

Water: wereldwijd en waardevol

L'eau: une valeur mondiale

Water: Worldwide and Worthwhile

Koninklijke Academie voor Overzeese Wetenschappen

Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer

United Nations Brussels

pp. 91-108 (1998)

Les crues exceptionnelles: un risque naturel ou un désastre causé par l'Homme

par

Jean Jacques PETERS *

MOTS-CLES. — Crues; Inondations; Risques naturels; Rivières; Aménagement par ouvrages.

RESUME. — Depuis les inondations catastrophiques survenues au cours de la dernière décennie, le monde politique et scientifique se préoccupe de plus en plus du problème des crues, comme par exemple celles survenues au Bangladesh en 1987-1988, aux U.S.A. en 1993, dans différents pays d'Europe en 1993-1994 et d'Europe centrale en 1997. Les crues sont des phénomènes naturels liés à la variabilité du temps et du climat; elles ont toujours existé et elles ont remodelé notre monde, avec des effets tant bénéfiques que néfastes. Dans beaucoup de lieux, la population a adopté des stratégies de survie pour s'accommoder des crues normales. Cependant, les crues exceptionnelles se transforment d'habitude en désastres naturels dans les plaines d'inondation. La fertilité des sols dans les plaines alluviales a causé le peuplement de celles-ci et les travaux d'aménagement ont été la réponse à la menace des crues. «Dompter» les rivières est devenu la règle: rétention des eaux de crue dans des réservoirs pour réduire les pics des crues, levées pour retenir les flots de crue hors des plaines inondables. Cette approche d'ingénieur fut appliquée depuis des siècles, mais récemment à une échelle plus large. Il semblerait que les crues seraient devenues plus importantes et l'impact humain sur l'environnement en est rendu responsable: changement global, effet de serre, travaux d'ingénieur et aménagement des terres dans les bassins, dans les lits des rivières et dans les zones inondables. Cette politique est actuellement remise en question par des groupes de pression, donnant lieu à des débats surchauffés entre les partisans d'un «domptage» des fleuves et les opposants qui demandent moins

* Membre de l'Académie; Consultant, rue P. de Champagne 44, B-1000 Bruxelles (Belgique).

d'interventions dans le milieu naturel. Il est évident que trop d'attention a été vouée par le passé à la protection contre, et pas assez à la gestion des inondations. Les effets bénéfiques des crues normales n'ont pas été reconnus de façon adéquate, tels la recharge des nappes aquifères et le transit ou le stockage des sédiments. Il sera montré que la perception des crues et inondations dépend fortement de l'environnement local et des conditions de vie des populations. Il est nécessaire d'adopter une nouvelle approche de gestion des crues.

TREFWOORDEN. — Wassen; Overstromingen; Natuurlijke risico's; Rivieren; Kunstwerken.

SAMENVATTING. — *Buitengewone overstromingen: natuurlijke risico's of door de mens uitgelokte rampen.* — Sinds de noodlottige overstromingen van het laatste decennium, zoals in Bangladesh (1987-1988), in de V.S. (1993), Europa (1993-1994) en Centraal-Europa (1997), hebben de politieke en wetenschappelijke middens zich meer en meer bekommerd om het probleem van de wassen. Wassen zijn natuurverschijnselen gekoppeld aan de variabiliteit van klimaat en weersgesteldheid; ze hebben altijd bestaan en ze modelleren onze omgeving, zowel in gunstige als in ongunstige zin. Op vele plaatsen hebben de inwoners overlevingsstrategieën ontwikkeld ten overstaan van normale wassen. Doch de uitzonderlijke wassen leidden meestal tot natuurrampen in de overstromingsvlakten. De vruchtbaarheid van de alluviale gronden bracht de mensen ertoe zich in deze gebieden te vestigen en de uitvoering van aanpassingswerken was het antwoord op de dreigingen van de wassen. Het „temmen” van de stromen werd de regel: stuwmuren om het vloedwater op te houden, dijken om overstroming van de vruchtbare lage vlakte te verhinderen. Deze ingenieursstrategie werd gedurende eeuwen toegepast, maar in het recente verleden op veel grotere schaal. Kennelijk worden de wassen rampzaliger en wordt de menselijke tussenkomst op het milieu hiervoor verantwoordelijk gesteld: de globale klimaatwijziging (*global change*), het broeikas-effect, de kunstwerken en de landontwikkeling in de stroombekkens, in de rivierbeddingen en in de overstromingsvlakten. Deze politiek wordt heden in vraag gesteld door drukingsgroepen, wat tot verhitte debatten leidt tussen de verdedigers van een beheersingspolitiek en de voorstanders van minder tussenkomst in het natuurlijk milieu. Het is duidelijk dat in het verleden te veel aandacht werd besteed aan de bescherming tegen en niet genoeg aan het beheer van de wassen. De positieve gevolgen van normale wassen werden niet op een behoorlijke wijze erkend: de natuurlijke bevoorrading van de grondwaterlagen, de doorvoer of de opslag van sediment. De perceptie van wassen en overstromingen hangt sterk af van de plaatselijke omgevingsfactoren en de leefomstandigheden. Een nieuwe benadering voor het beheer van de wassen dringt zich op.

KEYWORDS. — Floods; Inundations; Natural Hazards; Rivers; Training Structures.

