crues en formation. Sur la base des prévisions hydrologiques, le réservoir est exploité de manière à réduire autant que possible les risques que des pointes de crue concomitantes dans divers affluents ne se répercutent simultanément dans le cours d'eau principal en aval. Les crues faibles à moyennes formées par le bassin versant sont intégralement captées par les réservoirs. Toutefois, les crues extrêmes ne sont que partiellement atténuées et leur survenance en aval ne peut être que retardée. Le degré d'atténuation est fonction de la capacité de stockage par rapport à l'ampleur de la crue. Le principal critère pour évaluer l'efficacité d'un réservoir en matière de protection contre les inondations est donc sa capacité de réduire les pointes de crue pendant les crues extrêmes<sup>49</sup>.

De nombreux barrages remplissent des fonctions multiples; or la gestion des crues peut n'être nécessaire que quelques jours ou semaines dans une année donnée. Comme les exigences de la gestion des crues (qui nécessite de disposer d'un espace de stockage dans le réservoir) et celles de la production d'énergie hydraulique et de l'irrigation (pour lesquelles il est souhaitable de maintenir la capacité utile remplie à son maximum) ne sont pas toujours compatibles, il est difficile d'exploiter un réservoir à des fins multiples. D'autant que, lors de l'affectation de l'eau aux différents usages prévus, il convient de ne pas négliger les flux écologiques<sup>50</sup>. Pour assurer ces derniers, on ne tiendra pas seulement compte du pourcentage du volume total d'eau à libérer, mais aussi de la nécessité de préserver un écoulement variable en aval du réservoir de retenue afin de reproduire autant que possible les conditions d'origine (voir l'encadré 3).

### Encadré 3. Flux écologiques

La notion de «flux écologiques» est simple: il s'agit de veiller à laisser suffisamment d'eau dans nos fleuves et nos rivières pour préserver les avantages économiques, sociaux et écologiques pertinents en aval.

Le flux écologique est le régime hydrologique ménagé dans un cours d'eau, une zone humide ou un littoral afin de préserver les écosystèmes et les avantages qu'ils apportent lorsque l'eau est utilisée à des fins concurrentes et que le flux est régulé. Il convient souvent de distinguer entre la quantité d'eau nécessaire pour maintenir l'écosystème dans des conditions proches des conditions d'origine et le volume qui pourra lui être affecté en fin de compte, à l'issue d'un processus d'évaluation écologique, social et économique. Ce dernier, qu'on appelle le «flux écologique», maintient l'écosystème dans des conditions moins favorables que les conditions d'origine.

Pour déterminer les besoins en eau, il convient:

- D'opérer un choix sociétal fondé sur des données objectives pour l'affectation de l'eau;
- De procéder à l'évaluation des flux écologiques, dans le cadre de l'aménagement du bassin hydrographique;
- De mettre en œuvre ces flux écologiques par une gestion active ou restrictive des écoulements.

Il faut également être conscient qu'il n'existe pas une méthode, approche ou cadre optimal unique pour déterminer et mettre en œuvre des flux écologiques à l'aide d'infrastructures nouvelles ou existantes. Les nouveaux barrages offrent des possibilités d'en mettre en œuvre. Il peut alors être nécessaire de définir une politique et un cadre juridique à cet effet, ainsi que de disposer de moyens suffisants pour financer les mesures incitatives ou dissuasives pertinentes.

Source: Dyson, M., Bergkamp, G. et Scanlon, J., *Flow—The Essentials of Environmental Flows*, UICN—L'Union mondiale pour la nature, Gland (Suisse) et Cambridge (Royaume-Uni), 2003.

## **La qualité de l'eau**

Le stockage de l'eau dans les réservoirs en altère la qualité. Les grands réservoirs de retenue subissent généralement un phénomène de stratification qui rend l'eau du fond beaucoup plus fraîche. L'eau de ces réservoirs libérée par des exutoires ménagés près du fond peut entraîner en aval un rafraîchissement considérable de la température, auquel les poissons indigènes risquent de ne pas être adaptés<sup>51</sup>. L'impact sur les invertébrés aquatiques peut même être plus sensible. Par ailleurs, des flux relativement constants peuvent créer une uniformisation des températures qui affectera les espèces tributaires des variations thermiques pour leur reproduction ou leur maturation. À l'inverse, lorsque les cours d'eau sont presque asséchés par suite d'extraction à des fins d'irrigation ou pendant les périodes sans production d'énergie, les cours d'eau de débit anormalement bas se réchauffent plus facilement en été, ayant de ce fait une plus faible teneur en oxygène, tandis qu'ils peuvent devenir trop froids, voire geler en hiver.

Les processus anaérobiques (produisant du méthane) et les populations algales prédominent dans les réservoirs, lorsque l'eau et les sédiments contiennent trop de nutriments (matières organiques, azote et phosphore). Ces réservoirs peuvent subir le phénomène d'eutrophisation (qui se traduit par une prolifération des algues et une diminution de la teneur en oxygène de l'eau), qui est favorisé par l'absence de brassage et de transfert d'oxygène propres aux eaux stagnantes. Dans les climats chauds, les réservoirs à forte eutrophisation sont exposés à l'efflorescence d'algues toxiques, à la prolifération de plantes aquatiques telles que les jacinthes d'eau, et à la production de méthane.

## **Les sédiments et les matières organiques**

Les barrages perturbent également l'écoulement naturel des sédiments et des matières organiques. Du fait du ralentissement du débit dans le réservoir, les transports solides diminuent, entraînant une raréfaction des sédiments en suspension et des matières organiques qui sont sources de nutriments essentiels pour les réseaux alimentaires en aval, et qui sont donc perdus pour l'écosystème en aval. L'essentiel du limon organique est retenu dans le réservoir au lieu de venir fertiliser la plaine inondable plus bas dans la vallée et les écosystèmes estuariens et côtiers. La suppression ou l'atténuation des épisodes de fortes crues modifie la structure et le fonctionnement des écosystèmes de la plaine inondable en aval. Enfin, comme la rivière ne sort pas de son lit pendant de longues périodes, la connectivité latérale entre le chenal fluvial et les zones humides qui s'étendent de part et d'autre se perd.

Divers facteurs concourent à diminuer les ressources disponibles pour la chaîne alimentaire en aval. L'eau relâchée du réservoir charrie du plancton et des algues, mais elle manque de matières organiques telles que le bois et les feuilles, qui sont retenus dans le réservoir. Le plus souvent, l'eau en aval d'un réservoir a une turbidité réduite, ce qui peut tendre à y stimuler la productivité primaire. Immédiatement au-dessous des barrages, des algues risquent d'apparaître dans le chenal en raison de la charge en nutriments des rejets du réservoir. L'affaiblissement du débit des crues en aval des barrages permet à de nouvelles espèces végétales d'envahir les seuils sableux et les îlots situés dans le cours d'eau, dont la capacité de transport diminue de ce fait en période de hautes eaux.



Le barrage de Kerr sur la Flathead au Montana (États-Unis).

L'eau appauvrie en sédiments que relâchent les barrages peut éroder les matériaux plus fins du chenal récepteur, entraînant ainsi l'affouillement du lit et des berges du cours d'eau en aval, jusqu'à ce que l'équilibre du charriage de fond soit rétabli. Elle peut également dégrader le lit du cours d'eau, appauvrissant ainsi les habitats à disposition de nombreuses espèces aquatiques qui vivent dans les espaces interstitiels ou les utilisent. Sans apports nouveaux de sédiments, les bancs de sable et de graviers situés le long ou à l'intérieur des cours d'eau finissent par disparaître avec les habitats et les espèces qu'ils font vivre. En outre, à mesure que le chenal se creuse, la nappe phréatique riveraine sous-jacente baisse également, affectant par là la composition des communautés végétales dans le corridor fluvial.

### ***La connectivité longitudinale***

Les espèces vivant dans les fleuves et les rivières suivent différents schémas migratoires. Les poissons anadromes, comme le saumon, remontent le courant pour frayer et les jeunes le redescendent vers la mer. Les espèces catadromes, comme les anguilles, migrent quant à elles en aval pour frayer tandis que leurs petits remontent le courant. Les barrages, qui peuvent empêcher ou gêner le passage des poissons, des invertébrés et de certains animaux terrestres, rompent la connectivité longitudinale le long du corridor fluvial. Les populations de poissons indigènes souffrent particulièrement de la disparition des espèces fluviales tributaires du régime d'écoulement naturel, en aval des barrages.

### ***L'exploitation des réservoirs***

Une modification des moments de survenue, de la fréquence et de l'ampleur des crues naturelles peut nuire aux habitats terrestres comme aquatiques. Leurs effets sur les milieux physiques et la biodiversité sont mal connus. Cependant, lors de la conception des barrages et de l'exploitation des réservoirs, il convient d'anticiper certaines incidences qu'ils peuvent avoir sur différents processus naturels à l'œuvre dans le cours d'eau concerné. Pour des raisons écologiques, les

#### Encadré 4. Directives pour une gestion des lâchers d'eau

Une approche stratégique des phases de planification, de conception et de mise en œuvre d'un projet se fonde sur les dix étapes suivantes. L'ordre dans lequel elles interviennent peut varier en fonction de l'environnement immédiat du barrage, du réservoir, de la plaine d'inondation située en aval et du delta concerné.

##### Planification

Étape 1: Définir les objectifs globaux des lâchers d'eau.

Étape 2: Évaluer la faisabilité générale.

##### Conception

Étape 3: S'assurer la participation de toutes les parties prenantes et des experts techniques nécessaires.

Étape 4: Établir les relations entre les crues et les écosystèmes.

Étape 5: Définir les options de lâchers d'eau.

Étape 6: Évaluer l'impact des options de lâchers d'eau.

Étape 7: Déterminer quelle est la meilleure option de lâchers d'eau.

##### Mise en œuvre

Étape 8: Concevoir et construire les ouvrages de génie civil.

Étape 9: Procéder aux lâchers d'eau.

Étape 10: Suivre, évaluer et adapter le programme de lâchers d'eau.

*Source:* Brochure intitulée «Managed flood releases; Reservoir operation to restore and maintain downstream wetland ecosystems and their dependent livelihoods», Department for International Development (DFID), Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford (Royaume-Uni).

lâchers d'eau entraînant des débits de pointe devraient de préférence être en phase avec les cycles biologiques ou coïncider dans le temps avec les périodes habituelles de hautes eaux, pour respecter le régime auquel le biote est adapté. Une gestion intégrée des lâchers d'eau peut contribuer au maintien de ces processus naturels, à la survie des écosystèmes des zones humides de la plaine inondable situées en aval et à la préservation des moyens d'existence qui en découlent. Une utilisation de l'eau stockée dans un réservoir adaptée aux exigences de l'écosystème d'un corridor fluvial devra tenir compte des relations écologiques entre productivité et biodiversité dans le bassin versant et dans la plaine inondable. Or comprendre et modéliser ces relations est sans doute l'une des tâches les plus complexes qu'exige l'exploitation des réservoirs. L'encadré 4 présente les diverses étapes de la planification, de la conception et de la mise en œuvre d'un projet de gestion des lâchers d'eau.

Les décisions relatives à l'exploitation du réservoir, la définition de la durée des lâchers d'eau et la forme de l'hydrogramme de crue artificielle devraient s'inscrire dans la conception du projet et se fonder sur les besoins écologiques, comme indiqué plus haut. Il est également important de préserver ou de rétablir le régime thermique saisonnier naturel de l'eau rejetée au moyen de prises d'eau multiples ou sélectives en profondeur, d'éviter l'accumulation de sédiments dans le réservoir (qui peut avoir pour effet d'accélérer la dégradation du lit du cours d'eau en aval du barrage) et de permettre le passage des poissons sur les déversoirs et les barrages, dans les deux sens.

## 5.2 Les ouvrages d'endiguement

Construits le plus souvent en terre, les ouvrages d'endiguement (également appelés levées ou digues dans certains pays) sont utilisés pour confiner les flux dans une zone donnée du chenal fluvial, ou pour empêcher les inondations dues aux vagues provenant de la mer ou aux marées. Les digues devraient résister à la pression hydrostatique des crues, à l'érosion, aux défaillances de canalisation et aux infiltrations. On leur associe, en outre, des ouvrages de protection fluviale, tels que épis, étais ou revêtements, pour renforcer leurs effets. Depuis les temps anciens, les digues jouent un rôle déterminant dans la protection des populations vivant dans les plaines inondables contre les crues fréquentes et restent l'option la plus prisée de gestion des crues.

### *La connectivité latérale*

En contenant les flux à l'intérieur des ouvrages d'endiguement qui empêchent l'inondation saisonnière de la plaine inondable, on réduit le périmètre de la zone inondable. La connectivité hydrologique latérale le long du corridor fluvial en est perturbée, ce qui entraîne des effets divers sur l'écologie du chenal et de sa plaine inondable. En outre, les digues trop proches du chenal principal diminuent l'hétérogénéité naturelle de la plaine inondable et entravent la nouvelle formation de chenaux ou zones humides dans la zone latérale. Cet appauvrissement de la diversité des habitats peut avoir des incidences considérables sur les populations de poissons, car de nombreuses eaux dormantes qui étaient périodiquement reliées au cours d'eau principal pendant les crues ne sont plus alimentées par les flux saisonniers. Or ces eaux dormantes sont parfois des zones de reproduction et d'alimentation essentielles pour les poissons (voir fig. 7, p. 23).

Le manque d'inondations de la plaine inondable réduit les pertes par transmission et la réalimentation des nappes aquifères, ce qui nuit gravement aux ressources en eaux souterraines et aux avantages écologiques et économiques qui leur sont associés, au détriment des échanges entre l'écoulement de base et les eaux souterraines et des habitats riverains. L'eau des crues qui se répand sur les plaines inondables augmente la fertilité des sols, car elle dépose du limon, assure les échanges de nutriments et de carbone entre la plaine inondable et le chenal, crée de nouveaux habitats et rétablit les refuges et les frayères utilisés par les espèces fluviales. L'endiguement diminue la fertilité de la plaine inondable, car les sédiments et les nutriments qu'ils contiennent ne peuvent plus se déposer, ni être échangés.

Faute de pouvoir prévenir toute inondation, les digues peuvent être conçues de manière à assurer un niveau de protection modéré. Le degré de protection est généralement dicté par des considérations économiques. Par exemple, il peut être utile de protéger les terres agricoles contre des crues décennales, sans entraver la montée des eaux dans l'intervalle, ce qui permet de ne pas se priver des avantages naturels des inondations (comme les apports de sédiments riches en nutriments et en matières organiques). Les digues destinées à protéger des zones urbaines ou industrielles doivent être associées à des canaux de dérivation ou de diversion ou à des réservoirs d'écêtement des crues ou des bassins de retenue. Avant de décider de la conception d'un ouvrage d'endiguement, son impact sur l'environnement doit être dûment pris en considération.



ZHANG ZAIHOU

Digues sur le fleuve Jaune en Chine.

### ***L'espacement entre les digues***

Dans le cadre des études sur la répartition de nouvelles digues, il convient de garder à l'esprit l'impact indésirable qu'elles risquent d'avoir. Il y a lieu, notamment, de s'efforcer de réaliser les ouvrages d'endiguement aussi loin que possible du chenal principal, au-delà des plans d'eau de la plaine inondable tels que les étangs, les zones humides ou les bras morts.

En règle générale, sous l'effet des ouvrages d'endiguement, le cours d'eau se présente comme un chenal unique de section transversale trapézoïdale à fortes pentes, alors qu'à l'état naturel il prend le plus souvent la forme de chenaux multiples à pentes douces, bordés de plaines inondables relativement planes. En réduisant la zone inondable et en maintenant une part plus importante de l'eau dans le chenal principal, dont la rugosité est atténuée, l'endiguement tend à réduire le temps de parcours et à augmenter les pointes de crue en aval. Le rapport profondeur/largeur élevé des chenaux endigués les rend intrinsèquement instables pendant les périodes de hautes eaux et exige ainsi un entretien constant.

