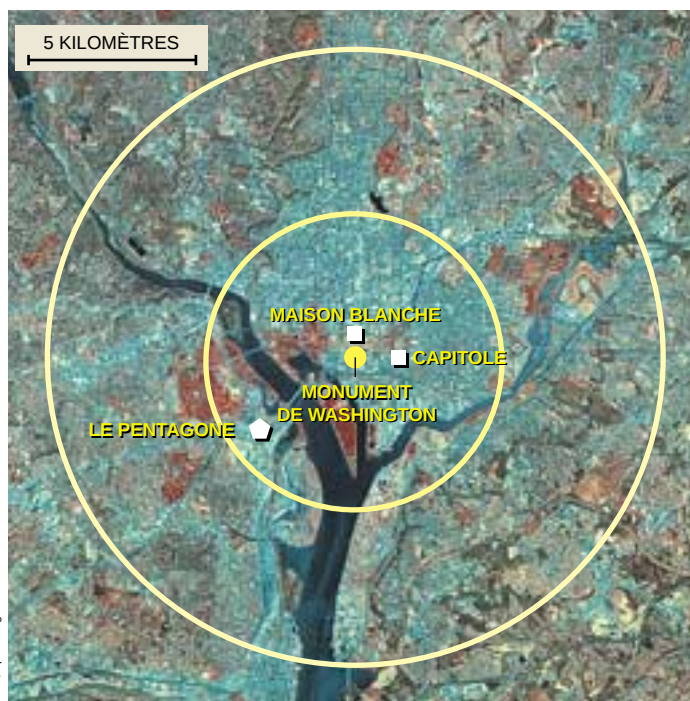


Le gouvernement américain, qui a la plus forte capacité nucléaire et un commandement plus efficace, devrait prendre une nouvelle initiative et proposer de retirer les ogives américaines qui menacent le plus les forces de dissuasion russes (notamment celles qui visent les silos de missiles russes et les postes de commandement souterrains). Les ogives les plus menaçantes sont celles qui équipent les 50 missiles MX placés dans des silos, armés de dix ogives chacun, ainsi que les 400 ogives W-88 de forte puissance qui arment certains des missiles des sous-marins de la classe Trident. Nous recommandons également d'immobiliser tous les missiles Minuteman III basés à terre (soit environ 500 missiles), armés de trois ogives chacun, de diminuer de moitié le nombre de sous-marins

déployés en temps de paix, et de porter de huit à quatre le nombre d'ogives de chacun des missiles de ces sous-marins. Le mode de fonctionnement des sous-marins lanceurs d'engins devrait être également modifié, de manière que les équipages aient besoin d'environ une journée pour préparer les missiles au lancement.

Ces mesures laisseraient près de 600 ogives américaines à l'abri en mer, chacune susceptible de détruire le centre d'une grande ville. Avec de telles forces, les États-Unis préserveraient leur capacité de dissuasion, mais ils montreraient bien qu'ils ne veulent pas attaquer la Russie. La Russie continuerait alors sans doute la désactivation de la plupart de ses missiles, et le désarmement stipulé par les traités START II et III serait accéléré : il pourrait s'achever en moins de deux ans.

Comment vérifier l'application de ces mesures ? On peut surveiller le nombre de sous-marins à quai et prévoir des inspections surprises des sites, conformément à l'accord START I. À plus long terme, on peut chercher de nouveaux moyens techniques pour vérifier fréquemment que les missiles nucléaires ne constituent pas une menace immédiate. Par exemple, des



3. PLUSIEURS CENTAINES DE KILOMÈTRES CARRÉS seraient détruits, autour de Washington, si une ogive nucléaire de 500 kilotonnes explosait au-dessus du Monument de Washington. Le cercle intérieur délimite la zone où la plupart des personnes seraient directement tuées par l'explosion. Le cercle extérieur délimite la surface où les habitants périeraient en raison des incendies dévastateurs provoqués dans les zones construites. Il y aurait des victimes sur une étendue plus vaste encore.

«scellés» électroniques garantiraient qu'un composant enlevé d'un missile n'a pas été remis en place. L'intégrité de ces scellés serait vérifiée à distance par des systèmes de communication codée par satellite.