SUMMARY. — *Exceptional River Floods: Natural Hazards or Man-made Disasters.* — Since the catastrophic inundations that occurred during the last

decade in Bangladesh (1987-1988), in the U.S.A. (1993), in Europe (1993-1994), in Central Europe (1997), floods have become of great concern to the political and scientific world. Floods are natural phenomena related to the variability of climate and weather; they have always occurred and they are reshaping our world, with both beneficial and adverse impacts. In many places, people have adopted survival strategies to cope with normal floods. However, exceptional floods usually turn into disasters. Fertility of alluvial soils made populations settle in flood-prone areas and engineering was the response to the threat of floods. "Taming" the rivers has become the rule: floodwaters retention reservoirs to reduce the flood peaks, levees to retain the floodwaters from inundating the flood plain. This "engineering" strategy has been applied for centuries, but in recent times at a much larger scale. It seems that floods are getting worse and human impact is blamed: global change, greenhouse effect, engineering and land development in the stream basins, river beds and flood plains. This policy is now challenged by pressure groups, giving way to heated debates between those advocating a "taming" policy and those requesting less intervention in the environment. It is obvious that in the past too much attention was paid to protection and not enough to flood management. The beneficial effects of normal floods have not been adequately recognized, e. g. for natural recharge of aquifers, for transit or storage of sediment. It will be shown that the perception of floods and inundations strongly depends on local environment and living conditions. A new flood management approach is needed.

Introduction

Tout le monde se souvient des images de détresse relayées l'été passé par les médias depuis les régions sinistrées de Pologne et d'Allemagne, lors des inondations catastrophiques de l'Oder. Cette année, ce furent déjà les inondations en Amérique du Sud et en Inde, ce mois-ci en Afghanistan et au Pakistan, où la rivière Kechh atteignit des niveaux jamais connus depuis 200 ans, causant plus de 500 morts en quelques heures.

De tout temps, les crues et inondations catastrophiques ont frappé l'imagination de l'homme. L'histoire de Noé, ce héros biblique, trouve son origine dans le mythe mésopotamien du déluge. La Mésopotamie, région habitée par l'homme depuis le neuvième millénaire avant J.-C., fut un des plus brillants foyers de notre civilisation. Comme le dit son nom dérivé du grec «entre-deux-fleuves», elle se situe entre le Tigre et l'Euphrate, connus dans l'Antiquité pour leurs crues et inondations catastrophiques et pour leurs cours divagants.

Au cours de la dernière décennie, les inondations extraordinaires survenues un peu partout dans le monde ont été fort médiatisées. Ce fut le cas pour une grande partie de l'Europe, avec en 1993/1994 les crues du Rhin et de la Meuse plus près de nous. La même année 1993, le Mississippi avait connu une crue dévastatrice, qui déclencha un débat sur le bien-fondé des travaux d'aménagement

des cours d'eau. Les crues et inondations de 1987 et 1988 dans le delta formé par les fleuves Gange, Brahmapoutre et Meghna, initièrent au Bangladesh un plan d'action inspiré de ces mêmes principes de protection contre les inondations récemment tant décriés aux U.S.A.!

Comme toujours après que surviennent des catastrophes naturelles, les autorités, le monde politique et les scientifiques se penchent sur la question. La population demande que des mesures soient prises. Des groupes de travail sont créés et des programmes de recherche sont lancés, probablement le temps que l'oubli s'installe. Aux Etats-Unis d'Amérique la crue de 1973 dans le bassin du Mississippi avait donné un coup de fouet à la recherche en hydraulique fluviale, mais les budgets de recherche dans ce domaine ont ensuite été ramenés à un niveau ridiculement bas. Aussi, en 1993, le réveil fut brutal!

Un peu partout apparaît cette même question: les crues exceptionnelles et les inondations qui y sont associées sont-elles un risque naturel inévitable qu'il faut bien accepter ou les crues vont-elles en s'aggravant sous l'effet d'un changement de climat et quel est l'effet de l'action humaine sur celui-ci et sur l'environnement?

Discussion de cas d'inondations dans des fleuves et rivières

Nous allons tenter d'illustrer cette question des crues et inondations par quelques exemples.

LE CAS DU MISSISSIPPI, U.S.A.

Un exemple bien documenté est celui du Mississippi et de ses affluents. Après une série d'inondations catastrophiques, mais aussi pour favoriser une navigation fluviale dont l'économie du jeune pays avait grand besoin, les Américains ont entrepris des travaux d'envergure selon un plan bien coordonné. Dans les bassins supérieurs, des barrages emmagasinent les eaux pluviales, principalement en hiver. Relâchées en période sèche, ces eaux soutiennent les étiages et aident à maintenir des profondeurs nécessaires pour la navigation. Le cours des rivières et fleuves fut régularisé, c'est-à-dire que le tracé en plan en fut rendu plus simple et plus rectiligne, notamment par d'importantes coupures de méandres, favorisant ainsi la navigation et l'évacuation des eaux de crue. La rétention derrière les barrages d'une partie du sédiment érodé dans les bassins versants a contribué à la stabilisation du lit fluvial. Un dragage continu dans les mauvaises passes garantit une profondeur suffisante pour le transport.

Tous ces travaux et toutes ces mesures eurent pour effet immédiat une réduction des débits de pointe en crue, donc aussi des niveaux d'eau correspondants. On s'aperçut rapidement que le fleuve réagissait. Le corps des ingénieurs de l'armée américaine créa dans les années soixante une section de potamologie à

Vicksburg, Mississippi, dont le but était d'étudier les incidents survenus suite à ces grands travaux achevés quelque trente ans plus tôt. La crue survenue en 1973 surprit tout le monde et provoqua des dégâts considérables. Elle relança le débat du possible impact des travaux sur le régime fluvial. Mais la crue catastrophique de 1993 choqua toute l'Amérique. Elle fit remettre en question l'approche choisie en début de siècle (Horizon, BBC World, 17 avril 1994).

LE CAS DU HAUT-RHIN, ALLEMAGNE

Au cours des mois de décembre 1993 et janvier 1994, les précipitations dans une zone s'étendant du sud-ouest de l'Irlande jusqu'en Pologne ont été extrêmement abondantes et dépassèrent le double de la moyenne pour ce mois. Les estimations des dégâts provoqués par les crues atteignirent deux milliards de dollars américains.