En supprimant les ouvrages d'endiguement ou en les construisant en retrait dans les zones des plaines inondables peu utilisées par les aménagements humains, il est possible de baisser les niveaux d'eau et de ralentir la vitesse d'écoulement, ce qui a pour effet d'augmenter la masse d'eau stockée dans le chenal et de réduire les pointes de crue en aval. Lorsque les plaines inondables se caractérisent par une exploitation extensive pour des activités économiques, cette option peut ne pas être viable. Dans ce cas, il est possible de rétablir une partie des interactions entre le cours d'eau et la plaine inondable en prévoyant de construire les ouvrages d'endiguement à une certaine distance du chenal principal, de manière à restaurer partiellement la connexion latérale avec les zones humides et les nappes d'eaux dormantes, ainsi que la mobilité du cours d'eau. On ralentit ainsi le courant, réduit le niveau critique de crue et rétablit en partie les fonctions naturelles de la plaine inondable, en particulier le stockage temporaire des crues. Un corridor fluvial est un système d'une extrême complexité qu'il est impossible de reconstituer. En aucun cas, il ne

conviendrait de décider de supprimer l'endiguement sans tenir compte de nombreux facteurs, parmi lesquels la planification de l'occupation des sols. Une démarche pleinement intégrée exige nécessairement de prendre en compte l'ampleur, la fréquence et toutes les autres caractéristiques des crues, ainsi que la situation géographique et l'environnement socioéconomique de la région.

### 5.3 Les réservoirs d'écêtement de crues et les bassins de retenue

Les réservoirs d'écêtement de crues et les bassins de retenue sont des dépressions naturelles ou des espaces excavés pouvant servir à stocker temporairement l'eau des crues afin de réduire leurs pointes en aval. Un réservoir d'écêtement est semblable à un bassin de retenue à la différence que ce dernier ne permet pas de moduler l'évacuation de l'eau. Les réservoirs d'écêtement retiennent l'eau temporairement avant de la relâcher lentement par un chenal d'écoulement naturel ou artificiel, tandis que l'eau collectée dans les bassins de retenue s'infiltre progressivement dans le sol ou s'évapore. Le type et la taille de ces bassins et réservoirs varient en fonction de la topographie. Ils peuvent être mis en œuvre à la phase voulue de l'onde de crue, de manière à en réduire les pointes en aval. Le plus souvent, les dépressions naturelles sont également utilisées à des fins agricoles.

Les eaux de crue stockées temporairement regagnent une zone de drainage naturelle ou le cours d'eau en quelques jours, après un temps qui est fonction de la taille du bassin, de la capacité d'évacuation des exutoires et de l'espace dont on estime devoir disposer dans la perspective d'ondes de crue ultérieures. Elles restent cependant parfois captives pendant plusieurs jours, voire des mois entiers dans les bassins de retenue, car elles ne s'en libèrent que par infiltration ou par évaporation. Ces bassins n'altèrent généralement pas l'équilibre sédimentaire ou organique du cours d'eau. Leur impact sur le régime d'écoulement naturel de celui-ci dépend des caractéristiques de l'eau de la source d'alimentation et du type d'exploitation. Lorsque l'eau n'est retenue que quelques jours, sa qualité ne risque guère d'être sensiblement modifiée. En revanche, si elle est stockée longtemps, elle est susceptible de connaître les mêmes changements que les eaux des étangs, notamment une élévation de la température, une baisse du taux d'oxygène dissous et une eutrophisation.

Ces bassins sont parfois construits afin de faire office de zones humides artificielles ou d'étangs permanents, contribuant ainsi à créer des habitats pour les espèces aquatiques et semi-aquatiques. Aux fins d'une bonne gestion écologique des crues, une option intéressante est d'aménager des gravières qui se trouvent sur la plaine inondable ou à proximité, en particulier près des grandes villes, pour les transformer en zones humides ou en étangs, qui fournissent des habitats à la flore et à la faune sauvages et qui peuvent également être mises à profit pour des activités récréatives. De tels aménagements, s'ils sont conçus et gérés dans cette optique, peuvent aussi concourir à sensibiliser la population locale aux risques associés aux crues ainsi qu'à la biodiversité.

Dans de nombreux pays de mousson asiatiques, les rizières conçues de manière adaptée peuvent être utilisées pour la retenue des eaux de crue, apportant ainsi des avantages externes en sus de leur fonction fondamentale de production. Elles permettent en particulier d'atténuer les crues, entre autres mesures visant à préserver les terres naturelles, ainsi qu'à restaurer les ressources en eau<sup>52</sup>.

## 5.4 Les canaux de dérivation

Les canaux de dérivation dévient l'eau d'une rivière ou d'un fleuve à partir d'un point situé en amont d'une zone qui a besoin d'être protégée. Lorsque les eaux détournées sont ensuite rejetées dans le même cours d'eau, on parle de canal de dérivation temporaire et, lorsqu'elles sont déviées vers un autre canal naturel proche, dit chenal de drainage, on parle de canal de dérivation définitive (voir fig. 9). Les eaux qui s'écoulent dans ces canaux sont régulées par des vannes. Leur fonctionnement dépend principalement de leur emplacement, de leur longueur, de leur capacité de charriage et des caractéristiques de leur aménée d'eau.

Si un canal de dérivation temporaire atténue l'ampleur de la crue dans le tronçon court-circuité, il peut la renforcer en aval du fait des eaux de crue qui s'y précipitent. Un canal de dérivation définitive peut augmenter les risques de crue dans le chenal de drainage récepteur en aval, si la masse d'eau détournée est plus importante que la capacité de débit. En associant au dispositif de dérivation la construction de réservoirs d'écrêtement ou de bassins de retenue, il est possible d'éviter ces situations.

L'impact de la dérivation – temporaire ou définitive – sur l'équilibre sédimentaire est fonction de la charge de fond que la prise d'eau laisse passer du cours d'eau dans le canal de dérivation. Si l'eau s'écoule dans le canal de dérivation temporaire en laissant dans le tronçon court-circuité toute la charge de fond, la concentration accrue de sédiments dans ce tronçon peut entraîner un dépôt et, par là, un alluvionnement. Conjugué à l'avancée de la végétation des berges, qu'il favorise, ce phénomène risque de réduire la débitance dans le tronçon court-circuité. Cela peut être évité si le canal de dérivation est conçu de manière à laisser passer suffisamment de charge de fond. Le tronçon court-circuité atteint alors un nouvel équilibre dynamique, que définissent son nouveau régime d'écoulement et son nouveau régime sédimentaire, et demeure écologiquement sain. Il en va de même pour un canal de dérivation définitive lorsqu'un nouvel équilibre dynamique s'est instauré dans le chenal de drainage.

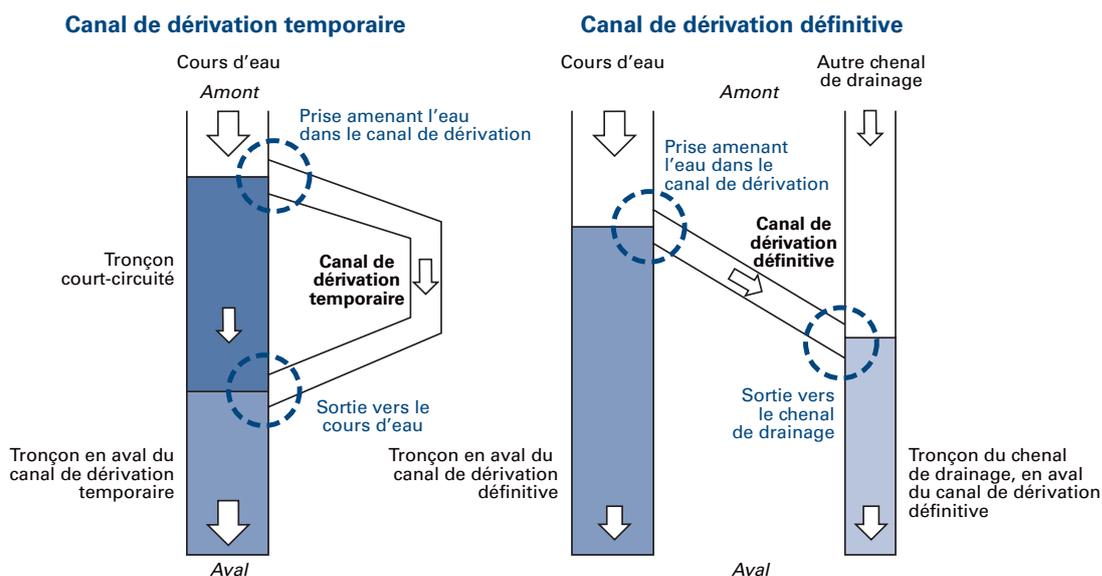


Figure 9. Canaux de dérivation.

Toutefois, si un canal de dérivation temporaire dévie le courant en tout temps, il exercera ses effets pendant les périodes de basses eaux également, au détriment des habitats et de la végétation dans le tronçon court-circuité. Du fait de la diminution du débit dans le cours principal, la végétation riveraine risque d’envahir le chenal et d’en changer les caractéristiques physiques. Le régime d’écoulement modifié, souvent favorable aux espèces étrangères, compromet la survie des espèces indigènes. Cependant, un canal de dérivation n’a qu’un impact négligeable sur la qualité de l’eau de la rivière ou du fleuve, ou de l’eau de crue détournée.

## 5.5 La chenalisation

Les projets de chenalisation visent à augmenter le tirant d’eau pour la navigation ou à réduire les inondations par augmentation de la capacité de transport totale, réduction du frottement et confinement de l’écoulement dans un chenal unique. Pour ce faire, le chenal peut être redressé, élargi, recreusé, réaligné ou doté d’un revêtement. Les grosses pièces de bois encastrées dans le fond du cours d’eau créent par endroits des retenues qui entraînent une accumulation de sédiments et forment des bancs sur lesquels poussera ultérieurement de la végétation. L’extraction de ces matériaux, qui modifie considérablement le régime d’écoulement et l’agencement des sédiments, est une technique de chenalisation.

La chenalisation simplifie la géométrie du chenal, qu’elle redresse, uniformise et isole des éléments des chenaux latéraux, ainsi que l’environnement de la plaine inondable. Par la chenalisation, non seulement les cours d’eau sont redressés, ce qui accentue leur pente, mais



SCHINICHI YOSHIMURA

Chenal remis en état de l’Itach au Japon.

leur rugosité est également atténuée, ce qui accélère l'écoulement de l'eau et accroît l'érosion. Le résultat direct est une atténuation des crues dans une zone au prix de leur aggravation dans les terres situées plus en aval.

La chenalisation nuit à l'environnement. L'avantage que représente l'augmentation du volume d'eau transporté est souvent compensé par les dommages écologiques liés à l'accélération du débit et à la diminution de la diversité de l'habitat. La chenalisation supprime les saillies et les alternances de seuils et de mouilles dont certains organismes aquatiques ont besoin à différentes étapes de leur cycle de vie. Les modifications apportées dans le courant, comme l'uniformisation de la section transversale et le revêtement, s'opèrent au détriment des habitats dont ont besoin les organismes qui vivent dans ou sur les sédiments des cours d'eau. La consolidation des berges d'un cours d'eau par des revêtements de pierres ou de béton peut entraîner une intensification de l'érosion du lit pendant les périodes de hautes eaux. Pour atténuer en partie ces inconvénients, il importe d'user de techniques telles que les revêtements mous, la bio-ingénierie des sols, les pavages poreux ou les baissières herbeuses. Couvrir et étayer les berges d'un cours d'eau sans recourir au béton (par la mise en œuvre de goulottes, entrelacs de protection, par utilisation de géotextiles, etc.) peut préserver partiellement certaines fonctions de l'écosystème fluvial.

## **5.6 Les mesures non structurelles**

Les mesures structurelles ne permettent jamais d'exclure tout risque d'inondation. Elles risquent cependant, par leur présence physique, de faire naître à tort un sentiment de sécurité et, ainsi, encourager une utilisation inadaptée des sols dans les zones protégées. Les mesures non structurelles présentent l'avantage de limiter non seulement les conséquences catastrophiques des risques résiduels, mais aussi les atteintes à l'environnement. Une étude exhaustive de ces mesures n'entre pas dans le champ de cette publication. La présente section traite donc de certaines des mesures non structurelles visant à réduire les incidences négatives sur l'environnement et de leurs contributions à la protection du milieu.

### ***La prévision et l'annonce de crues***

De toutes les mesures non structurelles, la prévision et l'annonce de crues, pratiquées depuis la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, sont les plus largement acceptées; elles complètent presque toutes les autres mesures, structurelles ou non. Les prévisions de crues exigent d'évaluer les risques qu'une crue entraîne des dommages ou la perte de vies humaines, ainsi que son ampleur (généralement exprimée par son niveau maximal à un lieu donné) et sa durée. Les prévisions doivent être opérées et diffusées suffisamment tôt pour que des mesures de prévention et d'urgence puissent être prises par les autorités compétentes. Celles-ci peuvent réagir utilement en tirant partie des barrages, en manœuvrant les vannes des différents ouvrages de gestion des crues et en procédant à des lâchers d'eau anticipés pour augmenter la capacité de stockage des réservoirs, etc. L'efficacité d'un système de prévision et d'annonce de crues se mesure autant à la précision, la rapidité et la portée des informations diffusées qu'à la capacité d'intervention des agences qui les reçoivent et à l'adéquation du comportement qu'elles adoptent ensuite. La prévision du débit des eaux arrivant dans les réservoirs, bassins de retenue, canaux de dérivation, etc., joue un rôle déterminant dans l'atténuation des pointes de crue. Il importe d'établir

des directives pour l'exploitation des réservoirs prévoyant différents scénarios et d'effectuer des lâchers d'eau régulés en fonction de ces prévisions.

### ***La réglementation de l'occupation des sols***

La gestion des bassins versants se traduit par des interventions influant sur les processus hydrologiques, telles que la plantation de végétation et de cultures adaptées pour protéger les sols, la réglementation de l'occupation des sols, le reboisement, les aménagements forestiers et la mise en œuvre de cultures itinérantes, associées à des ouvrages de faible envergure, comme des barrages de retenue, des tranchées et des diguettes suivant les courbes de niveau. Cependant, la portée de ce type de mesures est limitée aux crues relativement modestes et leur efficacité est d'autant plus réduite que le bassin hydrographique est étendu. L'apport majeur de la gestion des bassins versants est la réduction de la charge en limon responsable de l'alluvionnement des cours d'eau dans la nature.

La réglementation de l'occupation des sols est un facteur important de la gestion des bassins versants et de la réduction des risques dus aux inondations. Le changement d'affectation des terres, notamment du fait de l'urbanisation, a une forte incidence sur l'ampleur et la structure temporelle des crues dans les bassins de taille réduite; il tend à augmenter les débits de pointe du fait de l'infiltration réduite et diminue le temps de concentration et la durée des crues. Réglementer l'occupation des sols en réglementant la construction peut contribuer à prévenir les méfaits de l'urbanisation ou à limiter les aménagements de manière à ne pas perturber les réactions hydrologiques propres au bassin.

La plaine inondable, qui fait partie intégrante du corridor fluvial, offre de multiples possibilités d'activités économiques. Les effets dommageables des inondations peuvent être limités par des dispositions réglementaires et, parfois, par l'interdiction de certaines activités et de nouveaux aménagements dans les zones qui présentent un risque élevé de crues<sup>53</sup>. Ces dispositions peuvent prendre la forme de règles d'occupation des sols et de répartition parcellaire, de codes de construction, de politiques d'aménagement, d'un partage des coûts par des ajustements fiscaux, etc. Il convient en particulier de réglementer ainsi l'implantation des industries qui produisent ou stockent des produits chimiques dangereux, des stations d'épuration des eaux usées et de toute activité susceptible de disperser des polluants par la voie des inondations, telles que l'entreposage de produits chimiques toxiques. Les cartes de risque d'inondation constituent un outil essentiel pour l'établissement des dispositions régissant l'occupation des sols.