Le niveau zéro d'alerte globale

Ce plan de désactivation des forces nucléaires américaines et russes, qui réduirait notablement le risque d'une attaque, aurait un double avantage : il éviterait le maintien de missiles prêts à être lancés sur alerte et supprimerait toute raison de les maintenir ainsi. Les chefs d'État seraient contraints d'attendre la confirmation d'une attaque avant de décider d'une riposte, ce qui réduirait beaucoup le risque d'un lancement accidentel ou non autorisé.

Les dirigeants militaires russes et américains insisteront sans doute pour garder une partie de leur arsenal en état d'alerte maximale, quelques centaines d'ogives chacun, jusqu'à ce que les autres puissances nucléaires – la France, la Grande-Bretagne et la Chine – adoptent des mesures semblables. Cependant, si les États-Unis et la Russie

aspirent à des normes de sécurité stricte pour leurs armes nucléaires, ils devraient s'empresse de retirer toutes leurs forces nucléaires de l'état d'alerte et de prendre ensuite des mesures supplémentaires pour augmenter le temps nécessaire à la réactivation de ces armes.

L'objectif ultime serait de séparer la plupart, sinon toutes les ogives nucléaires de leurs missiles, puis, à terme, d'éliminer la majorité des ogives et des missiles en stock. Un programme aussi vaste nécessite le renforcement des moyens de vérification : chaque puissance nucléaire doit pouvoir repérer si un autre pays est en train de préparer ses missiles nucléaires pour un lancement rapide.

Ceux dont l'inquiétude majeure demeure une attaque surprise rechigneront naturellement à s'engager dans un tel programme global de désarmement nucléaire. La conception des procédures exactes de désactivation nucléaire doit tenir compte de cette crainte pour que l'on supprime le risque le plus immédiat : le lancement accidentel ou non autorisé de missiles nucléaires.

Bruce BLAIR est conseiller stratégique à l'Institut Brookings, à Washington. Harold FEIVESON, professeur à l'Université Princeton, a travaillé à l'Agence américaine pour le contrôle des armements et le désarmement. Franck von HIPPEL, également professeur à l'Université Princeton, a été, en 1994, directeur adjoint de la sécurité militaire américaine.

Bruce G. BLAIR, *The Logic of Accidental Nuclear War*, Brookings Institution, 1993.

Bruce G. BLAIR, *Global Zero Alert for Nuclear Forces*, Brookings Institution, 1995.

Lucien POIRIER et Gérard CHALIAND, *Le chantier stratégique*, Hachette-Pluriel, 1997.

The Future of U.S. Nuclear Weapons Policy, National Academy of Sciences, National Academy Press, 1997.

Prévenir les inondations

YVETTE VEYRET • GÉRALD GARRY

*Les crues et les inondations sont généralement prévisibles.
On préviendra plus efficacement les risques
en tenant mieux compte du passé lors des aménagements.*

Les inondations, les avalanches et les mouvements de terrain sont des phénomènes naturels qui, régulièrement, font des victimes, et endommagent des biens et des équipements. Le nombre et la localisation des inondations survenues ces dernières années rappellent l'ampleur des crues en France. Ainsi, en janvier 1995, près de 2 700 communes ont fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle, dont 236 dans le seul département des Ardennes ; dans le Finistère, on en a compté 184 en un seul mois, contre 207 au cours des 12 années précédentes. Les dégâts ont surtout lieu dans les villes ou dans les périphéries urbaines, souvent installées au bord de grands cours d'eau : Paris, Lyon, Bordeaux, Toulouse, Orléans, Tours, Nancy... Toutefois, les inondations atteignent aussi des agglomérations plus petites, implantées dans des vallées, en contrebas de plateaux occupés par des activités agricoles. Plus généralement, elles n'épargnent pas les zones rurales.

Les risques d'inondation ont-ils augmenté, en cette fin de XX^e siècle ? Une telle question n'est pas nouvelle : elle a déjà été posée au XIX^e siècle devant la fréquence des écoulements torrentiels, sans qu'une réponse concluante lui soit donnée. En admettant que la fréquence et l'étendue des crues augmente effectivement, comment distinguer la part des causes naturelles et celle des causes d'origine humaine ? La crise climatique du Petit Âge glaciaire en Europe, qui aurait augmenté la fréquence des pluies torrentielles en montagne entre le XIV^e et le XIX^e siècle, est-elle à l'origine des inondations importantes des XVIII^e et XIX^e siècles ? Pendant la même période, l'homme a fortement déboisé, ce qui aurait eu pour conséquence d'augmenter le ruissellement.