En Allemagne, des travaux importants furent entrepris dans le bassin du Rhin, surtout depuis le début du 19^e siècle dans le cours du Haut-Rhin entre Bâle et Bingen. Au début, pour favoriser l'écoulement des crues, le lit du fleuve fut rectifié afin de réduire la complexité de son système de chenaux. Un meilleur écoulement des eaux produisit un abaissement de la ligne d'eau et, par voie de conséquence, des nappes phréatiques. D'autres interventions successives, notamment la construction de canaux latéraux et de digues, la suppression de polders, et bien d'autres dont je passe les détails, modifièrent le régime hydraulique et sédimentologique de ce grand fleuve européen. Il s'ensuivit une aggravation de la situation des crues, étudiée entre 1968 et 1978 par la Commission Internationale pour l'Etude des Crues sur le Rhin. Cette Commission se pencha sur les possibilités d'inverser cette tendance dont étaient rendus responsables les endiguements entre Bâle et Karlsruhe.

La dernière crue de 1993/1994 relança le débat et la recherche des causes (figs 1, 2, 3, 4). Les médias déclarèrent que la crue avait été créée par l'homme — l'expression *man-made flood* utilisée aux U.S.A. en 1993 au sujet des crues sur le Mississippi. On parlait de «rendre aux cours d'eau leur forme naturelle» (*renaturation or re-naturalisation of watercourses*), de «paysage perméable» (*pervious landscape*), de «zones de rétention» (*retention spaces*) dans les bassins et le long des rivières. Comme partout où surviennent de telles crues, les autorités et les populations se demandent: Quelles mesures de protection auraient pu ou dû être prises? Que faire en prévision d'événements futurs?

Les experts sont généralement d'accord sur l'utilisation de régions basses comme zones pour emmagasiner les eaux de crue — les polders réactivés —, mais des arguments écologiques viennent aujourd'hui compliquer le débat du fait de la contamination des eaux et des sédiments. Le Groupe International sur les Crues (*Flood Study Group*) étudia le tronçon du Rhin entre Worms et Kaub. Actuellement, 160 des 240 millions de mètres cube de capacité de rétention sont disponibles et furent utilisés lors de crues en 1988 et 1990, avec



Fig. 1. — Bateaux échoués à Dezem, Moselle, après la crue de 1993 (photo BfG, Institut Fédéral d'Hydrologie, Koblenz).



Fig. 2. — Ancienne ville de Koblenz-Nueundorf pendant la crue du Rhin en 1993 (photo BfG, Institut Fédéral d'Hydrologie, Koblenz).

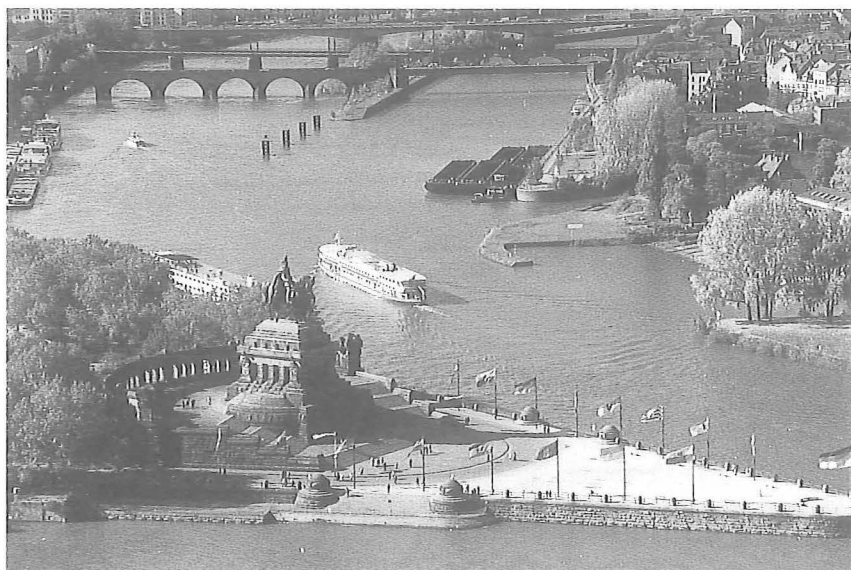


Fig. 3. — *German Corner*, à la confluence de la Moselle et du Rhin, en temps normal (photo BfG, Institut Fédéral d'Hydrologie, Koblenz).



Fig. 4. — *German Corner*, à la confluence de la Moselle et du Rhin, pendant la crue du Rhin en 1993 (photo BfG, Institut Fédéral d'Hydrologie, Koblenz).

comme conséquence des réductions de niveaux de crue de l'ordre de 10 à 23 cm selon les endroits dans le cours du Haut-Rhin. Pour avoir un effet significatif sur le Moyen-Rhin et le Bas-Rhin, la date d'arrivée de la pointe de crue doit être prévue quatre jours à l'avance. Le développement de la crue sur le Haut-Rhin doit l'être cinq jours à l'avance. Des études sont en cours en Allemagne pour évaluer les possibilités d'une re-naturalisation des cours d'eau et l'opinion prévaut que ceci pourrait avoir un impact considérable, bien plus que de rendre perméable une partie des superficies devenues ou rendues imperméables.

Dans son rapport sur les crues de 1993/94, l'Institut Fédéral Allemand d'Hydrologie résume la situation de la façon suivante (ENGEL *et al.* 1994). Des solutions unilatérales évidentes ne peuvent tenir tête à des phénomènes aussi complexes que les événements de crue. Ce qui était bénéfique ou approprié dans un cas peut s'avérer être un investissement raté dans d'autres conditions. Seul un concept d'ensemble, qui combine et coordonne toutes les activités, peut améliorer les efforts pour atténuer les crues.