Gérer des plaines inondables avec discipline et dans le respect de l'environnement exige de définir un cadre juridique, en particulier lorsqu'il faut faire respecter cette discipline. Dans les plaines à forte densité de population, dont la plupart des habitants ne possèdent pas de terre, les solutions équitables suscitent systématiquement des oppositions. Dans ces situations, les autorités déploient parfois des efforts considérables pour lutter contre les empiètements sur les propriétés. C'est là qu'un régime juridique réactif axé sur des enjeux tant écologiques qu'économiques s'avère utile. L'assurance contre les inondations, une autre mesure essentiellement non structurelle, s'associe très bien avec un programme de zonage de la plaine inondable.

## ***La prévention des inondations***

Lorsque les aménagements existants occupent une superficie importante, il est possible d'envisager d'autres stratégies comme la prévention des inondations. La prévention des inondations, qui combine des mesures non structurelles à long terme, des mesures structurelles de faible envergure et des interventions d'urgence, est importante non seulement pour réduire les dommages causés par les inondations, mais aussi pour éviter les conséquences dangereuses pour l'environnement, telle la dispersion des polluants. Elle comprend la mise en place de dispositifs d'évacuation rapide des eaux, le nettoyage des chenaux de drainage primaires et secondaires et les travaux de désengorgement de l'ensemble des voies d'évacuation transversales avant le début de la saison des crues. Les mesures de prévention des inondations comprennent le retrait des marchandises, matériels et produits chimiques industriels, agricoles et domestiques dangereux hors de la zone inondable et leur mise à l'abri des eaux par la construction de remblais ou de petits ouvrages d'endiguement. Les réseaux existants d'approvisionnement en eau potable sont susceptibles d'être contaminés. Les infrastructures d'évacuation et de traitement des eaux usées situées dans la plaine inondable peuvent causer des nuisances, propager des maladies et des polluants, menaçant ainsi la santé de la population. Des dispositions devraient être prises pour assurer leur protection.

## ***La planification préalable, les interventions d'urgence et les mesures de redressement***

La prévention des dommages causés par les crues passe avant tout par la planification préalable et les interventions en cas de situations d'urgence. Il convient de sensibiliser durablement la communauté exposée aux inondations et de lui faire clairement comprendre qu'il relève de sa responsabilité d'adopter une attitude appropriée dans les situations d'urgence. C'est là une condition essentielle pour organiser l'évacuation coordonnée de la zone touchée et assurer la sécurité sanitaire et l'hygiène dans les zones inondées. Les renseignements concernant les voies d'évacuation, les abris d'urgence prévus et d'autres mesures devraient avoir été communiqués à l'ensemble des intéressés bien à l'avance. Les populations exposées aux inondations devraient être dissuadées de stocker des produits chimiques dangereux pendant la saison des crues, être informées des polluants susceptibles de se trouver dans les eaux de crues et renseignées sur la manière d'éviter leurs effets néfastes. Les mesures de prévention des dommages qui sont prises lors des crues, telles que le détournement des eaux des zones sensibles, relèvent de ce qu'on appelle généralement la protection ou la lutte contre les inondations. Lorsque les ouvrages de protection et d'autres types de dispositions s'avèrent inefficaces ou insuffisants pour surmonter complètement les effets des crues, les mesures d'urgence doivent être prises pour en atténuer les répercussions sur la société et l'environnement.

Après une inondation, les opérations de nettoyage s'effectuent souvent dans l'urgence, sans qu'il soit accordé suffisamment d'attention à l'élimination des ordures et des débris. Si cet aspect du nettoyage n'a pas été planifié à l'avance, ceux-ci sont susceptibles d'aboutir dans les chenaux de drainage, les étangs, les zones humides ou les cours d'eau, portant ainsi atteinte aux écosystèmes naturels. Le rétablissement de l'approvisionnement en eau potable et la remise en état des puits tubulaires, des réseaux d'assainissement et des infrastructures sanitaires devraient être la priorité. La dispersion des produits chimiques pendant les crues

peut avoir des conséquences désastreuses pour les écosystèmes terrestres et exige un nettoyage rapide. Il convient d'accorder une attention particulière à ces opérations de nettoyage durant la phase qui suit le redressement, afin d'éviter des effets néfastes à long terme.

### ***S'accommoder des crues***

«S'accommoder des crues» – une pratique ancestrale dans de nombreuses régions d'Asie – se fonde sur le principe suivant: faute de pouvoir complètement éliminer les inondations, il est possible d'atténuer leurs méfaits en comprenant les risques qui s'y associent, en cherchant à modifier le processus même de génération du risque à l'échelle holistique, et en limitant autant que possible les implantations dans les zones exposées aux inondations. Cette stratégie, associée à des mesures non structurelles comme la planification de l'occupation des sols, la prévision et l'annonce de crues, la planification préalable, peut contribuer à maintenir à un faible niveau les dommages pour l'environnement. «S'accommoder des crues» plutôt que de les combattre est l'approche la plus efficace pour sauvegarder les écosystèmes.

## **5.7 En résumé ...**

Pour atténuer les atteintes à l'environnement résultant des mesures structurelles de gestion des crues et maintenir ainsi la santé des écosystèmes fluviaux, il convient de prendre en compte les points suivants:

- De nombreuses mesures de gestion des crues peuvent avoir un impact hydrologique, morphologique et environnemental appréciable, et s'avérer ainsi lourdes de conséquences pour le développement socioéconomique.
- Les mesures non structurelles de gestion des crues telles que la régulation de l'occupation des sols, la prévision et l'annonce de crues, la prévention et la planification préalable en vue des catastrophes, les mécanismes d'intervention d'urgence, qui ont des effets limités sur l'environnement, devraient être activement envisagées comme des options valables, à titre tant de mesures indépendantes que complémentaires.
- La construction des barrages vise principalement à répondre à la demande en eau de différentes activités économiques, telles que la production d'énergie hydraulique, l'irrigation et la fourniture d'eau potable. La gestion des crues en est généralement une fonction de nature accessoire.
- Il convient, lors de l'affectation de l'eau à ses divers usages, de tenir compte de la nécessité de conserver des «flux environnementaux». La conception et l'exploitation des barrages (existants ou prévus) devraient être dûment adaptées pour réduire au minimum leurs impacts sur l'environnement.
- La santé écologique d'un corridor fluvial ne dépend pas uniquement de la qualité de l'eau ou du pourcentage du volume d'eau total que représentent les écoulements, mais aussi de la variabilité naturelle du débit et de la répartition dans le temps des écoulements tout au long de l'année.
- Une exploitation des réservoirs prévoyant une gestion des lâchers d'eau peut contribuer à maintenir les conditions écologiques à l'état presque naturel. De même, une exploitation des canaux de dérivation, des réservoirs d'écêtement des crues et des bassins de retenue

respectueuse de l'environnement peut contribuer au maintien de la santé environnementale des écosystèmes riverains.

- Lors de la conception des ouvrages d'endiguement, les effets de la rupture de la connectivité latérale devraient être réduits au minimum grâce à un espacement suffisant entre les digues et à une évaluation adéquate et équilibrée des conséquences économiques et environnementales. Lorsque cela est possible, il convient, après une étude approfondie, de supprimer ou de reculer les ouvrages d'endiguement.
- Dans la mesure du possible, il convient de renoncer à la chenalisation en tant qu'option pour atténuer les crues. Toutefois, si cette solution est retenue, un recours à la bio-ingénierie des sols et des revêtements mous devraient être envisagés, afin de ne pas compromettre les objectifs de gestion des crues tout en atténuant l'impact sur l'environnement.

**Tableau 3. Impacts des mesures structurelles sur divers processus à l'œuvre dans les corridors fluviaux et mesures correctives envisageables**

	Impacts sur l'environnement	Mesures correctives envisageables
Barrages et réservoirs	<b>Régime d'écoulement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Régulation des lâchers d'eau par l'exploitation du réservoir, pour assurer la variabilité saisonnière du débit.</li> <li>• Prises d'eau multiples et/ou sélectives en profondeur pour maintenir le régime thermique saisonnier naturel des lâchers d'eau dans les tronçons situés sous les barrages, ainsi que la qualité de l'eau.</li> <li>• Mesures permettant aux poissons de franchir les déversoirs et les barrages dans les deux sens.</li> <li>• Dispositifs appropriés de dérivation des sédiments.</li> <li>• Dérivation des gros débris de bois.</li> </ul>
	<b>Sédiments/structure du chenal</b>	
	<b>Qualité de l'eau</b>	
	<b>Habitat/biodiversité/ressources naturelles</b>	
Réservoirs d'écrêtement et de retenue	<b>Régime d'écoulement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les zones humides artificielles ou les étangs permanents peuvent faciliter la création de nouveaux habitats pour de nombreuses espèces aquatiques et terrestres, si les mesures correctives répondent aux objectifs de gestion des crues.</li> <li>• Les réservoirs d'écrêtement devraient être conçus de manière à ne pas perturber les régimes d'écoulement et les régimes sédimentaires dans le chenal principal.</li> </ul>
	<b>Sédiments/structure du chenal</b>	
	<b>Qualité de l'eau</b>	
	<b>Habitat/biodiversité/ressources naturelles</b>	

**Tableau 3 (suite)**

		<b>Impacts sur l'environnement</b>	<b>Mesures correctives envisageables</b>
<b>Chenaux de dérivation</b>	<b>Régime d'écoulement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faible impact si le canal de dérivation n'est utilisé que pendant les inondations, à des fins de contournement.</li> <li>Baisse du débit, du niveau et de la vitesse du cours d'eau dans le tronçon court-circuité, si les flux sont détournés en permanence dans le canal de dérivation.</li> <li>Les eaux se précipitant dans le canal de dérivation entraînent une accélération des temps de parcours et favorisent ainsi les inondations en aval.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il convient de pouvoir réguler les écoulements grâce à la conception ou lors de l'exploitation pour atteindre un nouvel équilibre dynamique dans les nouveaux régimes d'écoulement et régime sédimentaire.</li> <li>Un canal de dérivation peut être associé à un réservoir d'écrêtement des crues situé en aval si les écoulements modifiés augmentent considérablement les inondations en aval.</li> </ul>
	<b>Sédiments/ structure du chenal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alluvionnement possible du tronçon court-circuité si le canal de dérivation n'accepte que l'eau des crues sans laisser passer les sédiments de la charge de fond.</li> </ul>	
	<b>Qualité de l'eau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faible impact sur la qualité de l'eau dans le chenal d'origine.</li> </ul>	
	<b>Habitat/ biodiversité/ ressources naturelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Faible impact sur la biodiversité dans le chenal principal.</li> </ul>	
<b>Endiguement</b>	<b>Régime d'écoulement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niveaux et vitesses de l'eau plus élevés au plein débit de débordement.</li> <li>Augmentation des pointes de crue en aval.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il convient de prévoir d'associer les digues à d'autres ouvrages structurels comme les barrages et les réservoirs d'écrêtement des crues, ainsi qu'à des mesures non structurelles.</li> <li>L'espacement des ouvrages d'endiguement devrait permettre la mobilité morphologique latérale du cours d'eau.</li> <li>Les digues devraient être conçues de manière à perturber aussi peu que possible la connectivité latérale. À cet effet, il conviendrait d'établir des normes de protection équilibrées, fondées sur des critères économiques et environnementaux.</li> <li>Éloigner les ouvrages d'endiguement du chenal fluvial en fonction des conditions d'occupation des sols.</li> <li>Suppression des ouvrages d'endiguement séparant la plaine inondable du cours d'eau, si la plaine n'est pas occupée par des aménagements humains.</li> </ul>
	<b>Sédiments/ structure du chenal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de connectivité entre le cours d'eau et la plaine inondable.</li> <li>Disparition de l'alternance seuils-mouilles et d'autres hétérogénéités dans la morphologie du chenal.</li> <li>Accroissement possible de l'érosion (affouillement local et dégradation générale).</li> <li>Accumulation possible, en aval, des matériaux érodés dans le tronçon endigué.</li> </ul>	
	<b>Qualité de l'eau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Appauvrissement des échanges de nutriments et de carbone avec la plaine inondable.</li> </ul>	
	<b>Habitat/ biodiversité/ ressources naturelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution des refuges et des frayères disponibles pour les espèces fluviales dans la plaine inondable.</li> <li>Recul des forêts alluviales (bois d'œuvre, fruits, substances médicinales).</li> <li>Les structures, processus et espèces de la plaine inondables qui ont besoin d'être inondés fréquemment sont tous touchés.</li> <li>Le limon ne se dépose plus dans la plaine inondable.</li> <li>Aucun nouvel habitat ne se fait jour dans la plaine inondable.</li> </ul>	
<b>Chenalisation</b>	<b>Régime d'écoulement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'accentuation de la pente du chenal, l'accélération du courant, l'abaissement des niveaux et le raccourcissement du temps de séjour entraînent un accroissement des inondations en aval (temps de parcours plus rapides et atténuation des pointes).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilisation de matériaux naturels et perméables, par exemple des revêtements souples à la place des revêtements en béton.</li> <li>Maintien ou réintroduction de débris de bois grossiers dans la mesure du possible</li> </ul>
	<b>Sédiments/ structure du chenal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Érosion du lit et des berges du cours d'eau (affouillement et dégradation).</li> <li>Problèmes de sédimentation en aval.</li> <li>Perte totale d'hétérogénéité dans la forme du chenal.</li> </ul>	
	<b>Qualité de l'eau</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diminution de la capacité qu'a le chenal fluvial d'assimiler les nutriments et les polluants.</li> <li>Réchauffement des cours d'eau plus petits (étroits).</li> <li>Augmentation de la charge en sédiments fins.</li> </ul>	
	<b>Habitat/ biodiversité/ ressources naturelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Appauvrissement de la diversité de l'habitat fluvial, recul des nappes d'eaux dormantes et pertes de refuges; disparition de certaines espèces fluviales indigènes.</li> <li>Disparition de certaines espèces végétales poussant dans le courant et sur les berges.</li> <li>Réduction des apports de matières organiques.</li> <li>L'abaissement de la nappe phréatique sous la plaine inondable modifie la végétation des berges et les zones humides de la plaine inondable.</li> </ul>	



## 6. PRISE EN COMPTE DES CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES DANS LES PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISIONS

La gestion intégrée des crues (GIC) vise à maximiser les avantages nets qu'offrent les plaines inondables, à diminuer les risques liés aux crues et à réduire autant que possible les pertes en vies humaines causées par les inondations. La nécessité de cesser de raisonner en termes de lutte ou de protection contre les crues pour s'orienter vers une réelle gestion des crues a été le catalyseur à l'origine de la définition des principes de la GIC, processus qui intègre la gestion des ressources terrestres et aquatiques du bassin hydrographique. Cette gestion repose sur une triple démarche qui consiste i) à éviter, ii) à réduire et iii) à atténuer les atteintes à l'environnement de la gestion des crues sans renoncer à atteindre ses objectifs. Il est souhaitable de réduire au minimum les effets des mesures de gestion des crues qui sont préjudiciables à la productivité naturelle, à la santé des écosystèmes et aux services écosystémiques, y compris les processus d'atténuation des crues, et de les ramener à un niveau raisonnablement acceptable. Le présent chapitre définit un cadre permettant de prendre en compte les considérations environnementales dans le processus de prise de décisions à ses différentes étapes: élaboration des politiques, planification du bassin, et conception, mise en œuvre et exploitation du projet.

### 6.1 Les processus de prise de décisions

L'atténuation des crues servant essentiellement l'intérêt public, la gestion des crues doit être menée à bien dans le cadre d'actions des pouvoirs publics. La nature pluridimensionnelle des options en matière de gestion des crues appelle une approche intégrée et participative du processus de prise de décisions, allant de l'élaboration d'une politique publique à la mise en œuvre du projet, en passant par la planification du bassin. Tout processus de prise de décisions lié à la gestion des crues est soumis à diverses contraintes, qui se répartissent en contraintes d'ordres matériel, financier, social, politique, juridique et environnemental. Jusqu'ici, les considérations matérielles et financières ont surtout été traitées par l'analyse économique, les questions sociales et environnementales n'ayant guère reçu d'attention. Dans l'élaboration de toute politique, ces questions sont liées à des valeurs sociétales, en particulier la perception des risques et les compromis possibles entre développement et sauvegarde de l'environnement. Pour limiter autant que possible la portée de facteurs subjectifs, il convient d'intégrer les considérations environnementales dans le processus de prise de décisions (voir fig. 10).