Bien que nous ne sachions pas répondre de façon générale à ces questions, nous connaissons l'origine de la plupart des inondations, et nous savons les prévoir. Les archives, les études hydrologiques et l'analyse géomorphologique indiquent où et comment des crues se produisent : elles se répètent, irrégulièrement, dans les mêmes zones. L'analyse de l'occupation des sols et des étapes de l'aménagement des vallées permettent l'évaluation des risques actuels pour les personnes et les biens. De telles études, essentiellement qualitatives, fondent aujourd'hui la politique nationale de prévention des catastrophes, par un aménagement du territoire qui prend en compte les risques naturels et s'y adapte.

Crues et ruissellement

Les inondations ne se manifestent pas de la même façon sur l'ensemble du territoire. La nature des précipitations et les caractéristiques des bassins versants (taille, topographie, géologie, sols et aménagements) conduisent à une typologie des crues en trois grandes catégories.

Les crues à montée lente dans les plaines alluviales, comme celle de la vallée de la Meuse en 1993 (voir la figure 1), résultent de successions de pluies sur l'Europe de l'Ouest produites par les masses d'eau océaniques en automne ou en hiver. La lenteur de la montée des eaux laisse le temps de prévenir la population et de la mettre à l'abri, et ces crues

ont surtout un impact sur les biens et sur les activités économiques.

À l'opposé, les crues du Sud de la France et des montagnes surviennent rapidement : elles sont provoquées par de violentes averses méditerranéennes ou par de brusques fontes des neiges. Elles sont dommageables pour les biens, mais surtout dangereuses pour les hommes.

La plus célèbre de ces dix dernières années est celle de l'Ouvèze, à Vaison-la-Romaine, en septembre 1992. Le petit bassin versant montagneux de 580 kilomètres carrés en amont de Vaison a un sol mince qui absorbe peu les eaux de pluie. Les fortes précipitations, localement supérieures à 300 millimètres en trois heures, se sont donc déversées rapidement dans l'Ouvèze, dont le débit à Vaison a été estimé entre 700 et 1 100 mètres cubes par seconde au maximum de la crue (il est ordinairement de 20 à 30 mètres cubes par seconde).

Les conséquences de cette crue ont été dramatiques : le camping, installé sur une zone anciennement connue comme inondable, au confluent de l'Ouvèze et du Lauzon, a été submergé, tout comme le pont romain, dont le parapet avait déjà été emporté par une crue en 1616. Une zone d'activités et des lotissements, construits dans le lit d'inondation de la rivière, ont été partiellement détruits ; le bâtiment occupé par les sapeurs-pompiers et une école ont été envahis par plusieurs mètres d'eau. En aval, la crue a touché d'autres localités, telles Bédarrides et