Il est cependant intéressant de constater que la cause première des crues et inondations des bassins du Mississippi en 1993 et du Rhin en 1993/1994 sont d'ordre climatologique, donnant à ces crues un caractère de catastrophe naturelle. Cela n'empêche qu'un certain nombre de facteurs liés à l'activité humaine ont aggravé des inondations.

LE CAS DE LA LOIRE, FRANCE

La Loire est un autre cas intéressant. En effet, ce grand fleuve alluvial est un des seuls en Europe à être resté dans un état assez naturel. Au sortir du Massif central, il coule dans une large vallée formée par ses propres alluvions, son cours encombré de bancs de sable et de graviers. Parmi les ouvrages d'aménagement, citons les levées érigées depuis le Moyen Âge (DION 1934) et quelques ouvrages locaux de navigation — appelés «chevrettes» et «duits» — construits au siècle passé (BABONAUX 1970) et dont on se demande aujourd'hui s'il faut les garder ou les enlever (fig. 5).

Les mesures anciennes montrent, à débit égal, un relèvement progressif des niveaux de crue. Ceci serait avant tout la conséquence de la construction des levées, au fur et à mesure que des parties de la plaine d'inondation étaient isolées du lit fluvial. On constate, par contre, un abaissement de la ligne d'eau à l'étiage; on se demande pourquoi.

LE CAS DU DELTA DU GANGE-BRAHMAPOUTRE-MEGHNA, BANGLADESH

Les inondations au Bangladesh sont bien connues, particulièrement celles de 1987 et 1988. En 1988, lors des crues du Gange et Brahmapoutre, 60 % du territoire du Bangladesh était resté sous eau pendant des semaines, désastre qui fut

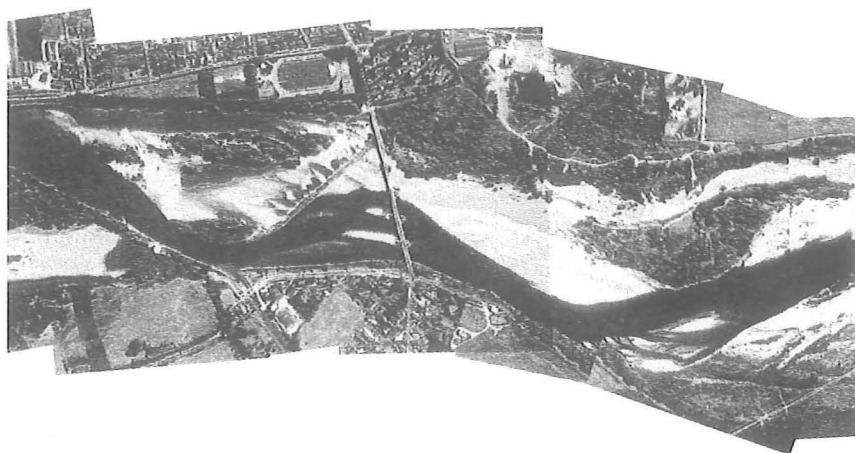


Fig. 5. — Vue aérienne des ouvrages à chevrettes et à duits sur la Loire, eaux basses et crue (Plan Loire 2000, France).

à la base d'un des plus importants programmes de lutte contre les inondations, le *Flood Action Plan*. Bien qu'au départ l'idée était de mettre en place un programme de construction de digues, l'opposition au plan, relayée au Parlement européen, a infléchi et ralenti le programme initial.

Alors que les autorités et les bureaux d'étude clament la nécessité de protéger les populations contre les inondations dévastatrices, des études sociologiques menées sur les îles du fleuve Jamuna/Brahmapoutre (fig. 6) ont révélé que ces mêmes populations ont développé au cours du temps des stratégies de survie efficaces. Ce n'est qu'au cours de crues exceptionnelles, comme celles de 1987 et 1988, que ces stratégies de survie peuvent devenir inopérantes. Une conclusion intéressante est que l'érosion des berges par la divagation des chenaux des cours d'eau est ressentie par les habitants comme une menace bien plus grande que l'inondation.

Les crues, un phénomène hydrologique ou hydraulique?

Il est bon d'approfondir ces phénomènes de crue et d'inondation, de définir de quoi on parle. Dans les dictionnaires, la crue est définie soit comme le «gonflement des eaux», soit comme «l'élévation du niveau des eaux dans un cours d'eau, due à la fonte des neiges ou à des pluies abondantes». L'inondation y est définie comme la «submersion des terrains avoisinant le lit d'un cours d'eau, due à une crue». Le phénomène d'inondation est bien plus complexe et la définition devrait également couvrir les inondations créées par les



Fig. 6. — Vue du fleuve Jamuna-Brahmapoutre pendant la crue en août 1995.

marées tempête, par les élévations des niveaux des lacs et par le manque de capacité de drainage des eaux de pluie dans des zones à faible relief. Certaines inondations sont même en relation avec de brusques déplacements du cours du lit dans certaines rivières, mouvements connus sous le nom d'«avulsion» (PETERS 1994).

Le phénomène de crue, comme celui de l'inondation, nécessite une approche pluridisciplinaire. L'hydrologie traite du cycle de l'eau dans sa globalité: la pluie, le ruissellement, l'infiltration, l'évapotranspiration, la propagation des ondes de crue. L'hydraulique étudie dans le détail le mouvement de l'eau dans le lit du fleuve, dans toute sa section transversale, y compris dans la plaine d'inondation. La potamologie — souvent appelée à tort l'hydrologie des rivières par opposition à la limnologie ou hydrologie lacustre — est la science qui intègre toutes les disciplines intervenant dans le comportement des rivières.