Un certain nombre d'éléments de politique publique qui ne sont pas directement liés à la gestion des crues ont également des incidences sur les risques de crue (notamment les politiques d'aménagement du territoire) et sont donc impérativement à prendre en compte dans le processus d'élaboration de la politique. Ils doivent y trouver leur place à la suite d'une planification stratégique conjointe à laquelle devraient participer les partenaires gouvernementaux et les autres parties prenantes.

Les caractéristiques des bassins versants se modifient sans cesse sous l'effet des activités humaines et de l'aménagement du territoire, qui peut modifier l'ampleur des crues. L'urbanisation en amont d'un bassin tend à intensifier les écoulements en aval, ce qui augmente les risques de

crues, surtout dans les bassins versants peu étendus. Ces facteurs, de même que les risques liés aux crues et la manière dont ils sont perçus, déterminent les objectifs de gestion des crues dans un bassin particulier. Les plans de gestion intégrée des ressources en eau définissent un cadre général pour la planification de la gestion des crues dans le bassin. Le niveau de risque auquel une société est prête à s'exposer aux fins de la réduction de la pauvreté ou du développement durable détermine les options qui s'offrent à elle. Il convient d'analyser les risques qui s'associent à l'implantation de population dans une plaine inondable ou à l'exploitation de celle-ci, en se fondant sur les effets, tant négatifs que positifs, des crues<sup>54</sup> dans une situation donnée. Tous les organismes compétents devraient, sous la direction de l'organisme responsable de la gestion des crues, prendre part à ce processus et considérer la question sous une perspective plus large que celle de l'agence ou du département<sup>55</sup>. L'évaluation de l'environnement au niveau stratégique, accompagnée d'un suivi, demande à être intégrée dans le cadre de la planification. Il est important d'avoir un retour d'information indiquant si la planification du bassin a permis d'atteindre les objectifs de gestion des crues locales.

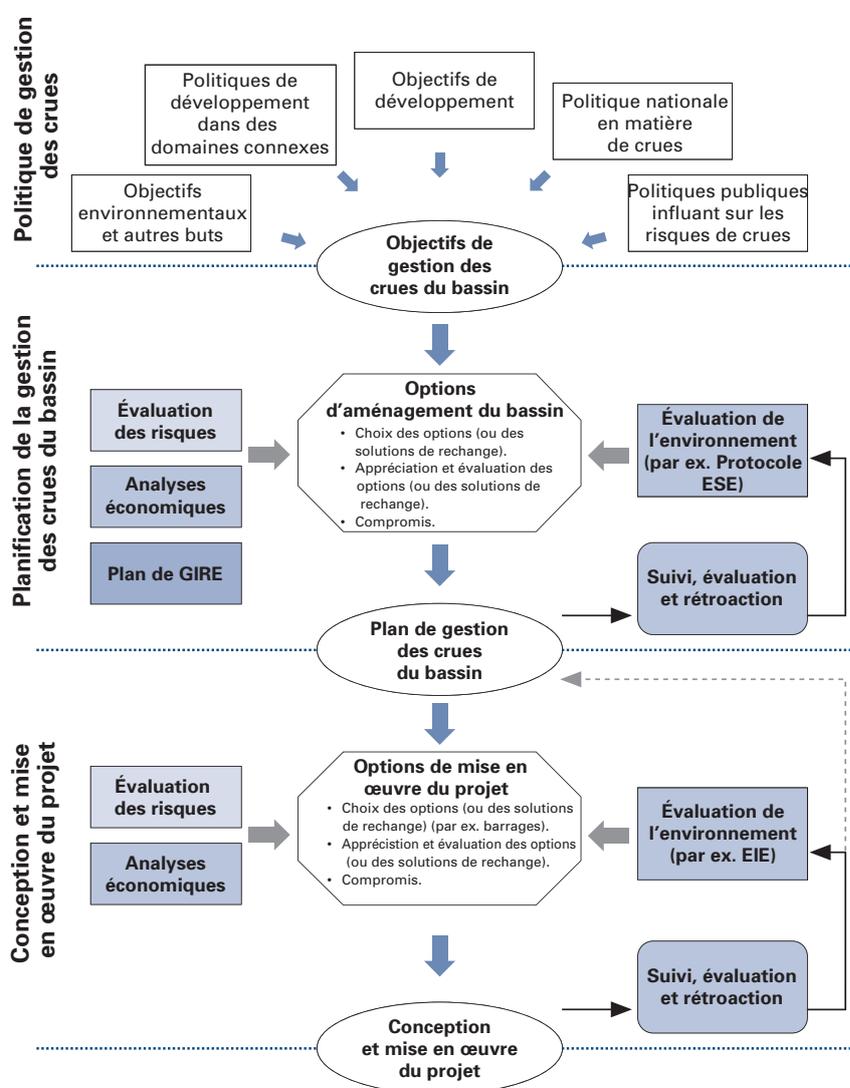


Figure 10. Cadre de prise de décisions respectueux de l'environnement pour la gestion des crues.

Diverses options de gestion des crues devraient être établies à partir du plan d'aménagement du bassin, et évaluées dans le cadre d'un processus participatif mettant à profit différents outils d'analyse économique. L'analyse économique devrait comprendre une évaluation des services rendus par les écosystèmes. Il convient d'évaluer l'impact sur l'environnement des différentes options, conceptions possibles et principes d'exploitation afin de trouver le moyen d'atténuer les atteintes à l'environnement. Un mécanisme de surveillance devrait être mis en place pour réaliser une étude générale de l'état de santé des écosystèmes, prévoyant des évaluations régulières et des mesures correctives à mi-parcours, selon les principes de la gestion adaptative.

Pour intégrer les considérations environnementales dans le processus de prise de décisions, il est nécessaire d'établir un cadre global comprenant les éléments suivants:

- Compréhension et analyse scientifiques;
- Évaluation de l'environnement;
- Analyses économiques intégrant des considérations environnementales;
- Participation des parties prenantes;
- Gestion adaptative ;
- Suivi;
- Mécanisme d'habilitation.

## **6.2 La compréhension et l'analyse scientifiques**

La gestion intégrée des crues appelle à adopter une approche pluridisciplinaire faisant intervenir les diverses parties prenantes. Elle encourage le dialogue entre des professionnels de diverses branches qui, tous, ont une autre perspective sur la question, afin, notamment, qu'ils puissent examiner la situation sous ses angles différents et travailler à la définition d'objectifs communs. Il convient donc d'associer des spécialistes et des chercheurs de divers domaines, allant de l'administration publique à l'ingénierie fluviale, en passant par l'agriculture, la sociologie, l'écologie, l'hydrologie, l'hydraulique et la morphologie. Cette démarche pluridisciplinaire doit reposer sur des renseignements accessibles, une langue commune pour les discussions et un processus de prise de décisions transparent.

Une connaissance scientifique des notions fondamentales de morphologie et d'écologie des rivières et de leurs plaines inondables, ainsi que de l'incidence qu'a sur elles le régime d'écoulement, est essentielle pour comprendre la dynamique des écosystèmes dans un bassin fluvial et les conséquences des mesures de gestion des crues sur ces écosystèmes. Seule une bonne compréhension de ces concepts scientifiques peut ici garantir que les nouveaux projets soient conçus, réalisés et mis en œuvre dans le respect de l'environnement, et que des mesures puissent être prises pour mieux exploiter ou restaurer les ouvrages existants afin d'atténuer leurs effets néfastes.

Il est grand temps que les écologistes, les hydrologues et les professionnels de l'ingénierie fluviale et hydraulique commencent à coopérer étroitement pour étudier les interactions entre le cycle hydrologique et les activités humaines, les caractéristiques des terres émergées et les écosystèmes. L'écohydrologie et l'écohydraulique analysent la dynamique fonctionnelle et structurelle des écosystèmes afin d'élaborer des procédures pratiques permettant d'intégrer

les critères de conservation ou de restauration des écosystèmes dans une analyse multicritère permettant de bien gérer les diverses utilisations de l'eau et du bassin versant. Les activités de recherche et les technologies propres à cette discipline, appliquées au domaine de la gestion des crues, doivent être partagées avec d'autres disciplines et traduites en un langage qui leur soit facilement compréhensible. Les institutions qui s'occupent de l'atténuation des crues devraient s'employer à mieux comprendre les conséquences des modifications anthropogéniques et naturelles du bassin du point de vue des risques de crues et l'impact des mesures correctives sur l'environnement.

### **6.3 L'évaluation de l'environnement**

L'évaluation de l'environnement est un outil permettant de déterminer les études approfondies à mener avant de prendre des décisions qui auront d'importantes incidences sur l'environnement<sup>56</sup>; elle intervient à différentes étapes de la prise de décision. L'étude d'impact sur l'environnement (EIE) se pratique lors de la conception et de la mise en œuvre d'un projet, tandis que l'évaluation stratégique de l'environnement (ESE) est utilisée dans le cadre de l'élaboration de la politique, de la planification et de la mise en œuvre.

#### ***L'évaluation de l'environnement lors de la définition des orientations stratégiques***

Pour intégrer les facteurs environnementaux dans les décisions de gestion, il est important de le faire dès l'étape de la définition d'une stratégie<sup>57</sup>. L'évaluation stratégique de l'environnement (ESE) peut être considérée comme une méthode participative de traitement en amont des questions environnementales et sociales, permettant d'influencer les processus de planification, de prise de décisions et de mise en œuvre au niveau stratégique<sup>58</sup>. Les processus ESE sont présentés dans l'encadré 5.

Le niveau de détail auquel il convient d'évaluer un plan d'aménagement dans le cadre d'une ESE dépend des objectifs de planification. Si la planification a un champ d'action trop vaste pour permettre d'évaluer l'impact sur l'environnement, il suffit d'une description qualitative générale des relations de cause à effet prévisibles. Dans la plupart des cas, des éléments d'information qualitatifs fondés sur un avis d'expert devraient être suffisants au niveau stratégique. Une étude quantitative peut être nécessaire quand les atteintes à l'environnement sont déjà relativement importantes ou lorsque l'on prévoit des effets cumulés. Il convient d'étayer cette étude par des éléments concrets, telles que les détails des analyses effectuées, les données utilisées pour les analyses et les valeurs et hypothèses retenues.

Pour qu'une ESE soit efficace, il convient de faciliter le dialogue entre les autorités compétentes pour l'environnement, celles qui traitent du développement et des représentants du public bien informés. Des informations échangées et mises à profit, ainsi que des données directement exploitables, facilitent la communication entre les divers acteurs et experts, sont souvent la clef d'une étroite collaboration entre les parties prenantes et contribuent à la transparence du processus de prise de décisions.

Aucune méthode universelle d'évaluation stratégique de l'environnement n'a cependant été approuvée, chaque cas étant différent selon son envergure, sa portée, sa durée et son contexte

### **Encadré 5. Processus d'évaluation stratégique de l'environnement**

L'évaluation stratégique de l'environnement comporte plusieurs étapes: sélection; détermination de l'étendue; définition, prévision et évaluation des incidences; atténuation et suivi. Ces étapes sont esquissées ci-après.

**Sélection:** il convient tout d'abord de se poser la question déterminante: la politique générale, la planification ou le projet en question doivent-ils faire l'objet d'une ESE? Dès lors que la perspective d'un impact sur l'environnement est établie, il convient de passer à l'étape suivante.

**Détermination de l'étendue:** il convient ensuite de déterminer quels sont les impacts à évaluer. En d'autres termes, quel sera l'étendue du travail (ou le mandat) de l'ESE? En règle générale, l'étendue d'une ESE est déterminée après consultation de plusieurs spécialistes et, dans certaines juridictions, du public.

**Définition, prévision et évaluation des incidences:** pour prévoir et évaluer les incidences, il est possible d'utiliser des mêmes outils et procédures que l'EIE lorsque celle-ci est appliquée pour les projets, car l'avis des spécialistes joue souvent un rôle majeur. À la différence de l'EIE, toutefois, l'ESE exige en règle générale de déterminer les effets environnementaux indirects (secondaires). La raison en est que plusieurs lignes de conduite, plans et projets soumis à une ESE visent à produire des effets sociaux et économiques susceptibles d'avoir à leur tour des conséquences indirectes importantes (et parfois involontaires) sur l'environnement. Les interactions entre incidences économiques, sociales et environnementales jouent un rôle essentiel dans les «évaluations intégrées».

**Atténuation:** les mesures d'atténuation visent à éviter, réduire ou compenser les effets négatifs d'une action (par exemple l'approbation d'une politique ou la mise en œuvre d'un projet).

**Suivi:** surveiller les effets d'une politique permet de signaler aux autorités compétentes tout résultat indésirable susceptible d'être maîtrisé par l'application de mesures d'atténuation. De plus, une comparaison entre les résultats prévus et les résultats observés dans le cadre du suivi permettra peut-être aux analystes d'améliorer leur capacité de prévoir les incidences à l'avenir.

*Source:* Banque mondiale, *Integrating Environmental Considerations in Policy Formulation: Lessons from Policy-based SEA Experience*, Washington, D.C., Département de l'environnement, Banque mondiale, 2005.

(échelle nationale ou régionale, phase de définition de la politique ou de planification, pays développé ou en développement, etc.). La volonté politique a également son importance dans la réalisation d'une ESE<sup>59</sup>. Des pressions sociales et politiques peuvent amener des sociétés de développement récalcitrantes à s'y plier. Parallèlement, des mesures législatives peuvent concourir utilement à faire naître la volonté politique d'adopter les ESE en tant que stratégie à long terme: des dispositions prévoyant la réalisation d'une ESE peuvent par exemple être intégrées dans le cadre d'une EIE ou dans une autre loi (comme cela s'est fait aux Pays-Bas<sup>60</sup>), ou en tant que procédure indépendante applicable (comme cela s'est fait au Canada<sup>61</sup> et au Danemark<sup>62</sup>); les ESE peuvent aussi être exécutées dans le cadre d'une procédure comparable, mais moins formelle d'évaluation de la politique ou de la planification (comme cela s'est fait au Royaume-Uni<sup>63</sup>).

### **L'évaluation environnementale lors de la conception et de la mise en œuvre du projet**

Les études d'impact sur l'environnement (EIE) ont pour but de définir les incidences sociales et environnementales d'un projet proposé avant qu'une décision soit prise. L'EIE permet de prévoir les incidences sur l'environnement à un stade précoce de la planification et de la conception, de trouver le moyen de limiter les effets négatifs, de façonner des projets adaptés

à l'environnement local et de présenter les prévisions et les options aux décideurs. L'EIE repose essentiellement sur le recensement des objectifs et préoccupations des parties intéressées (définition de l'étendue), sur l'évaluation de leur importance pour juger de la nécessité d'une EIE (sélection), sur l'inventaire des options possibles, sur la détermination de mesures correctives pour gérer les incertitudes et sur l'examen des actions proposées pour prévenir ou réduire les atteintes envisageables et la publication de bilans écologiques pour rendre compte des résultats de l'EIE<sup>64</sup>.

Les bilans écologiques prennent généralement la forme d'une description de l'activité proposée, d'un examen d'autres solutions raisonnablement envisageables (présentant également les conséquences de la solution consistant à ne pas agir) et d'une description de l'environnement que l'activité proposée et les autres solutions envisagées sont susceptibles de modifier sensiblement. Les incidences environnementales potentielles doivent ensuite être exposées et évaluées du point de vue de leur ampleur, des mesures correctives visant à limiter les atteintes à l'environnement doivent être proposées, et les hypothèses, méthodologies et données sur lesquelles se fonde l'évaluation doivent être clairement définies.

Dans de nombreux pays, les EIE sont aujourd'hui prescrites par la loi. La taille et le lieu d'implantation du projet proposé sont des facteurs importants pour déterminer ses répercussions sur l'environnement. Il importe aussi d'informer et de consulter les autres pays où le projet est susceptible de nuire à l'environnement au-delà des frontières nationales.