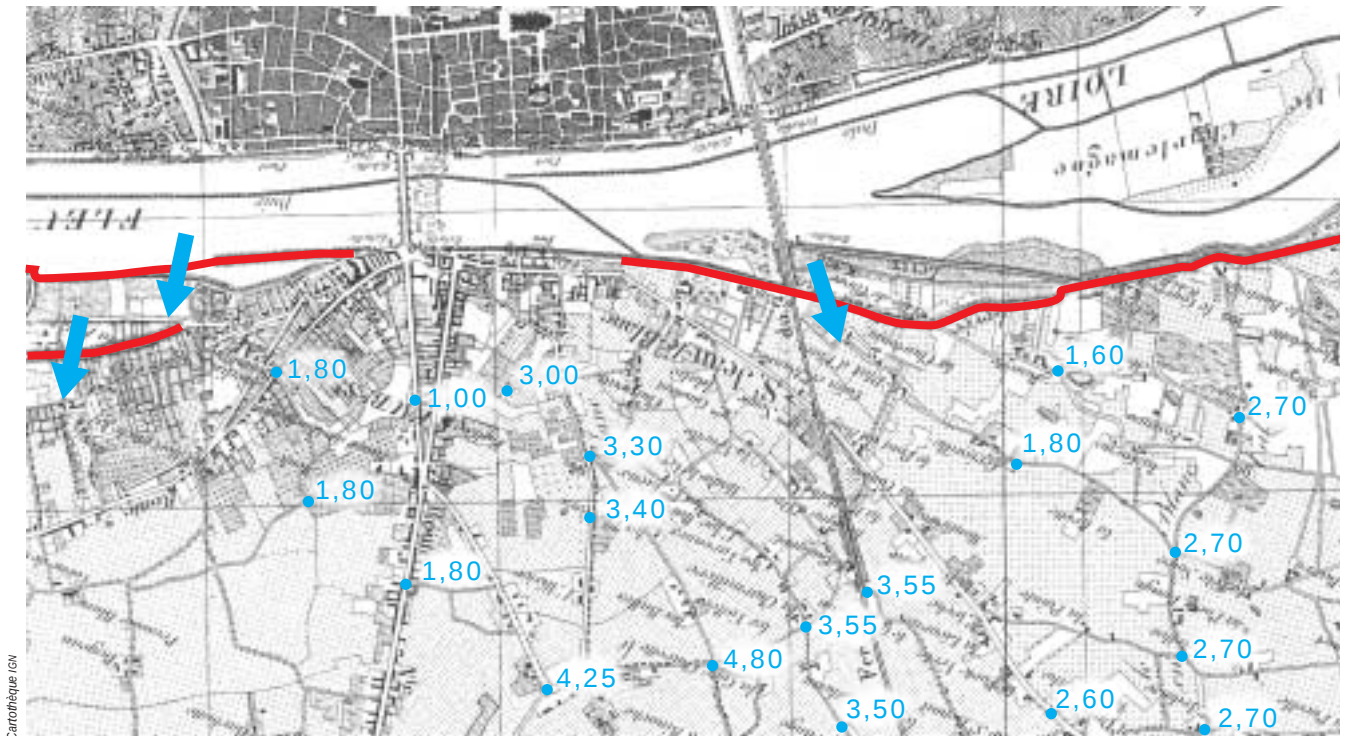
1. LES FLEUVES ET LES RIVIÈRES inondent les villes construites dans les plaines alluviales. À Paris, la dernière grande inondation s'est produite en 1910 (en haut). Le jour où le bassin de la Seine recevra des quantités d'eau proches de celles tombées en 1910, l'imperméabilisation des sols, qui résulte de l'urbanisation et des méthodes de culture sur les plateaux, risque d'accroître les quantités d'eau à écouler dans le fleuve. Si les barrages construits en amont sont remplis au moment des fortes pluies, ils ne suffiront pas à empêcher l'inondation. La crue de la Meuse à Charleville-Mézières en 1993 (en bas) montre que le problème des inondations est toujours d'actualité.



Branger-Violet



Facilly/Six



2. LA RIVE SUD DE LA LOIRE face à Orléans a été urbanisée depuis le milieu du XIX^e siècle avec une prise en compte insuffisante des risques d'inondation. Les crues de 1846, 1856 et 1866, les plus hautes que l'on connaisse, ont recouvert toute la plaine alluviale, partielle-

ment représentée sur les deux cartes ci-dessus. La carte de gauche, relevée en 1848 (la toponymie est inscrite à l'envers), montre les hauteurs d'eau atteintes ponctuellement en 1856 (chiffres bleus) ainsi que les brèches (flèches bleues) ouvertes dans les digues construites

Aubignan. Au total, cette catastrophe a provoqué une quarantaine de morts.

Le troisième type d'inondations correspond au ruissellement urbain. En moyenne, la perméabilité des sols est réduite de 30 à 40 pour cent dans les secteurs d'habitat individuel, de 50 à 90 pour cent dans les zones industrielles, et de plus de 60 pour cent en centre-ville. Le ruissellement des pluies intenses peut alors conduire à des catastrophes, telle celle survenue à Nîmes, le 3 octobre 1988, après la chute de 300 millimètres d'eau en quelques heures. À la moindre absorption de l'eau par le sol s'est ajoutée l'obstruction des cadereaux, anciens chenaux naturels d'écoulement des eaux sur le flanc du plateau karstique qui domine la ville : on y a construit des routes et des bâtiments. Des arbres et des automobiles, entraînés par l'écoulement torrentiel, se sont accumulés derrière ces obstacles et ont formé des retenues dont les ruptures ont provoqué l'arrivée de l'eau par vagues dans les parties basses de la ville. Enfin, le réseau urbain d'évacuation des eaux de pluie, de trop faible capacité, n'a évacué l'eau que lentement, provoquant son accumulation au fond de la vallée.