Le potamologue — ou spécialiste des rivières — est confronté aujourd'hui à de véritables défis. L'un de ceux-ci est le développement de nouvelles stratégies d'aménagement et de gestion des cours d'eau compatibles avec une utilisation rationnelle des ressources hydriques, dans un environnement soumis à des pressions ou à des tensions croissantes, aussi bien naturelles qu'induites par l'activité humaine.

Un travail considérable a été fait pour mieux connaître le cycle de l'eau et l'hydrologue dispose aujourd'hui d'outils pour estimer avec une assez bonne précision les volumes d'eau qui transitent par les fleuves et rivières pour une

comme conséquence des réductions de niveaux de crue de l'ordre de 10 à 23 cm selon les endroits dans le cours du Haut-Rhin. Pour avoir un effet significatif sur le Moyen-Rhin et le Bas-Rhin, la date d'arrivée de la pointe de crue doit être prévue quatre jours à l'avance. Le développement de la crue sur le Haut-Rhin doit l'être cinq jours à l'avance. Des études sont en cours en Allemagne pour évaluer les possibilités d'une re-naturalisation des cours d'eau et l'opinion prévaut que ceci pourrait avoir un impact considérable, bien plus que de rendre perméable une partie des superficies devenues ou rendues imperméables.

Dans son rapport sur les crues de 1993/94, l'Institut Fédéral Allemand d'Hydrologie résume la situation de la façon suivante (ENGEL *et al.* 1994). Des solutions unilatérales évidentes ne peuvent tenir tête à des phénomènes aussi complexes que les événements de crue. Ce qui était bénéfique ou approprié dans un cas peut s'avérer être un investissement raté dans d'autres conditions. Seul un concept d'ensemble, qui combine et coordonne toutes les activités, peut améliorer les efforts pour atténuer les crues.

Il est cependant intéressant de constater que la cause première des crues et inondations des bassins du Mississippi en 1993 et du Rhin en 1993/1994 sont d'ordre climatologique, donnant à ces crues un caractère de catastrophe naturelle. Cela n'empêche qu'un certain nombre de facteurs liés à l'activité humaine ont aggravé des inondations.

LE CAS DE LA LOIRE, FRANCE

La Loire est un autre cas intéressant. En effet, ce grand fleuve alluvial est un des seuls en Europe à être resté dans un état assez naturel. Au sortir du Massif central, il coule dans une large vallée formée par ses propres alluvions, son cours encombré de bancs de sable et de graviers. Parmi les ouvrages d'aménagement, citons les levées érigées depuis le Moyen Age (DION 1934) et quelques ouvrages locaux de navigation — appelés «chevrettes» et «duits» — construits au siècle passé (BABONAUX 1970) et dont on se demande aujourd'hui s'il faut les garder ou les enlever (fig. 5).

Les mesures anciennes montrent, à débit égal, un relèvement progressif des niveaux de crue. Ceci serait avant tout la conséquence de la construction des levées, au fur et à mesure que des parties de la plaine d'inondation étaient isolées du lit fluvial. On constate, par contre, un abaissement de la ligne d'eau à l'étiage; on se demande pourquoi.

LE CAS DU DELTA DU GANGE-BRAHMAPOUTRE-MEGHNA, BANGLADESH

Les inondations au Bangladesh sont bien connues, particulièrement celles de 1987 et 1988. En 1988, lors des crues du Gange et Brahmapoutre, 60 % du territoire du Bangladesh était resté sous eau pendant des semaines, désastre qui fut

pluie donnée. L'hydrologue sait l'impact de l'homme sur les différentes composantes du cycle hydrologique, tels le ruissellement ou l'infiltration. Des mesures peuvent être prises pour réduire la quantité d'eau drainée vers les fleuves et la vitesse avec laquelle elle y arrive.

Cependant, une question revient continuellement, toujours sans réponse définitive: dans un fleuve en crue, un même volume d'eau écoulé par unité de temps — c'est-à-dire un même débit — donne-t-il aujourd'hui un niveau d'eau plus élevé qu'auparavant? Des questions complémentaires seraient: à débit de crue égal, quelle serait la part d'une éventuelle augmentation du niveau d'eau due à une évolution naturelle, laquelle serait due à l'action de l'homme? Les risques d'inondation catastrophiques vont-ils croissant? Quelles mesures permettraient d'y remédier, soit pour réduire les niveaux de crue à débit égal, soit pour réduire les débits de crue à pluie égale?

Nous entrons ici dans le domaine de l'hydraulique fluviale et nous verrons plus loin qu'il faut étendre le débat, passer dans le domaine de la potamologie. Les inondations peuvent être de nature très différente. La recherche de solutions spécifiques aux problèmes des crues et inondations devrait profiter du développement d'une nouvelle approche basée sur des types de sous-bassins ou de types de morphologie des cours d'eau.

Crues, pluies et climat

Bien sûr, il y a la question d'un possible changement du régime des pluies. Le sujet du changement de climat est fort médiatisé. Des budgets considérables sont alloués à la recherche sur l'effet de serre, mécanisme dans lequel l'effet anthropique semble être prouvé. Mais on a tendance à oublier l'effet au cours des temps du changement naturel du climat sur le régime des fleuves.

Ce climat terrestre est tout sauf stable, comme le montrent les résultats des recherches, notamment sur les glaces polaires. L'époque de l'Holocène — en géologie l'ultime partie du Quaternaire — se caractérise depuis près de 10 000 ans par un climat plus stable si on la compare aux 400 000 années précédentes. On sait que les changements climatiques ont rendu possible des grandes migrations, telle celle des Paléo-sibériens qui passèrent le détroit de Béring, alors à sec, lors de la dernière grande glaciation du Wisconsin, qui s'étendit approximativement de 80 000 à 8 000 ans avant J.-C. Ces premiers Indiens étaient les véritables découvreurs du Nouveau Monde (WALDMAN 1985).