La concertation et la participation du public sont les facteurs essentiels de l'EIE comme de l'ESE. Même si les autorités gardent le pouvoir de prise de décisions, le dialogue avec le public et le retour d'information que peut donner celui-ci permettent aux populations concernées d'exercer une influence sur le processus de prise de décisions en soulevant des points qu'il convient de considérer lors de la définition de l'étendue du projet, de sa conception, des mesures correctives, du suivi et de la planification de la gestion, ainsi que de l'analyse des solutions de repli.

#### **6.4 Les analyses économiques intégrant des considérations environnementales**

L'analyse coûts-avantages (ACA) et l'analyse multicritère (AMC) sont des méthodes d'aide à la décision utiles lorsque plusieurs options doivent être analysées dans une perspective économique<sup>65</sup>. L'ACA permet d'évaluer les options par une comparaison chiffrée de leurs coûts et de leurs avantages respectifs. À l'heure actuelle où il est possible d'évaluer la valeur économique de nombreux services écosystémiques, le coût que représente la perte de ces services du fait des atteintes à l'environnement peut aussi être intégré dans l'analyse coûts-avantages d'une solution envisagée. Il existe actuellement diverses méthodes d'évaluation et l'on choisira l'une ou l'autre en fonction de l'importance relative des coûts directs et indirects<sup>66</sup>. Toutefois, lorsque les coûts environnementaux et sociétaux ne se prêtent pas à une évaluation, ou lorsqu'il est difficile de les chiffrer, l'ACA risque d'occulter les coûts et les avantages réels d'un projet, notamment le coût associé à la perte des services écosystémiques.

L'analyse multicritère (AMC) est une démarche complémentaire de l'ACA: elle consiste à apprécier les performances attendues de chaque option d'aménagement sur la base de

plusieurs critères ou objectifs. Ces techniques sont applicables dans des situations complexes qui comportent des éléments d'incertitude ainsi que les préférences des diverses parties prenantes. Elles s'avèrent particulièrement utiles en présence d'objectifs conflictuels et difficiles à mesurer du point de vue financier; on pondère alors les différents objectifs et les critères en fonction de leur importance sociétale présumée dans un modèle à critères multiples. Ces pondérations jouent un rôle important dans les techniques d'AMC et devraient être choisies d'une manière transparente, pour que leur portée soit manifeste dans les conclusions. Une moyenne pondérée peut fournir un indicateur de performance global pour chaque option. L'AMC peut être utile pour classer les options, présélectionner certaines d'entre elles en vue d'une évaluation approfondie par la suite (par exemple par une ACA) ou simplement pour déterminer quelles options sont acceptables. Il est facile de prendre une décision lorsqu'une option ressort comme préférable selon l'ensemble des critères. Toutefois, dans la plupart des cas, certaines options paraîtront meilleures selon un critère et moins bonnes selon un autre. C'est alors que l'AMC s'avère particulièrement utile.

Le compromis occupe une place essentielle dans ces situations. La pondération ou le classement devient nécessaire pour traiter ces cas et demande une participation adéquate des parties prenantes aux différentes étapes de l'analyse. L'attribution des pondérations peut s'effectuer de deux manières différentes: la première possibilité est d'inviter plusieurs experts (de divers secteurs de recherche) à proposer, en se fondant sur des appréciations techniques, des pondérations qui ne sauraient cependant être considérées comme totalement impartiales, par rapport à celles que préconise le public concerné; la seconde possibilité est que différentes parties prenantes – groupes communautaires, ONG et autres parties – interviennent dans la pondération dans le cadre d'un processus participatif. Pour que la participation des parties prenantes soit constructive, l'analyse économique devrait également montrer la répartition des coûts et des avantages des différentes options, y compris celles qui résultent des modifications de l'écosystème, c'est-à-dire indiquer qui retire des avantages et qui supporte les coûts.

Malgré ses insuffisances<sup>67</sup>, l'AMC est plus satisfaisante que les appréciations, souvent spontanées et intuitives, des décideurs, car elle assoit la prise de décisions sur une analyse. Elle est transparente et repose sur des données précises et structurées. L'AMC définit un cadre permettant aux parties prenantes d'étudier la nature des choix, de déterminer les facteurs décisifs, de découvrir leurs propres préférences et de simplifier le processus de sélection des options essentielles. Comme l'évaluation économique met en jeu des valeurs sociétales, il est opportun d'associer le public concerné à la réalisation de l'ACA ou de l'AMC par une étroite concertation.

## **6.5 La participation des parties prenantes**

La participation effective des parties prenantes<sup>68</sup> est un élément essentiel du processus de prise de décisions. Leur participation permet en particulier de garantir l'application des principes de la GIC dans la mesure où elles contribuent à définir, façonner, élaborer, valider sur le plan logique et mettre en œuvre les plans et les projets, ainsi qu'à assurer le suivi et l'évaluation de leur impact. Parce qu'elle exige de conjuguer les stratégies de gestion des ressources en eau, d'utilisation des sols, de protection de l'environnement et de gestion des crues, l'approche intégrée de gestion des crues appelle à coordonner les différents processus de planification sectorielle aux étapes successives de la prise de décisions.

La participation des parties prenantes aux différentes étapes de la prise de décisions varie considérablement selon les régimes juridiques et les orientations politiques. Certaines décisions sont du ressort exclusif des représentants des pouvoirs publics, d'autres relèvent des autorités tout en permettant aux communautés de s'exprimer, et d'autres encore ne peuvent être réellement mises en œuvre qu'avec la collaboration active de la collectivité.

Le public est généralement peu désireux d'intervenir dans les débats portant sur la politique de gestion des bassins, car les problèmes de crues à ce niveau peuvent lui paraître trop abstraits et relativement peu intéressants, d'autant que ces consultations prennent parfois un temps considérable et exigent un engagement de longue durée. Même si l'intérêt du public tend à être moins fort à l'étape de la définition d'une stratégie qu'à celles de la conception et de la mise en œuvre du projet, la participation du public au processus de prise de décisions est loin d'être négligeable. Aussi faut-il surtout chercher à obtenir la participation des représentants des parties prenantes, des autorités régionales, des groupes communautaires et des ONG lors de l'élaboration de la politique et de la planification de l'aménagement du bassin. Leur participation dépend de l'état, du niveau et des particularités de la politique et du plan. À cet égard, le jeu de rôles est un outil intéressant.

En revanche, la communauté locale s'engage volontiers dans le processus de prise de décisions pour la conception ou la mise en œuvre du projet, dont elle ressentira directement les effets. La participation du public, des autorités nationales compétentes et des ministères, des autorités locales, des ONG, des politiques, etc., est nécessaire pour renforcer la transparence et la légitimité du processus de prise de décisions.

Le succès de la planification participative passe par l'élaboration de mécanismes participatifs d'habilitation grâce à un cadre juridique et institutionnel adapté et au renforcement des capacités des différentes parties prenantes.

## 6.6 La gestion adaptative

Les connaissances scientifiques des conditions prévalant dans les écosystèmes sont fragmentaires et l'impact des interventions humaines sur les écosystèmes restent encore mal compris. Pour remédier à cette absence de certitude scientifique, des accords internationaux ont recommandé des principes de précaution. Dans le contexte de la protection de l'environnement, le principe 15 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement<sup>69</sup> dispose que:

«Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement.»

La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques<sup>70</sup> préconise aussi des mesures de précaution visant à prendre en compte les questions liées aux changements climatiques.

De l'avis général, la gestion adaptative, qui inscrit la prise de décisions dans un processus continu fondé sur des données scientifiques, est la méthode adéquate pour faire face à ces incertitudes scientifiques. Elle suppose de planifier, d'agir, de suivre et d'évaluer les stratégies appliquées, en intégrant au fur et à mesure les nouvelles connaissances dans le processus (voir fig. 11). Les résultats du suivi et de l'évaluation sont mis à profit pour redéfinir la politique, les stratégies et la pratique de la gestion<sup>71</sup>. Cette méthode rompt avec les principes traditionnels de gestion, car les actes gestionnaires y sont conçus comme autant d'expériences dont il convient de tirer des enseignements. La gestion adaptative définit clairement les résultats attendus, conçoit des méthodes pour mesurer les réactions, rassemble et analyse les informations pour comparer résultats attendus et résultats obtenus, tire des leçons de ces comparaisons, et redéfinit les mesures et les projets en conséquence<sup>72</sup>. Pour réajuster les orientations de la gestion, il faut donc être prêt à accepter une attitude expérimentale et à accepter des échecs occasionnels<sup>73</sup>.

La gestion adaptative intervient dès la phase d'élaboration du plan. Elle est dite active lorsqu'elle prend la forme d'une expérimentation délibérée pour acquérir de nouvelles connaissances, et elle est dite passive lorsqu'elle prend la forme d'un processus continu d'utilisation des données obtenues lors du suivi et de l'inventaire pour évaluer les effets des mesures de gestion sur la santé des écosystèmes. La gestion adaptative active exige d'élaborer divers modèles de réactions différents (hypothèses) fondés sur les données existantes, de calculer les avantages à long terme, puis de les évaluer par rapport aux coûts. Il convient également d'élaborer une stratégie de repli en prévision de résultats inattendus ou négatifs de certaines recherches scientifiques<sup>74</sup>. Par ailleurs, la gestion adaptative passive est

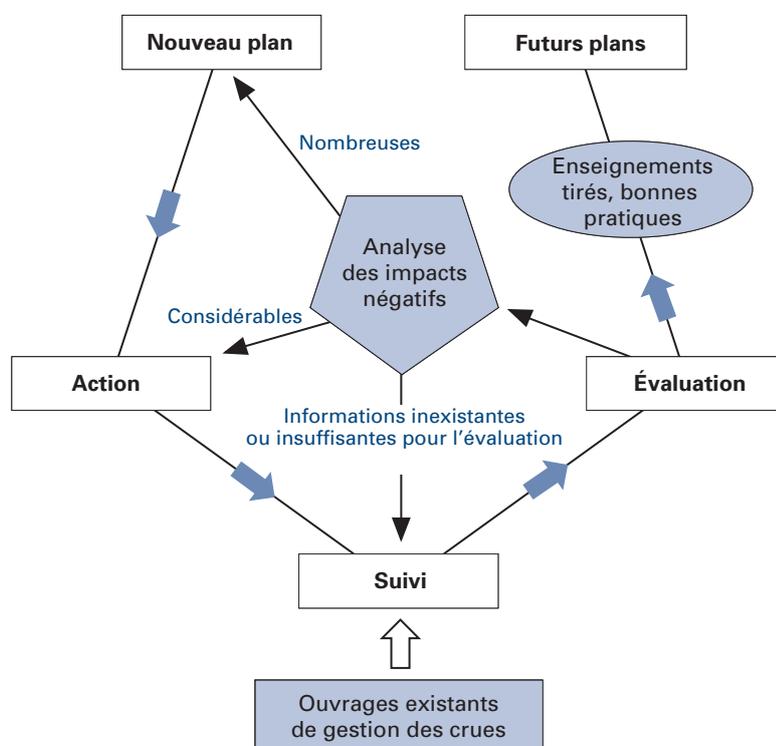


Figure 11. Méthode de gestion adaptative.

considérée comme le mode de gestion à choisir si l'on part du principe que le modèle sur lequel reposent les prévisions est correct<sup>75</sup>. Le suivi des résultats fournit des données capitales qui permettent d'évaluer l'impact du projet, en particulier s'il est négatif. Si les incidences sont considérables, il peut être nécessaire de revoir les mesures prises, en redéfinissant les procédures opérationnelles ou les paramètres de conception du projet. De même, si les incidences sont nombreuses, le plan est revu, ce qui peut amener à modifier les lignes de conduites. L'évaluation de la gestion adaptative, qu'elle soit active ou passive, offre une assise solide pour l'établissement d'une base de données susceptible de contribuer à une meilleure compréhension des processus et à l'élaboration de plans futurs.

Il n'est pas toujours réaliste de supprimer des ouvrages de gestion des crues déjà en place qui ont des impacts négatifs. Dans ces situations, il est nécessaire d'évaluer les dispositifs existants et leurs performances de manière transparente. La gestion adaptative peut alors s'avérer utile pour surveiller la situation actuelle ou évaluer les données disponibles (s'il en existe). Si l'on constate ou prévoit une dégradation progressive de l'environnement, l'aménagement du bassin demandera peut-être à être revu.

## 6.7 Le suivi

La gestion adaptative exige un suivi permanent de l'état de santé de l'environnement et son évaluation à intervalles réguliers. Ce suivi doit être statistiquement solide et scientifiquement crédible, en particulier pour assurer l'efficacité et la validité.

L'importance du suivi a été établie à partir de différents points de vue. Le suivi préliminaire de divers processus naturels fournit les données de base pour évaluer les ressources, les risques et les options d'aménagement. Au stade de la planification des aménagements, il porte essentiellement sur les mesures prises en application du plan défini et en tenant compte des facteurs retenus à la suite de l'évaluation de l'environnement menée lors de la phase de définition de la stratégie. Il convient en particulier de déterminer si les objectifs du plan sont atteints, si les mesures sont prises de manière pertinente sur la base de ce qui a été planifié, et si le plan doit être revu ou modifié. À l'évidence, l'évaluation du plan demande du temps et des efforts permanents. L'évaluation d'un plan stratégique est parfois difficile, car les objectifs ne peuvent être atteints qu'après plusieurs années. Certains facteurs extérieurs, non pris en compte dans l'ESE, sont également susceptibles d'influer sur l'impact environnemental bien davantage que les mesures prises sur la base du plan.

Pendant et après la mise en œuvre du projet, le suivi est important pour déterminer si les mesures de gestion des crues ont permis d'atteindre les objectifs fixés. La surveillance de l'état de l'environnement permet d'établir d'une part si les incidences prévues lors de l'étude de l'environnement menée au moment de la conception et de la mise en œuvre du projet se sont concrétisées et, d'autre part, l'ampleur de mesures et l'efficacité de la prévention. En outre, les enseignements tirés du suivi et de l'évaluation sont autant d'atouts pour améliorer la méthodologie qui sera appliquée lors de la conception de projets à venir.

Le suivi des impacts sur l'environnement peut être réalisé au moyen d'indicateurs spécialement adaptés aux objectifs environnementaux. Ces indicateurs devraient renseigner

sur divers aspects de l'environnement, tels que les changements survenus dans l'utilisation des sols, la diversité des habitats, la répartition des zones humides et l'état de la pêche. Le suivi devrait être conçu pour mesurer tant les effets directs sur l'environnement (tels que le volume des émissions ou l'utilisation des ressources naturelles) que les effets indirects (observables par l'examen des tendances en matière de production, de consommation, etc.).

## 6.8 Le mécanisme d'habilitation

La plupart des pays ne disposent ni des organismes pouvant adopter des approches intégrées, ni des ressources permettant de financer la formation organisationnelle nécessaire et des interactions efficaces entre les organisations. Le cloisonnement des divers secteurs professionnels et le clivage entre les experts et le grand public sont d'autres facteurs défavorables pour la mise en œuvre d'un cadre adapté. Il faut renforcer les capacités à divers niveaux et les institutions à même d'offrir un cadre approprié, avec le soutien de dispositions juridiques.

Échanger des informations dans l'espace et dans le temps est fondamental pour améliorer l'état insatisfaisant de nos connaissances à tous les niveaux. Pour pratiquer une gestion des crues respectueuse de l'environnement, on a besoin d'organisations pouvant assurer un partage des responsabilités en matière d'acquisition et de transmission des connaissances aux fins d'un apprentissage permanent; cela exige aussi un changement de comportement à différents niveaux. Il est donc essentiel de mettre en place un réseau de communication harmonisé entre les différentes institutions et organisations concernées, s'étendant à l'ensemble de la communauté. Le suivi de l'état de l'environnement fait partie intégrante de ce processus d'apprentissage.