À ces trois phénomènes s'en ajoutent d'autres, plus rares. Ainsi, quelques villes du littoral (Bordeaux, Quimper)

situées sur des estuaires, seraient partiellement inondées dans le cas où une crue du fleuve se conjuguait avec des vents dominants soufflant dans l'axe de l'estuaire, avec une marée de fort coefficient et avec des pluies localisées.

De brusques torrents boueux

Les travaux récents du ministère de l'Environnement prennent aussi en compte les laves torrentielles, fréquentes en montagne : des torrents de boue, composés de roches de taille variable emballées dans une matrice argileuse, se forment après des averses violentes ou par la fonte rapide des neiges, et empruntent le chenal torrentiel sur des pentes fortes. Ces laves peuvent être très dommageables, comme à La Ravoire en Savoie, en 1981, ou au Grand-Bornand en Haute-Savoie, en 1987.

Les inondations sont-elles plus fréquentes ou plus dévastatrices que par le passé ? Nous ne disposons pas d'observations précises sur une durée assez longue pour en dégager des tendances statistiques. De ce fait, notre seul moyen d'évaluer une éventuelle aggravation consiste à étudier les facteurs responsables des inondations et leur évolution au cours du temps.

Toutes les inondations ont une cause naturelle commune : la pluie. Toutefois, l'ampleur et la fréquence des inondations ne sont pas directement associées aux totaux pluviométriques annuels : les averses importantes qui sont à l'origine de certaines inondations n'augmentent pas toujours ces totaux, puisqu'elles peuvent être compensées par une pluviosité moindre à d'autres périodes de l'année. L'évolution des moyennes annuelles, faute d'un recul statistique suffisant, ne permet pas non plus de discerner une tendance dans l'évolution du climat. Les précipitations ayant provoqué les inondations les plus graves étaient fortes, mais rarement exceptionnelles : c'est plutôt une occupation des sols favorisant le ruissellement qui est à l'origine des catastrophes.

Une cause importante de l'accroissement du ruissellement est la diminution de la surface en herbe au profit des cultures (en Charente, par exemple, la part des terres cultivées dans les terres labourables est passée de 60 à 80 pour cent entre 1970 et 1980, au détriment des prairies), notamment des cultures de printemps (betterave, lin, céréales de printemps). Celles-ci sont en effet accompagnées, entre une récolte et la culture suivante, d'une longue période durant laquelle le sol est à nu (environ



pour protéger la plaine des inondations (en rouge). Les dégâts ont toutefois à cette époque été limités car la zone était peu construite. Depuis, la commune de Saint-Jean-le-Blanc et les communes alentours se sont développées comme le montre la carte de droite, relevée en

1991. Cette urbanisation n'est pas arrêtée : les structures en rouge sur la carte correspondent aux constructions érigées entre 1984 et 1991. Peu resteraient hors d'eau en cas de crue centennale : il n'est pas certain que les levées résisteraient mieux aujourd'hui.

de l'automne à la fin du printemps). La généralisation de la culture du maïs, planté en lignes espacées, est aussi favorable au ruissellement rapide, au détriment de l'infiltration. Sur les surfaces nues, en particulier sur les sols limoneux du Bassin parisien, les impacts des gouttes de pluie font éclater les particules de surface, libérant ainsi des microfragments qui bouchent les pores du sol. La surface devient lisse et quasi imperméable (on parle de «surface battante») : le ruissellement augmente. Sur un sol limoneux battant, la capacité d'infiltration ne dépasse pas un à trois millimètres par heure, tandis qu'elle est de 30 à 50 millimètres par heure sur un sol non battant.

Dans les vallées du Soissonnais, de Picardie, du Nord ou de Normandie, la mécanisation participe aussi à l'accroissement des inondations : elle tasse les sols, réduit l'infiltration et favorise l'érosion. Les particules fines du sol, transportées par les eaux de ruissellement, augmentent le volume de celles-ci et accroissent les dégradations en se déposant sous forme de boue. En outre, ces particules sont, pour une part importante, de la matière organique du sol, dont le départ favorise les phénomènes de battance, donc le ruissellement ultérieur.