Quelque 18 000 ans d'ici, les niveaux des mers étaient fort bas du fait de l'extension des calottes de glace polaires. La Mer du Nord et la Méditerranée n'existaient pas. Des fleuves comme le Rhin, la Meuse et l'Escaut ne débouchaient pas dans le delta que nous connaissons aujourd'hui, mais dans l'océan Atlantique, quelque part entre la Bretagne et la Grande-Bretagne, et cette

dernière n'était pas une île. Le Nil se jetait dans un lac situé au sud de l'Italie. Le Gange, le Brahmapoutre et le Meghna ne convergeaient pas vers l'actuel delta commun, mais avaient des embouchures distinctes en bordure d'une mer très profonde dans la Baie de Bengale (UMITSU 1993).

Peu d'éléments nous permettent d'imaginer le régime des pluies au cours des derniers millénaires et la façon dont il a évolué au cours de l'Holocène. Des études sur les sédiments du lac Titicaca, cet immense plan d'eau situé dans les Andes à environ 3 808 mètres d'altitude, ont permis de démontrer des fluctuations de niveau correspondant à des changements significatifs du régime des pluies et du climat. Dans ce bassin fermé, sans exutoire, toute l'eau pluviale est évaporée. Environ 95 % des volumes des précipitations sur le lac et ses affluents sont évaporés, 5 % s'écoulant par une rivière vers des lacs salés inférieurs (MOURGUJART *et al.* 1992). Le bilan des masses d'eau de pluie échangées avec l'extérieur du bassin peuvent générer des tendances de montée ou de baisse des eaux sur de longues périodes. Au cours des derniers 8 000 ans, le lac a connu une montée significative d'environ 20 m que l'on peut mettre en rapport avec la montée du niveau des océans (fig. 7). Tout comme pour ces derniers, le niveau du lac s'est stabilisé, avec cependant des fluctuations annuelles et inter-annuelles. Les inondations catastrophiques survenues en 1986 dans les deltas en bordure du lac seraient exceptionnelles, peut-être uniques, et pourraient s'expliquer par un accident climatique dans la région (lié à El Niño?). Elles ne se répéteront peut-être jamais.

D'autres études ont permis de déceler des variations climatiques brusques dans la période antérieure à l'Holocène. Il est probable que le régime des pluies était plus variable qu'au cours des derniers millénaires. L'étude géomorphologique des cours d'eau alluvionnaires démontre qu'ils ont été plus dynamiques, plus divagants, ce qui ne peut s'expliquer que par des débits plus variables, sinon plus élevés.

La géomorphologie, la tectonique, les changements de climat et l'action anthropique

Les changements de climat et la tectonique sont, entre autres, responsables de modifications importantes de la géomorphologie terrestre, donc aussi dans les bassins fluviaux et leurs cours d'eau. C'est ainsi que certaines régions, comme les grandes îles de l'océan Pacifique ou les bassins drainant les grands massifs montagneux de l'Himalaya et des Andes, ont été soumises à des changements rapides.

Les changements du régime sédimentaire des fleuves sont liés à de nombreux facteurs, notamment climatiques et anthropiques; ils ont changé l'aspect de bien des fleuves. A l'échelle des temps géologiques, les cours d'eau connaissent parfois des modifications dramatiques, cependant peu visibles à l'échelle

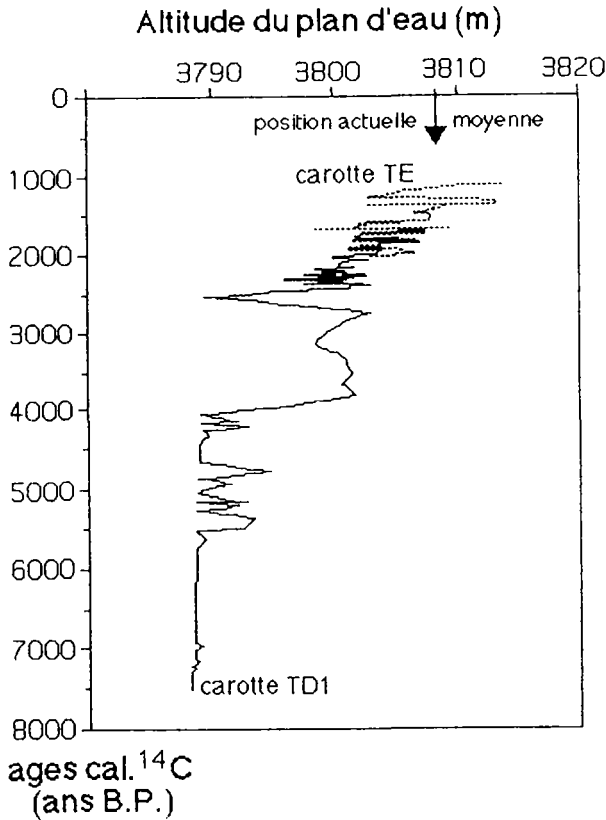


Fig. 7. — Chronologie des niveaux d'eau du lac Huichaimarca (lac Titicaca) entre 7 700 et 1 000 B.P.; la flèche indique le plan d'eau actuel.

de vie humaine. Les bassins supérieurs s'érodent et les rivières s'incisent dans le paysage, tandis que les cours moyens et inférieurs des rivières se relèvent, se rehaussent par sédimentation.

Les rivières ne sont jamais en équilibre, mais fluctuent par rapport à un état de quasi-équilibre. Elles sont soumises à des évolutions géomorphologiques à long terme suite à ces phénomènes d'érosion et de sédimentation, aussi à la tectonique.