Des dispositions juridiques et institutionnelles adaptées, même si elles ne forment que l'un des facteurs influençant la gestion des crues, contribuent sensiblement à atteindre les objectifs de la GIC<sup>76</sup>. Le mode de fonctionnement des institutions doit être revu pour mettre en œuvre les projets de gestion des crues dans le cadre de la GIRE et renforcer les mesures de gestion adaptative. Il convient d'accroître la transparence et le partage des tâches, tout en encourageant l'innovation et l'apprentissage par l'expérience pratique. La coordination entre les services gouvernementaux, les instituts de recherche et les universités doit être améliorée. Stimuler une participation efficace des diverses parties prenantes exige la mise en place de technologies d'institutions adaptées aux contextes naturel, culturel et social de la région.

Les dispositions juridiques applicables à la gestion de l'utilisation des terres et de l'eau sont un facteur décisif de l'efficacité de la GIC, et peuvent influencer le comportement de nombreux organismes qui, sinon, n'interviendraient peut-être pas directement dans la mise en œuvre des plans de gestion des crues. Dans une perspective écologique, les lois peuvent protéger et renforcer les droits et les intérêts environnementaux, qui pourraient sinon ne pas peser sur la prise de décisions. Il convient de considérer les écosystèmes liés à l'eau comme des consommateurs d'eau légitimes. Divers processus d'évaluation de l'environnement, comme l'EIE et l'ESE, de même que les détails des procédures pertinentes qui doivent être suivies pour obtenir les autorisations de planification des projets et des programmes ayant un effet sensible sur l'environnement, devraient être mis en œuvre dans un cadre juridique. Ce dernier

comprend aussi les droits d'accès du public aux informations relatives à l'environnement et la participation des diverses parties prenantes à la prise de décision.

S'il est difficile de coordonner la gestion des terres et de l'eau à l'échelle du bassin en l'absence d'un cadre institutionnel approprié, la situation est encore plus complexe dans le cas des bassins transfrontières, qui mettent en jeu beaucoup plus d'intervenants et des disparités d'ordre idéologique, éthique et législatif, ainsi qu'en matière de gouvernance, de systèmes d'acquisition des données et de contrôle de la qualité, de codes d'ingénierie et de pratiques. Sur la scène internationale, les enjeux de l'environnement naturel sont énoncés dans un certain nombre de conventions internationale, notamment la Convention de Ramsar sur les zones humides, la Convention de Bâle (qui régit les mouvements transfrontaliers de déchets dangereux) et la Convention d'Aarhus relative à l'accès à l'information en matière d'environnement<sup>77</sup>. D'autres accords en matière d'environnement, plus ciblés, existent au niveau de l'ensemble d'un bassin ou au plan bilatéral. Les accords bilatéraux et multilatéraux peuvent aussi donner une impulsion politique à l'intégration des dispositions environnementales souhaitées dans les cadres juridiques nationaux.

## 6.9 En résumé...

Pour que les considérations environnementales trouvent leur place dans les processus de prise de décisions en matière de gestion des crues aux étapes successives de la définition de la politique générale, de la planification du projet, de sa conception et de sa mise en œuvre, ainsi que dans d'autres cadres pertinents, notamment les contextes juridique et institutionnel, socioéconomique et celui de la participation des parties prenantes, il y a lieu d'être attentif aux points suivants:

- Dans la perspective environnementale de la GIC, il est recommandé d'adopter une triple démarche consistant à éviter, réduire et atténuer les atteintes à l'environnement sans compromettre les objectifs de gestion des crues.
- Une connaissance scientifique des concepts de base de la morphologie et de l'écologie des cours d'eau, de leurs plaines inondables et de l'influence qu'ont sur elles les régimes d'écoulement est fondamentale pour comprendre les processus à l'œuvre dans les écosystèmes des bassins fluviaux et les incidences des mesures de gestion des crues sur l'environnement.
- Un certain nombre d'orientations politiques publiques qui ne sont pas directement liées à la gestion des crues ont également un impact sur les risques liés aux crues. Afin d'intégrer les considérations environnementales dans les processus de prise de décisions relatives à la GIC, il convient de définir un cadre global comportant les éléments suivants:
  - Compréhension et analyse scientifiques;
  - Évaluation de l'environnement;
  - Analyse économique intégrant des considérations environnementales;
  - Participation des parties prenantes;
  - Gestion adaptative;
  - Suivi;
  - Mécanismes d'habilitation.
- L'évaluation de l'environnement est importante à différentes étapes de la prise de décisions. L'évaluation stratégique de l'environnement (ESE) est une démarche proactive stratégique qui peut contribuer à prédéfinir les questions essentielles qu'il conviendra d'examiner dans le

cadre de l'étude d'impact sur l'environnement (EIE), réalisée ultérieurement lors de la conception et de la mise en œuvre du projet. L'ESE vient à l'appui de l'EIE pour la sélection des facteurs, la définition de l'étendue du projet et, par là, l'intégration des considérations environnementales dans les processus de prise de décisions.

- L'analyse coûts-avantages (ACA) et l'analyse multicritère (AMC) sont des méthodes utiles d'aide à la prise de décisions lorsque plusieurs options doivent être analysées dans une perspective économique. Il est important d'intégrer dans ces analyses l'évaluation des services écosystémiques.
- La participation des parties prenantes est décisive dans le cadre de l'ESE et de l'EIE, comme de l'ACA et de l'AMC, qui permettent de trouver des compromis acceptables. Un mécanisme d'habilitation est nécessaire pour garantir une participation efficace des parties prenantes. L'analyse multicritère peut servir de cadre aux parties prenantes pour étudier la nature des choix, déterminer les facteurs décisifs et découvrir leurs propres préférences.
- Pour faire face à l'incertitude scientifique, il convient d'adopter une méthode de gestion adaptative afin de prendre des mesures correctives à mi-parcours. Assurer le suivi de la planification et de la mise en œuvre d'un projet adopté pour évaluer son efficacité permet de les modifier en cours de route s'il en est besoin.
- La surveillance devrait porter sur tous les aspects pertinents de l'environnement, notamment les changements survenus dans l'utilisation des sols, la diversité des habitats, la répartition des zones humides et l'état de la pêche, la vulnérabilité des espèces et la diversité des communautés de macro-invertébrés.
- Les dispositions juridiques applicables peuvent influencer le comportement de nombreux organismes qui, sinon, n'interviendraient peut-être pas directement dans la mise en œuvre des plans de gestion des crues. La loi peut protéger et renforcer les droits et les intérêts environnementaux, qui pourraient sinon ne pas peser sur la prise de décisions.



## NOTES

- 1 Banque mondiale, Hazard Management Unit, *Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis*, Disaster Risk Management Series No. 5, Washington, D.C., Banque mondiale, 2005.
- 2 Ahmad, O.K., Biswas, A.K., Rangachari, R. et Sainju, M.M., *Ganges-Brahmaputra-Meghna Region: A Framework for Sustainable Development*, Dhaka, University Press Limited, 2001.
- 3 Nakamura, K., Tockner, K. et Amano, K., «River and wetland restoration: lessons from Japan», *BioScience*, Vol. 56, No. 5: 419–429, 2006.
- 4 Munich Re, *Topics Geo – Annual Review: Natural Catastrophes 2005*, Knowledge Series, Munich, Munich Re, 2006.
- 5 Guha-Sapir, D. et al., *Thirty Years of Natural Disasters, 1974–2003: The Numbers*, Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres, Université catholique de Louvain, Louvain, 2004.
- 6 OMM, Programme associé OMM-GWP de gestion des crues (APFM), *Gestion intégrée des crues — Document de fond*, document technique N° 1, deuxième édition, Genève, OMM, 2004.
- 7 *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement*, Stockholm, 5-16 juin 1972 (A/CONF.151/26, Vol. 1) (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.73.II.A.14 ), chap. 1.
- 8 Assemblée générale des Nations Unies, *Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement* [Rapport Brundtland], résolution 42/187 du 11 décembre 1987.
- 9 Assemblée générale des Nations Unies, *Rapport de la Conférence mondiale sur les droits de l'homme*, Vienne, 14-25 juin 1993 (A/CONF.157/24 (Part I)).
- 10 «Action 21: Programme d'action mondial en faveur du développement durable, Rio de Janeiro, juin 1992», *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement* (A/CONF.151/26, Vol. II, Annexe II), 1992.
- 11 Nations Unies, Sommet mondial pour le développement durable, Johannesburg (26 août-4 septembre 2002), «Plan de mise en œuvre du Sommet mondial pour le développement durable» (A/CONF.199/20).
- 12 Article 2 de la Convention sur la diversité biologique conclue à Rio de Janeiro le 5 juin 1992, Nations Unies, *Recueil des Traités*, Vol. 1760, I-30619.
- 13 Fait référence aux éléments non vivants de l'environnement.
- 14 Acreman, M.C., «Principles of water management for people and the environment». In: de Shirbinin, A. et Dompka, V., *Water and Population Dynamics*, Washington, American Association for the Advancement of Science, 1998.
- 15 Falkenmark, M., *Water Management and Ecosystems: Living with Change*, TEC Background Paper No. 9, Stockholm, Partenariat mondial pour l'eau, 2003.
- 16 Conférence des parties à la Convention sur la diversité biologique, Décision V/6 adoptée à la cinquième réunion, Nairobi, 15-26 mai 2000 (UNEP/CBD/COP/5/23).
- 17 Par corridor fluvial on entend une zone comprenant la plaine inondable et le chenal d'un cours d'eau (voir section 3.1).
- 18 Conférence des parties à la Convention sur la diversité biologique, quatrième réunion, Bratislava, 4-15 mai 1998, «Rapport de l'Atelier sur l'approche écosystémique, Lilongwe, Malawi, 26-28 janvier 1998» (UNEP/CBD/COP/4/Inf.9).
- 19 Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Washington, D.C., Island Press, 2005.
- 20 Smith, K.R., Corvalán, C.F., Kjellström, T., «How much global ill health is attributable to environmental factors?», *Epidemiology*, Vol. 10, No. 5, septembre 1999, <[http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/methods/en/](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/methods/en/)>.
- 21 Inde, «The underlying causes of environmental degradation, Economic Survey 1998–99», Ministère indien des finances, <<http://indiabudget.nic.in/es98-99/chap1104.pdf>>.
- 22 Aragón, L.E. et Clüsener-Godt, M., *Issues of Local and Global Use of Water from the Amazon*, UNESCO et Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, 2004.

- 23 Nienhuis, P.H. et Leuven, R.S.E.W., «River restoration and flood protection: controversy or synergism?», *Hydrobiologia*, 444: 85–99, 2001.
- 24 Institution of Civil Engineers, Presidential Commission, «Learning to Live with Rivers», Londres, ICE, 2001.
- 25 OMM, APFM, voir *supra* note 6.
- 26 Church, M., «Geomorphic thresholds in riverine landscapes», *Freshwater Biology*, 47: 541–557, 2002.
- 27 Junk, W.J., Bayley, P.B. et Sparks, R.E., «The flood pulse concept in river flood plain systems». In: D.P. Dodge (ed.), *The proceedings of the International Large River Symposium (LARS), Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Science*, 106: 110–127, 1989.
- 28 Bhowmik, N.G. et Stal, J.B., *Hydraulic Geometry and Carrying Capacity of Flood Plains*, Water Research Center, Research Report No. 145, Urbana, Ill., University of Illinois, 1979.
- 29 Nanson, G.C. et Croke, J.C., «A genetic classification of flood plains», *Geomorphology*, 4: 459–486, 1992. Leopold, L.B., *A View of the River*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1994.
- 30 On entend par calibre le diamètre intérieur d'un tube ou d'une conduite, ou bien le diamètre extérieur d'un objet sphérique (ici les sédiments).
- 31 Richards, K., Brasington, J. et Hughes, F., «Geomorphic dynamics of flood plains: ecological implications and a potential modelling strategy», *Freshwater Biology*, 47: 559–579, 2002.
- 32 Forman, R.T.T. et Godron, M., *Landscape Ecology*, New York, John Wiley & Sons, 1986.
- 33 La zone hyporhéique représente l'interface entre le bassin versant au sens strict et le cours d'eau. C'est une zone alimentée alternativement par la nappe de subsurface ou par l'eau de surface, sous le cours d'eau ou dans la berge.
- 34 Hughes, F. *et al.*, *The Flooded Forest: Guidance for Policy Makers and River Managers in Europe on the Restoration of Floodplain Forests*, Projet FLOBAR2, Département de géographie, Université de Cambridge, Cambridge, 2003.
- 35 Banque mondiale, *Sustaining Forests: A Strategy*, 2002. Brochure disponible sur le site <http://www.worldbank.org/forests>.
- 36 Allochtone: adjectif qui caractérise ce qui s'est formé ailleurs que là où il se trouve maintenant (contraire: autochtone).
- 37 Nakamura, F. et Yamada, H., «Effects of pasture development on the ecological functions of riparian forests in Hokkaido in northern Japan», *Ecological Engineering*, 24: 539–550, 2005.
- 38 Center for International Forestry Research, *Forests and Floods – Drowning in Fiction or Thriving on Facts?*, CIFOR et Bureau régional de la FAO pour l'Asie et le Pacifique, Bogor (Indonésie), 2005.
- 39 *Ibid.*
- 40 Banque mondiale, *Water Resources and Environment*, Technical Note G.2, Lake Management, Banque mondiale, Washington, D.C., 2003.
- 41 Article premier de la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau (Convention sur les zones humides, Ramsar, Iran, 2 février 1971).
- 42 Brinson, M.M. et Malvárez, A.I., «Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats», *Environmental Conservation*, 29 (2): 115–113, 2002.
- 43 Keddy P.A., *Wetland Ecology: Principles and Conservation*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
- 44 Philip Williams & Associates, Ltd., Clearwater BioStudies, Inc., Michel P. Williams Consulting, GeoEngineers et Green Point Consulting, *Development of an Integrated River Management Strategy*, rapport final, 21 septembre 2002. Rapport établi pour le US Fish and Wildlife Service, la US Environmental Protection Agency et le US Army Corps of Engineers.
- 45 Pierson, W.L. *et al.*, *Environmental Water Requirements to Maintain Estuarine Processes*, Environmental Flows Initiative Technical Report, Rapport No. 3, Canberra, Environmental Australia, 2002.
- 46 États-Unis, Génie de l'armée, *Engineering and Design Coastal Geology: Manual No. 1110-2-1810*, Ministère de l'armée, US Army Corps of Engineering, Washington, D.C., 1995.