Le processus d'érosion des terres est lié à la géologie. Prenons l'exemple du Fleuve Jaune dont le bassin supérieur se trouve dans une région composée de loess. Ce limon d'origine éolienne déposé lors de phases climatiques froides est facilement érodé, ce qui donne lieu à des débits solides exceptionnellement élevés et provoque un rehaussement du cours inférieur du fleuve. Les Chinois ont

rehaussé leurs digues jusqu'à avoir le cours d'eau coulant à certains endroits à sept mètres au-dessus du lit antérieur.

L'homme tente d'exploiter au mieux les ressources terrestres et hydriques, mais il tente aussi de se protéger contre les catastrophes naturelles que sont les crues. Il construit des barrages, des ouvrages de déviation et de rétention d'eau, des levées; il canalise les cours d'eau, crée des coupures de méandres. Il perturbe ainsi les processus géomorphologiques.

Aux U.S.A., l'impact sur ces processus géomorphologiques fut remarquable et soudain. La «mise en valeur» rapide de vastes étendues pour l'agriculture, suivie de travaux fluviaux d'envergure, a provoqué des désordres morphologiques importants. Des mesures «correctives» ont suivi, soit pour diminuer les érosions des terres, soit pour limiter les quantités de sédiment drainées vers le système fluvial, en le piégeant derrière des ouvrages de rétention.

Les rivières réagissent aux changements induits par la nature et par l'homme, parfois lentement, parfois vite. Il s'ensuit une modification de la capacité d'évacuation des débits de crue.

Les changements dus au climat se passent à des échelles de temps de centaines ou de milliers d'années et sont difficiles à déceler à l'échelle de temps d'une vie humaine. Par contre, l'impact de l'activité humaine sur la morphologie des fleuves, et donc sur leur capacité d'évacuer les débits, se produit à des échelles de temps bien plus courtes.

La géomorphologie détermine le comportement des rivières en crue. Aussi, les moyens de combattre ces crues et leurs inondations devraient être adaptés aux conditions géomorphologiques de chaque tronçon. La Meuse, par exemple, se comporte différemment en amont de Namur qu'en aval de Liège. En amont de Namur, le lit de la Haute-Meuse (fig. 8) est confiné dans une vallée étroite, avec peu de liberté de mouvement, plus qu'en Basse-Meuse ou dans l'Ourthe (fig. 9). Mais la Meuse dans son ensemble se trouve dans un bassin où les changements géomorphologiques sont incomparablement moindres que dans le delta du Gange, par exemple.

Dans le Nil, des études récentes ont révélé des changements significatifs dans sa morphologie en aval du barrage d'Assouan: forme en plan plus simple, cours plus stable. L'impact à long terme d'une réduction de la charge solide en aval du barrage et une régularisation du régime des crues en sont les causes principales.

Les cours d'eau au pied des Andes connaissent des changements morphologiques rapides. En Bolivie, la rivière Piraí — affluent d'un des tributaires principaux de l'Amazone — a connu des mouvements brutaux dans une partie de son cours, donnant lieu à des inondations catastrophiques. Ces changements sont liés à des érosions rapides dans son bassin supérieur. Une nouvelle approche a été adoptée, remplaçant la stabilisation — le «domptage» — de la rivière par une gestion de crue dans le cours d'eau avec la création de zones d'inondation contrôlée avec stockage des eaux et des sédiments.



Fig. 8. — La Meuse à Dinant pendant la crue de 1993 (photo Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports).

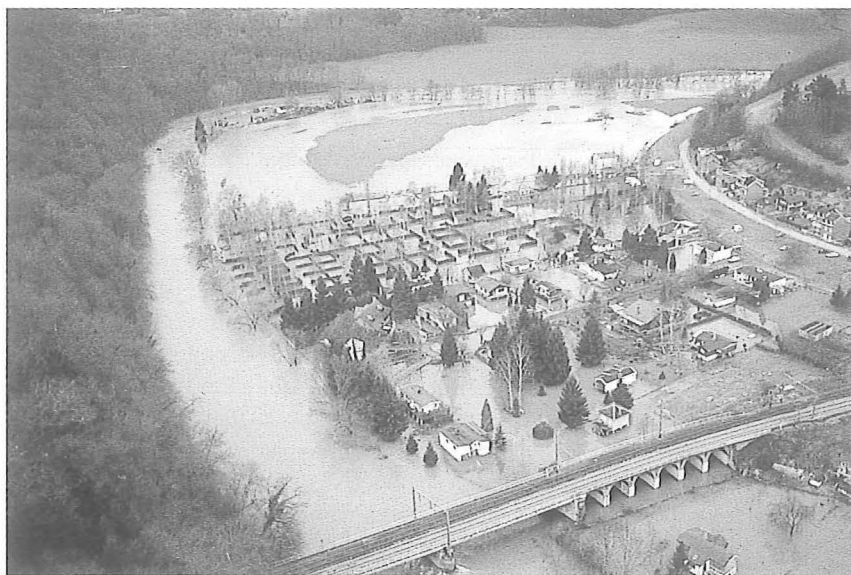


Fig. 9. — L'Ourthe en crue, 1993 (photo Ministère Wallon de l'Équipement et des Transports).

Le Rhin, le Mississippi, le Gange, le Brahmapoutre, le Nil, la Loire, sont autant de fleuves aux caractéristiques géomorphologiques fort différentes. Ils ont cependant tous un point en commun : une adaptation de la géométrie de leur système de chenaux. Leur capacité hydraulique à fort débit aurait été modifiée, créant des conditions moins favorables à l'évacuation des crues exceptionnelles, ce qui donnerait alors lieu à une aggravation des inondations.

Des études potamologiques peuvent déceler les tendances, les modifications des conditions géomorphologiques des rivières et de leurs bassins. Il faudrait créer une typologie des rivières, une sorte de classification des morphologies fluviales. Celle-ci devrait servir de base au développement des plans directeurs d'aménagement des cours d'eau et de leurs bassins.

Peu se sait au sujet des mécanismes fluvio-morphologiques, d'autant plus que les données manquent. Il faudrait de longues séries de données fiables pour déceler des tendances dans l'évolution de la capacité d'un cours d'eau à évacuer des crues ; elles manquent généralement. Des études comparatives sur des bassins et tronçons de rivières de même type devraient permettre de révéler les mécanismes à la base de ces tendances.

Encore faudrait-il savoir si les politiciens et les décideurs seraient intéressés par de telles actions dont les résultats ne seraient visibles qu'à très long terme. Il est un fait qu'ils préfèrent généralement inaugurer de grands ouvrages plutôt que de financer des activités moins spectaculaires telles les études potamologiques ou d'évaluation des ressources en eau — celles dont nous parlera le représentant de l'OMM.

Synthèse et conclusion

Les crues des rivières sont le résultat de la variabilité des pluies, phénomène naturel inévitable. Afin de réduire le débit des rivières en crue, mais aussi pour gérer ses ressources en eau, l'homme a construit des ouvrages de rétention de ces eaux de pluie. Il a pour cela opté pour une capacité de stockage basée sur une période de retour choisie en fonction de données économiques. Il a d'autre part aménagé le lit des rivières pour répondre à plusieurs besoins : réduire l'étendue des zones inondables en crue, faciliter l'évacuation des crues, améliorer les conditions de navigation, et bien d'autres. Cet ensemble de mesures a permis des développements économiques parfois spectaculaires.

Depuis quelque temps, les crues et inondations apparaissent plus graves. Des causes ont été identifiées, que personne ne conteste. C'est le cas de l'imperméabilisation des sols, de la réduction des zones naturelles de rétention des eaux de ruissellement et des eaux de crue. Par contre, les experts ne parviennent pas à se mettre d'accord sur les changements à plus ou moins long terme de la morphologie des rivières, changements qui seraient dus aussi bien à des évolutions géomorphologiques naturelles qu'à celles induites par l'activité humaine.

Le changement de climat vient compliquer le débat. Les études sur le climat sont nécessaires pour évaluer les tendances dans l'évolution des pluies extrêmes. La mise en place de modèles de prédiction des crues permet de gérer celles-ci et d'en limiter les conséquences désastreuses, notamment par la création de programmes d'alerte et de préparation des populations. Dans certaines régions, l'homme a adapté son mode de vie aux inondations qu'il considère même comme bénéfiques, comme au Bangladesh. Ses stratégies de survie sont cependant mises en péril lors d'inondations catastrophiques.

Même si des mesures de gestion des ressources hydriques peuvent être prises pour réduire les inondations catastrophiques, certains pensent que des changements dans la morphologie des rivières ont été induits tant par des causes naturelles que par l'activité humaine. Ils pensent qu'il faudrait arrêter le «domptage» des rivières et qu'il faudrait le remplacer par des politiques de gestion aussi bien du bassin que du lit de la rivière.

Nous pensons que cette nouvelle approche devrait être basée sur une étude systématique des modifications de la morphologie des rivières. Chaque rivière ou tronçon de rivière devrait être traité suivant une typologie à mettre en place.

Une telle approche permettrait de répondre à la question du changement de la morphologie des fleuves et rivières et de leur impact sur leur capacité d'évacuation des eaux de crue, question restée sans réponse jusqu'aujourd'hui. Il faudrait plus de recherche dans ce domaine car nous nous trouvons face à des problèmes qui peuvent trouver des solutions économiquement acceptables, surtout si nous considérons les dommages créés par ces inondations catastrophiques.

Il faut bien se rendre à l'évidence: les crues catastrophiques dues à des événements météorologiques exceptionnels sont inévitables, comme le sont les cyclones ou tremblements terrestres. Ceci est un fait que l'homme devrait apprendre à accepter. La réponse est la mise en place de programmes de préparation des populations et d'alerte aux crues de façon à en limiter les dommages.

Il faut abandonner la politique de domptage à tout prix des rivières et la remplacer par une meilleure gestion des bassins et surtout des rivières.

Enfin — et ceci s'applique surtout à un certain nombre de cas dans des pays en développement, comme au Bangladesh — il faut reconnaître aux fleuves leur droit de crue, certainement dans les régions où ces crues et où les inondations qui y sont associées sont bénéfiques pour l'homme et pour la nature.

BIBLIOGRAPHIE

- BABONAUX, Y. 1970. Le lit de la Loire, Etude d'hydrodynamique fluviale. — Bibliothèque Nationale, Paris.
- DION, R. 1934. Le Val de Loire. — Lafitte, Marseille (réimpression).

- ENGEL, H., BUSH, N., WILKE, K., KRAHE, P., MENDEL, H.-G., GIEBEL, H. & ZIEGER, C. 1994. The 1993/94 Flood In The Rhine Basin. — Bfg-Report No. 0833, Federal Institute of Hydrology, Koblenz.
- MOURGUART, P., WIRRMANN, D., FOURNIER, M. & SERVANT, M. 1992. Reconstruction quantitative des niveaux du petit lac Titicaca au cours de l'Holocène. — C. R. Acad. Sci. Paris, t. 315, sér. 2, pp. 875-880.
- PETERS, J.J. 1994. Manejo de Ríos en la Cuenca del Pirafí, CE-SEARPI.
- UMITSU, M. 1993. Late Quaternary Sedimentary Environments and Landforms in the Ganges Delta. — *Sedimentary Geology*, **83**: 177-186.
- WALDMAN, C. 1985. Atlas of the North American Indian. — Facts on File, New York.