- 47 FAO, *Summary Report of the Regional Coordination Workshop on Rehabilitation of Tsunami-Affected Forest Ecosystems: Strategies and New Directions*, Bangkok, 7–8 mars 2005.
- 48 Résolution VIII.4 sur la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), Huitième réunion la Conférence des Parties contractantes à la Convention de Ramsar (voir *supra* note 41), Valence (Espagne), 18–26 novembre 2002.
- 49 Commission mondiale des barrages, *Barrages et développement – Un nouveau cadre pour la prise de décisions*, Rapport de la Commission mondiale des barrages, Londres, Earthscan, 2000.
- 50 Dyson, M., Bergkamp, G. et Scanlon, J., *Flow–The Essentials of Environmental Flows*, UICN-L'Union mondiale pour la nature, Gland (Suisse) et Cambridge (Royaume-Uni), 2003.
- 51 États-Unis, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*, adopté en tant que Partie 652 du National Engineering Handbook, National Resources Conservation Service, Ministère de l'agriculture, 1998 (révisé en 2001).
- 52 Sato, H., «The Current State of Paddy Agriculture in Japan», *Irrigation and Drainage*, 50: 91–99, DOI: 10.1002/ird.10, 2001.
- 53 Suisse, Office fédéral des eaux et de la géologie, *Protection contre les crues des cours d'eau – Directives de l'OPEG*, Bienne, 2001.
- 54 OMM, Programme associé OMM-GWP de gestion des crues (APFM), *Social Aspects and Stakeholder Involvement in Integrated Flood Management et Gestion intégrée des crues: aspects sociaux et participation des parties prenantes*, Document technique APFM N° 4, Collection «Politiques de gestion des crues» (versions anglaise et française en préparation), Genève, <<http://www.apfm.info>>.
- 55 ONU, Commission économique et sociale pour l'Asie et le Pacifique, *Guidelines on Strategic Planning and Management of Water Resources*, New York, Nations Unies, 2004.
- 56 Banque mondiale, *Environmental Assessment Sourcebook*, Département de l'environnement, Banque mondiale, Washington, D.C., 1991.
- 57 Emerton, L. et Bos, E., *Value–Counting Ecosystems as Water Infrastructure*, UICN-L'Union mondiale pour la nature, Gland (Suisse) et Cambridge (Royaume-Uni), 2004.
- 58 Banque mondiale, *Integrating Environmental Considerations in Policy Formulation: Lessons from Policy-Based SEA Experience*, Département de l'environnement, Banque mondiale, Washington, D.C., 2005.
- 59 Japon, Ministère de l'environnement, *Effective SEA System and Case Studies*, Ministère de l'environnement, 2003.
- 60 Décret sur l'étude d'impact sur l'environnement, 1987, modifié en 1994, Pays-Bas.
- 61 Directive du Cabinet, 1990, modifiée en 1999, Canada.
- 62 Circulaire du Cabinet du Premier Ministre, 1993, modifiée en 1995 et 1998, Danemark.
- 63 «Guidance on policy appraisal and the environment» (Guide sur l'évaluation des politiques et l'environnement), 1991, modifié en 1997, Royaume-Uni.
- 64 Nations Unies, PNUE, Site Web de la Division de la technologie, de l'industrie et de l'économie, Programme des Nations Unies pour l'environnement, <<http://www.uneptie.org/pc/tools/eia.htm>>.
- 65 OMM, Programme associé OMM-GWP de gestion des crues (APFM), *Economic Aspects of Integrated Flood Management et Aspects économiques de la gestion intégrée des crues*, Document technique APFM N° 5, Collection «Politiques de gestion des crues» (versions anglaise et française en préparation) Genève, <<http://www.apfm.info>>.
- 66 ONU, Commission économique pour l'Europe, *Nature for Water: Innovative Financing for Environment*, Genève, CEE, 2006.
- 67 Dodgson, J., Spackman, M., Pearman, A. et Phillips, L., *Multi-Criteria Analysis: A Manual*, Londres, Ministère de l'environnement, 2000.
- 68 OMM, APFM, voir *supra* note 54.
- 69 «Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement», *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement*, Rio de Janeiro, 3–14 juin 1992 (A/CONF.151/26, Vol. I).

- 70 Rapport du Comité intergouvernemental de négociation pour une Convention-cadre sur le changement climatique, Deuxième partie de sa Cinquième session, New York, 30 avril-9 mai 1992 (Art. 3 (3), A/AC. 237/18).
- 71 États-Unis, Ministères de l'agriculture, du commerce, de la défense, de l'énergie et de l'intérieur, Agence de protection de l'environnement, Autorité de la vallée du Tennessee et Génie militaire, *Unified Federal Policy for a Watershed Approach to Federal Land and Resource Management*, Registre fédéral, Vol. 65, No. 202, 18 octobre 2000, Notices.
- 72 Carr, D.S., «Human dimensions in ecosystem management: a USDA Forest Service Perspective», In: Chavez, D.J., (coord. tech.), *Actes du deuxième Symposium sur les aspects sociaux et la recherche sur les loisirs*, 23-25 février 1994, San Diego, CA. General Technical Report PSW-156, Albany, CA, Ministère de l'agriculture, Service des forêts, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 2000.
- 73 États-Unis, Federal Interagency Stream Restoration Working Group, *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices*, adopté en tant que Partie 652 du National Engineering Handbook, National Resources Conservation Service, Ministère de l'agriculture, 1998 (révisé en 2001).
- 74 Université de Tokyo, The 21st Century COE Programme, «Biodiversity and Ecosystem Restoration Research Project», disponible sur le site [http://ber.es.a.u-tokyo.ac.jp/ber\\_hpe/index\\_e.htm](http://ber.es.a.u-tokyo.ac.jp/ber_hpe/index_e.htm).
- 75 Nyberg, B., *An Introductory Guide to Adaptive Management*, Service des forêts, Victoria (Colombie britannique), 1999.
- 76 OMM, Programme associé OMM-GWP de gestion des crues (APFM), *Aspects juridiques et institutionnels de la gestion intégrée des crues*, Document technique APFM N° 2, Collection «Politiques de gestion des crues» (document OMM-N° 997), Genève, 2006.
- 77 Pour plus de détails sur les accords juridiques internationaux relatifs à l'environnement, voir l'ouvrage cité à la note précédente.

## POUR EN SAVOIR PLUS ...

- Association de droit international, Règles d'Helsinki sur l'utilisation des eaux des fleuves internationaux, adoptées par la cinquante-deuxième Conférence de l'ADI à Helsinki (août 1966), Rapport du Comité sur l'utilisation des eaux des fleuves internationaux, Londres, ADI, 1966 <[http://www.ila\\_hq.org](http://www.ila_hq.org)> et <[http://www.internationalwaterlaw.org/IntlDocs/Helsinki\\_Rules.htm](http://www.internationalwaterlaw.org/IntlDocs/Helsinki_Rules.htm)>
- Banque mondiale, *Guidelines for Integrated Coastal Zone Management*, Environmentally Sustainable Development Studies and Monographs Series No. 9, Washington, D.C., Banque mondiale, 1996.
- ... .., *Water Resources and Environmental Technical Note C.1*, Environmental Flows: Concept and Methods, Washington, D.C., Banque mondiale, 2003.
- ... .., *Water Resources and Environmental Technical Note C.3*, Environmental Flows: Flood Flows, Washington, D.C., Banque mondiale, 2003.
- ... .., *Water Resources and Environmental Technical Note G.3*, Wetlands Management, Washington, D.C., Banque mondiale, 2003.
- ... .., *Water Resources and Environmental Technical Note G.2*, Lake Management, Washington, D.C., Banque mondiale, 2003.
- Bullock, A. et Acreman, M., «The role of wetlands in the hydrological cycle», *Hydrology and Earth System Sciences*, 7 (3): 358–389, 2003.
- Clark, J.R., *Integrated Management of Coastal Zones*, Document technique des pêches de la FAO No. 327, Rome, FAO, 1992 (réimpression de 1994).
- FAO, *Integrated Coastal Area Management and Agriculture, Forestry and Fisheries*, Directives de la FAO, Rome, FAO, 1998 <<http://www.fao.org/documents/>>.
- Holling, C.S., *Adaptive Environmental Assessment and Management*, New York, John Wiley & Sons, 1978.
- King, J., Brown, C. et Sabet, H., «A scenario-based holistic approach to environmental flow assessments for rivers», *River Research and Applications*, 19: 619–639, 2003.
- Knighton, D., *Fluvial Forms and Processes – A New Perspective*, Londres, Edward Arnold, et New York, Oxford University Press Inc., 1998.
- Kondolf, G.M., Piégay, H. et Landon, N., «Channel response to increased and decreased bed load supply from land use change: contrasts between two catchments», *Geomorphology*, 45: 35–51, 2002.
- Lee, K.N., «Appraising adaptive management», *Conservation Ecology*, 3 (2): 3, 1999 <<http://www.consecol.org/vol3/iss2/art3/>>.
- Macarthur, R.H. et Wilson, A.M., *The Theory of Island Biogeography*, Princeton (N.J.) Princeton University Press, 1967.
- National Research Council (NRC), *Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy*, Washington, D.C., National Academy Press, 1992.
- Partenariat mondial pour l'eau, Comité consultatif technique, *Integrated Water Resources Management*, TAC Background Paper No. 4, Stockholm, Partenariat mondial pour l'eau, 2000.
- Poff, N.L., *et al.*, «The natural flow regime – a paradigm for river conservation and restoration», *BioScience*, Vol. 47: 769–784, 1997.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement, *Environmental Assessment and Strategic Assessment: Towards an Integrated Approach*, Service économie et commerce de la Division technologie, industrie et économie, Genève, PNUE, 2004.
- Tockner, K., Malard, F. et Ward, J.V., «An extension of the flood pulse concept», *Hydrological Processes*, 14: 2891–2883, 2000.
- Vannote, R.L., *et al.*, «The river continuum concept», *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 37: 130–137, 1980.
- Walters, C., *Adaptive Management of Renewable Resources*, New York, Macmillan, 1986.
- Ward, J.V. et Stanford, J.A., «The serial discontinuity concept of lotic ecosystems». In: *Dynamic of Lotic Ecosystems*, Fontaine, T.D., et Bartell, S.M. (dir.), Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, 347–356, 1983.
- Ward, J.V. et Stanford, J.A., «The serial discontinuity concept: extending the model to flood plain rivers», *Regulated Rivers*, 10: 159–168, 1995.



## GLOSSAIRE

**Abiotique:** se dit d'un facteur ou processus physique ou chimique de l'environnement (il ne fait donc pas intervenir le vivant).

**ACA:** voir Analyse coûts-avantages

**Alluvial:** lié à des éléments fins ou grossiers laissés par un cours d'eau ou constitué de ces éléments.

**Alluvionnement:** accumulation de sédiments dans les lacs ou les cours d'eau où le ralentissement de l'écoulement favorise leur dépôt.

**AMC:** Voir Analyse multicritère.

**Analyse coûts-avantages (ACA):** méthode d'analyse aidant à déterminer l'opportunité d'un projet sur la base d'une comparaison entre les divers coûts afférents aux investissements nécessaires et les avantages qui en sont attendus. Il convient à cet égard d'examiner et de prendre en compte des facteurs tangibles comme intangibles.

**Analyse multicritère (AMC):** processus d'aide à la décision faisant intervenir l'analyse de problèmes complexes par la définition et la pondération de divers critères hétérogènes, en vue d'évaluer plusieurs solutions.

**Anthropique:** voir Anthropogène.

**Anthropogène (syn. Anthropique):** adjectif caractérisant ce qui est causé par l'homme ou dû à l'existence et à la présence de l'être humain.

**Approche écosystémique:** stratégie de gestion intégrée du sol, des eaux et des ressources biologiques, fondée sur le principe d'équité, qui favorise la préservation et l'utilisation durable de l'environnement.

**Anadrome:** se dit d'un poisson né en eau douce, qui se développe en mer et qui revient en eau douce pour se reproduire. Le saumon atlantique est anadrome; il remonte un fleuve pour y pondre.

**Anastomosé:** le lit mineur (q.v.) d'un cours d'eau peut être à chenaux anastomosés, c'est-à-dire qu'il est composé de plusieurs petits chenaux qui s'entrecroisent.

**Aquifère (syn. Réservoir souterrain):** formation géologique perméable contenant de l'eau en quantité exploitable.

**Avulsion:** action d'arracher.

**Barrage de maîtrise des eaux de crue:** ouvrage construit en travers d'une vallée, permettant de retenir tout ou partie des eaux de crue, en particulier pendant les périodes de pointe, puis de les relâcher progressivement.

**Barrage-réservoir:** ouvrage construit en travers d'une vallée, pour retenir l'eau ou constituer un réservoir.

**Bassin versant:** aire d'alimentation d'un cours d'eau, d'un réservoir, d'un lac, etc.

**Biodiversité:** voir Diversité biologique.

**Biotope:** ensemble des facteurs physico-chimiques caractérisant un écosystème.

**Bras mort (syn. Méandre mort):** bras abandonné d'un cours d'eau – lorsque celui-ci s'est tracé un nouveau lit plus court –, généralement un ancien méandre, où stagnent souvent des eaux.

**Calibre:** on entend par calibre le diamètre extérieur d'un objet sphérique; dans ce texte, le diamètre des sédiments.

**Canal de dérivation:** canal construit pour détourner l'écoulement depuis un point en amont jusqu'à un point en aval.

**Chenalisation:** aménagement d'un cours d'eau prenant la forme d'un approfondissement ou d'un élargissement du chenal, d'une simplification de sa géométrie ou de la réduction de la rugosité visant à accélérer l'écoulement aux fins de la navigation ou pour réduire les pointes de crue.

**Concept de «flood-pulse»:** concept fondé sur l'idée que les interactions dynamiques existant entre l'eau et la nature qui l'entoure ont une influence sur les êtres vivants peuplant le cours d'eau (Junk *et al.*, 1989). Le cycle des nutriments sur la plaine inondables et les échanges latéraux entre celle-ci et le cours d'eau auraient un impact plus direct sur le biote que le mouvement de nutriments déterminés par la continuité amont en aval. L'essentiel de la biomasse proviendrait ainsi de la production de la plaine inondables et non des matières organiques provenant de l'amont par le cours d'eau (flux en hélice des nutriments).

**Concept de continuité fluviale ou Concept de continuum fluvial (*River Continuum Concept* – RCC):** concept selon lequel il existe un gradient continu de conditions physiques de la tête de la rivière à son embouchure, et que les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des communautés biologiques sont adaptées au régime le plus probable du système (Vannote *et al.*, 1980). Les communautés productrices et consommatrices s'établissent en harmonie avec les conditions dynamiques physiques du bassin, et les communautés en aval sont structurées pour tirer parti des matières organiques non utilisées en amont. Tant les inefficacités en amont (fuites) que les adaptations en aval sont prévisibles.

**Concept de rupture de continuité (*Serial Discontinuity Concept*):** concept selon lequel les barrages modifient les caractéristiques physiques et biologiques du corridor fluvial, lesquelles ne correspondent plus dès lors à ce que prévoit le concept de continuité fluviale – le *River Continuum Concept*, q.v. – (Ward et Stanford, 1983). Un barrage peut tendre à étendre les conditions prévalant en tête de rivière (déplacement amont) ou en aval; il peut aussi avoir un effet négligeable. Les barrages multiples créent des ruptures de continuité multiples dans la structure naturelle des cours d'eau.

**Cône de déjections:** zone de dépôt dans laquelle un cours d'eau divague et qui est surtout alimentée lors des crues et où s'accumulent des matériaux que le cours d'eau n'est plus en mesure d'évacuer plus bas.

**Connectivité:** mesure de la continuité spatiale d'un corridor ou d'un système fluvial. La connectivité longitudinale caractérise la continuité entre le haut du bassin versant et le cours inférieur; la connectivité latérale caractérise la continuité entre le cours d'eau et sa plaine inondable; et la connectivité verticale caractérise la continuité entre le système de surface, le système d'eaux souterraines sous-jacent et les zones hyporhéiques (q.v.).

**Corridor fluvial:** zone comprenant la plaine inondable et les chenaux des cours d'eau.

**Crue:** montée, en général brève, du niveau d'un cours d'eau jusqu'à un maximum à partir duquel il redescend plus lentement.

**Crue centennale:** crue susceptible de se produire une fois au cours d'une période de cent ans.

**Crue décennale:** crue susceptible de se produire une fois au cours d'une période de dix ans.

**Crue millennale:** crue susceptible de se produire une fois au cours d'une période de mille ans.

**Cyclone:** tempête causée par l'activité d'une dépression atmosphérique.

**Défense contre les crues:** voir Maîtrise des crues.

**Dégradation:** désagrégation et usure des roches, falaises, escarpements, terrasses ou lits de cours d'eau s'exerçant sous l'action de l'eau et des agents atmosphériques, biologiques et autres.

**Digue:** remblai artificiel construit pour contenir les eaux d'une rivière dans un secteur déterminé ou pour prévenir les inondations dues aux vagues ou aux marées.

**Diversité biologique (syn. Biodiversité):** variété et variabilité des organismes vivants et des écosystèmes où ils se trouvent; la biodiversité présuppose l'existence et l'abondance relative de plusieurs écosystèmes, espèces et gènes.

**Eaux d'égout:** eaux de consommation d'une collectivité rejetées après avoir été souillées par différents usages. Il peut s'agir du mélange de ces eaux, chargées de déchets urbains, domestiques et industriels, avec des eaux souterraines, des eaux de surface ou de l'eau pluviale.

**Écohydrologie/écohydraulique:** sciences ayant pour objet l'étude des écosystèmes et leur interaction avec l'hydrologie ou l'hydraulique.

**Écologie:** étude des relations entre les plantes, les animaux (y compris les êtres humains) et leur environnement.

**Écosystème:** complexe dynamique dans lequel des plantes, des animaux et des micro-organismes interagissent avec leur environnement non vivant en tant qu'unité fonctionnelle.

**Écosystèmes côtiers:** forêts intérieures et terrains boisés qui s'étendent jusqu'à la mer. Ces systèmes, qui comprennent les mangroves (q.v.), les forêts de plage (q.v.) et les forêts sur tourbe, se caractérisent (quantitativement, qualitativement et temporellement) par l'eau douce qui y est apportée et par les influences quotidiennes et saisonnières des marées modifiant la salinité, la température, la turbidité et les flux énergétiques.

**EIE:** voir Évaluation d'impact sur l'environnement.

**Environnement:** milieu dans lequel se trouve une entité, caractérisé par tout ce qu'il abrite, notamment l'air, l'eau, le sol, les ressources naturelle, la flore, la faune, les êtres humains et leurs relations mutuelles.

**Épuration:** traitement des eaux naturelles ou des eaux d'égout destiné à modifier des caractéristiques physiques et éliminer des substances chimiques et organismes vivants considérés comme nuisibles ou indésirables.

**ESE:** voir Évaluation stratégique de l'environnement.

**Étiage:** niveau le plus bas d'un cours d'eau, d'une marée descendante.

**Eutrophisation:** enrichissement excessif de l'eau par des nutriments (q.v.), en particulier par des composés d'azote et de phosphore, qui accélèrent la croissance d'algues et de formes plus évoluées de la vie végétale avec diminution de la teneur en oxygène.

**Évaluation d'impact sur l'environnement (EIE):** outil servant à déterminer l'impact environnemental et social d'un projet préalablement à la prise de décisions. Il vise à prévoir l'impact d'un projet sur l'environnement au début de la phase de planification et de conception, à trouver le moyen d'atténuer ses effets défavorables, à élaborer des projets adaptés à l'environnement local, ainsi qu'à soumettre les prévisions et les options aux décideurs.

**Évaluation stratégique de l'environnement (ESE):** processus systématique visant à évaluer les conséquences environnementales d'une politique, d'un plan ou d'un programme proposé, de manière à s'assurer qu'elles sont pleinement prises en compte au stade le plus précoce du processus de décision au même titre que les considérations économiques et sociales.

**Évaporation:** émission de vapeur par une surface libre d'eau liquide à une température inférieure au point d'ébullition.

**Exutoire:** ouverture ou passage par lequel s'écoule le débit sortant d'un réservoir ou d'un cours d'eau.

**Fagne:** lande marécageuse; marais tourbeux (régional, Ardennes).

**Fluviatile:** en biologie, se dit des organismes qui vivent et se reproduisent dans les cours d'eau. En géomorphologie, se dit des matériaux et sédiments transportés puis déposés par les cours d'eau.

**Flux écologique:** régime hydrologique d'un cours d'eau, d'une zone humide ou d'une zone côtière propre à assurer la préservation des écosystèmes et leurs services en présence d'utilisations concurrentes et de régulation des eaux.

**Forêt:** toute formation végétale comprenant au minimum 10 % d'arbres ou de bambous d'une hauteur minimale de 5 m et généralement associée à une flore et une faune sauvages et à des conditions de sol naturelles.

**Forêt de plage:** forêt située au-dessus de la ligne des hautes eaux et sur un terrain sablonneux.

**Forêt marenne:** voir Mangrove.

**Frayère:** lieu où les poissons se réunissent pour se reproduire.

**Géomorphologie:** étude des formes du relief terrestre et des relations entre ses caractéristiques physique et les structures géologiques sous-jacentes.

**Gestion adaptative:** mode de gestion consistant à établir des hypothèses au début de la phase de planification, puis à utiliser le processus de mise en œuvre à titre expérimental pour tester ces hypothèses.

**Gestion adaptative active:** processus expérimental visant à déterminer le mode de gestion le plus adapté et prenant la forme d'une évaluation de plusieurs modèles, élaborés sur la base de données existantes, en appréciant leur utilité à long terme par rapport aux investissements nécessaires à court terme. La gestion est abordée comme un processus évolutif, que l'observation critique et analytique permet d'améliorer à mesure.

**Gestion adaptative passive:** processus visant à déterminer le mode de gestion le plus adapté et prenant la forme de contrôles et d'évaluations des activités de projet, ainsi que d'ajustements des objectifs et des pratiques, mais dans lequel le modèle sur lequel sont fondées les prédictions n'est pas remis en cause.

**Gestion intégrée des crues (GIC):** processus reposant sur une approche intégrée plutôt que fragmentée de la gestion des crues, intégrant l'exploitation des ressources en eau et l'aménagement des sols dans un bassin fluvial et dans le contexte plus général de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), dans le but d'accroître les avantages nets tirés des plaines inondables, tout en réduisant au minimum les pertes humaines dues aux inondations.

**Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE):** processus qui vise à stimuler l'exploitation et la gestion coordonnées de l'eau, des terres et des ressources connexes, afin de maximiser la production économique et les prestations sociales qui en découlent et ce de façon équitable, sans nuire à la pérennité des écosystèmes indispensables.

**Gestion intégrée des zones côtières (GIZC):** processus de planification et de coordination qui traite des ressources côtières et de la gestion de l'aménagement et qui privilégie l'interface terre/eau.

**GIC:** voir Gestion intégrée des crues.

**GIRE:** voir Gestion intégrée des ressources en eau.

**GIZC:** voir Gestion intégrée des zones côtières.

**Gouille:** petite dépression remplie d'eau; dépression, de forme variable et constamment détrempée, présente à la surface de la tourbière bombée.

**Hautes eaux:** écoulement relativement fort, mesuré par la hauteur d'eau ou le débit.

**Hydrologie:** a) Science qui traite des eaux que l'on trouve à la surface de la Terre, ainsi qu'au-dessus et au-dessous, de leur formation, de leur circulation et de leur distribution dans le temps et dans l'espace, de leurs propriétés biologiques, physiques et chimiques et de leur interaction avec leur environnement, y compris avec les êtres vivants. b) Science qui étudie les processus qui régissent les fluctuations des ressources en eau des terres émergées et traite des différentes phases du cycle hydrologique.

**Hydropériode:** historique d'inondation et d'assèchement d'un milieu humide.

**Hyporhéique:** voir Zone hyporhéique.

**Hystérésis (syn. Hystérèse):** retard dans l'évolution d'un phénomène physique par rapport à un autre dont il dépend.

**Infiltration:** mouvement de l'eau pénétrant dans un milieu poreux depuis la surface du sol.

**Inondation:** submersion par l'eau débordant du lit normal d'un cours d'eau ou d'autres surfaces d'eau, ou accumulation d'eau provenant de drainages, sur des zones qui ne sont pas normalement submergées.

**Inondation maîtrisée:** lâcher d'eau volontaire d'un réservoir visant à inonder une zone particulière de la plaine inondable située en aval ou d'un delta afin de restaurer ou d'entretenir les processus écologiques et les ressources naturelles nécessaires pour les moyens d'existence.

**Intégrité écologique:** état caractéristique d'un écosystème à même de préserver son équilibre, son intégrité et son adaptabilité, et abritant tous les éléments (gènes, espèces et combinaisons) et tous les processus propres à l'habitat naturel d'une région.

**Lacs et étangs:** plans d'eau généralement lenticques.

**Lenticque:** se dit de ce qui se rapporte aux eaux douces stagnantes ou à circulation lente.

**Lit majeur:** zone envahie par les eaux en période de crue.

**Lit mineur:** partie du lit occupée en permanence par le cours d'eau.

**Lotique:** propre aux eaux courantes.

**Maîtrise des crues (syn. Défense contre les crues):** ensemble des dispositions prises pour assurer la protection des terres contre les débordements ou pour réduire au minimum les dommages que peuvent causer les inondations.

**Mangrove:** formation arborescente ou buissonnante des régions côtières intertropicales constituée principalement de palétuviers et située dans une zone de boues et de limons qui est envahie par l'eau à marée haute. Mangrove est le terme le plus fréquemment utilisé pour nommer cet écosystème; il peut aussi être qualifié de terres boisées côtières, ou forêts maremmes.

**Marée de tempête:** surélévation du niveau de la mer ou d'un estuaire, causée par le passage d'un centre de basse pression.

**Matières solides:** voir Sédiments.

**Méandre:** courbe décrite par un cours d'eau sinueux et constituée par deux boucles consécutives dans lesquelles l'écoulement a lieu pour l'une dans le sens des aiguilles d'une montre et pour la suivante dans le sens opposé.

**Méandre mort:** voir Bras mort.

**Morphologie:** étude de la configuration et de la structure externe (d'un organe ou d'un être vivant). La géomorphologie est l'étude de la forme et de l'évolution du relief. Par extension, dans le cas d'un cours d'eau, étude de sa géométrie, sa forme et sa structure.

**Mosaïque:** ensemble de communautés végétales, de peuplements ou de sols différents, coexistant en un lieu donné sous forme d'éléments de très faible surface étroitement imbriqués les uns avec les autres.

**Mouille:** voir Seuil.

**Nutriment:** substance simple ou composée nécessaire à la croissance des plantes et des animaux.

**Oxygène dissous:** teneur de l'eau, des eaux usées ou d'autres liquides en oxygène libre (chimiquement non combiné) dissous. Une concentration adéquate d'oxygène dissous est nécessaire pour la vie des poissons et d'autres organismes aquatiques, ainsi que pour prévenir les odeurs déplaisantes.

**Plaine d'inondation (syn. Plaine inondable):** a) Définie par les hydrologistes comme une zone inondée à une fréquence d'une fois tous les 100 ans (Bhowmik et Stall, 1979); b) Définie par les géomorphologistes comme une plaine alluviale située en bordure du chenal d'un cours d'eau, séparée de celui-ci par ses berges, constituées de sédiments du cours d'eau sous l'effet du régime climatique et du débit actuels, et submergée lors de crues modérées (Nanson et Croke, 1992; Leopold, 1994); c) Définie par les écologistes comme les terres qui sont périodiquement (en général annuellement) inondées par le débordement latéral de cours d'eau ou de lacs, ou sous l'effet direct des précipitations ou des eaux souterraines; l'environnement physico-chimique qui en résulte entraîne de la part du biote des adaptations morphologiques, anatomiques, physiologiques, phrénologiques ou éthologiques et la production de structures communautaires caractéristiques (Junk *et al.*, 1989).

**Plaine inondable:** voir Plaine d'inondation.

**Protection contre les crues:** ensemble de mesures prises pour protéger des personnes et des biens matériels importants contre l'action dommageable des eaux (inondation, érosion et dépôt de matériaux solides).

**Qualité de l'eau:** propriétés physiques, chimiques, biologiques et organoleptiques de l'eau.

**Régime d'écoulement:** volume, fréquence et périodicité saisonnière du débit.

**Régularisation:** opération consistant en une correction des rivières par des barrages et un endiguement dans le but d'écarter le débit et d'éviter les inondations.

**Réservoir:** emplacement naturel ou artificiel utilisé pour le stockage, la régularisation et le contrôle des ressources en eau.

**Réservoir d'écêtement des crues (syn. Réservoir de maîtrise des crues; réservoir de stockage des crues):** réservoir de diverses conceptions destiné à réduire les pointes de crue d'un cours d'eau par emmagasinement temporaire des eaux, qui sont relâchées dans le cours d'eau par la suite. Un réservoir d'écêtement présente en règle générale un exutoire à l'aval dans le cours d'eau principal. L'écêtement renvoie aux systèmes dans lesquels les écoulements des eaux d'orage ou les débordements d'eau de crue sont retenus pendant de longues périodes, de sorte que les eaux poursuivent leur cheminement dans le cycle hydrologique par infiltration, percolation et évapotranspiration, mais non par écoulement direct dans les cours d'eau.

**Réservoir de maîtrise des crues:** voir Réservoir d'écêtement des crues.

**Réservoir de stockage des crues:** voir Réservoir d'écêtement des crues.

**Réservoir souterrain:** voir Aquifère.

**Résilient:** (Écologie) capable de retrouver son état d'origine après une perturbation.

**Restauration:** phase préliminaire de la gestion visant à remettre un écosystème dans un état fonctionnel proche de son état d'origine (avant sa dégradation; q.v.).

**Riparien:** propre aux rives des cours d'eau.

**River Continuum Concept (RCC):** voir Concept de continuité fluviale.

**Riverain:** situé sur les rives d'un cours d'eau ou d'une étendue d'eau.

**Rivulaire:** se dit des organismes animaux et végétaux qui vivent dans les ruisseaux ou sur leurs rives.

**Ruissellement:** mélange d'eau, de terre et d'autres substances, organiques ou non, présentes dans les terres, qui provient des précipitations, de la fonte des neiges, d'une irrigation excessive ou d'eaux entrant en contact avec le sol et qui charrie de la matière dans les ruisseaux, rivières, lacs et tout autre cours d'eau.

**Sédimentation:** processus de décantation et dépôt par gravité des matériaux en suspension dans l'eau.

**Sédiments (syn. Matières solides):** matériaux transportés par l'eau depuis le lieu de leur formation jusqu'au lieu de dépôt. Dans les cours d'eau, ce sont des matériaux alluvionnaires transportés en suspension ou par charriage.

**Serial Discontinuity Concept:** voir Concept de rupture de continuité.

**Services des écosystèmes (syn. Services écosystémiques):** avantages que retirent les populations des écosystèmes, comprenant les services d'approvisionnement, les services de régulation, les services culturels et les services d'appui nécessaires au maintien des autres services, qui peuvent avoir un impact relativement indirect et de court terme sur les populations.

**Services écosystémiques:** voir Services des écosystèmes.

**Seuil:** en hydrologie, zone peu profonde dans le lit d'un cours d'eau, parfois constituée d'un banc alluvial, située entre deux zones plus profondes, les mouilles (q.v).

**Taux de renouvellement:** taux exprimant le processus d'extinction local (par exemple sur les îles) de certaines espèces et leur remplacement par d'autres espèces. Le taux de renouvellement est le nombre d'espèces éliminées et remplacées par unité de temps (MacArthur et Wilson 1967: 191).

**Tsunami:** onde marine de grande ampleur provoquée par un tremblement de terre sous-marin, une éruption volcanique sous-marine ou un glissement de terrain.

**Zones humides:** étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau de mer dont la profondeur à marée basse n'excède pas 6 m.

**Zone hyporhéique:** zone qui représente l'interface entre le bassin versant au sens strict et le cours d'eau. Elle est alimentée alternativement par la nappe de subsurface ou par l'eau de surface, sous le cours d'eau ou dans la berge.





Organisation  
météorologique  
mondiale  
Temps • Climat • Eau

## Organisation météorologique mondiale Secrétariat

7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300  
CH-1211 Genève 2 (Suisse)  
Tél.: (+41-22) 730 83 14 – 730 83 15 – Fax: (+41-22) 730 80 27  
Courriel: [wmo@wmo.int](mailto:wmo@wmo.int) – Site Web: [www.wmo.int](http://www.wmo.int)



OMM/GWP  
PROGRAMME  
ASSOCIÉ DE GESTION  
DES CRUES

## Programme associé de gestion des crues OMM/GWP

s/c Département de l'hydrologie et des ressources en eau  
Organisation météorologique mondiale  
7 bis, avenue de la Paix – Case postale 2300  
CH-1211 Genève 2 (Suisse)  
Courriel: [apfm@wmo.int](mailto:apfm@wmo.int) – Site Web: [www.apfm.info](http://www.apfm.info)



Partenariat mondial  
pour l'eau

## Secrétariat du Partenariat mondial pour l'eau

Drottninggatan 33 – SE-111 51 Stockholm (Suède)  
Tél.: +46 8 562 51 900 – Fax: +46-8 562 51 901  
Courriel: [gwp@gwpforum.org](mailto:gwp@gwpforum.org) – Site Web: [www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org)