Des travaux expérimentaux, effectués dans le Bassin parisien, indiquent l'importance du ruissellement et des quantités de matériaux déplacés. Pour une pente de 16 degrés, les transports solides sur une parcelle nue ont été de 30 à 60 tonnes par hectare et par an, selon les hauteurs de précipitations. Sur des parcelles voisines portant une forêt peu dense de pins et une prairie, les transports solides étaient respectivement de 0,2 et de 0,1 tonne par hectare et par an. Ces données sont difficilement généralisables à des bassins versants, mais elles fournissent des indications très proches de celles qui sont obtenues dans des situations réelles, y compris sous d'autres climats, en Amérique latine, en Afrique du Nord ou en Afrique tropicale. Une couverture végétale dense constitue généralement une bonne protection contre le ruissellement, l'érosion et les inondations associées.

L'arrachage des haies

Le remembrement, agrandissement des parcelles pour faciliter l'exploitation agricole, a conduit à la destruction des haies et à la suppression des irrégularités des versants qui freinaient le cheminement de l'eau : il est souvent accusé de favoriser les inondations.

Certains talus absorbent effectivement beaucoup d'eau : en Bretagne, des haies associées à des fossés retiennent 200 à 300 litres d'eau par mètre linéaire, soit une pluie de cinq à six millimètres. Il est tentant d'extrapoler ces chiffres aux 8 000 kilomètres de talus et de haies qui ont été détruits en Bretagne par le remembrement en 20 ans, mais toutes les haies détruites n'avaient pas cette capacité d'absorption.

La discussion est posée dans les mêmes termes à propos de la déforestation, qui dénude les sols : les hydrologues et les géographes débattent du rôle réel des surfaces boisées dans la régulation des écoulements et, notamment, des crues. L'ouverture du couvert végétal forestier pour l'aménagement touristique en montagne augmente le ruissellement, mais l'extrapolation de mesures ponctuelles à l'ensemble d'un bassin versant est une simplification excessive. Des travaux conduits dans la région Centre, sur des bassins versants de la Loire dont la surface boisée a augmenté de 60 pour cent entre 1862 et aujourd'hui ne montrent pas de rarefaction corrélative des crues.

Le mauvais entretien et l'aménagement des cours d'eau sont aussi à l'origine d'inondations ou responsables de leur aggravation. La végétation qui

occupe certains fonds de vallées ralenti l'écoulement des eaux, dont l'accumulation provoque l'expansion des crues. Les souches, entraînées par les flots, constituent des embâcles qui surélèvent le niveau de l'eau en amont ou détournent les flots vers d'anciens chenaux de la plaine alluviale. L'extraction de granulats, d'une ampleur parfois considérable, et la transformation de la géométrie du fond et des berges modifient l'écoulement des rivières et des fleuves : dans certains cas, elles augmentent localement le débit du cours d'eau et contribuent à l'évacuation plus rapide des crues fréquentes et de faible ampleur ; en revanche, elles aggravent parfois les inondations de secteurs à l'aval où l'eau arrive plus vite. L'ensemble du fonctionnement du cours d'eau doit être pris en compte lorsque l'on réalise des aménagements ou que l'on implante des ouvrages de protection contre les crues : certains d'entre eux peuvent modifier les écoulements de façon catastrophique pour les populations installées en aval.

L'urbanisation et la construction d'infrastructures, enfin, perturbent les écoulements de plusieurs façons. Leur

extension augmente l'imperméabilisation des sols et le ruissellement. L'implantation des bâtiments et des ouvrages accélère les eaux en les canalisant ou, au contraire, les freine en s'y opposant. Or, au XX^e siècle, les villes et les zones d'activités se sont surtout développées dans les plaines alluviales, exposant toujours plus d'hommes et de biens aux inondations éventuelles. Ainsi, la population des communes périphériques d'Orléans, largement inondées au XIX^e siècle (voir la figure 2), a doublé entre 1851 et 1954, puis a encore été multipliée par 2,6 entre 1954 et 1981. Par ailleurs, certains ouvrages de défense contre les crues participent à l'aggravation de leurs effets, en laissant croire que le risque a disparu. Il en a été ainsi de la construction des levées le long de la Loire, qui ont poussé les hommes à occuper la plaine alluviale, en principe protégée par les digues. La rupture des ouvrages ou leur insuffisance ont été notamment à l'origine d'inondations catastrophiques en 1846, en 1856 et en 1866.

Comment prévenir les inondations et, surtout, les dégâts qu'elles occa-

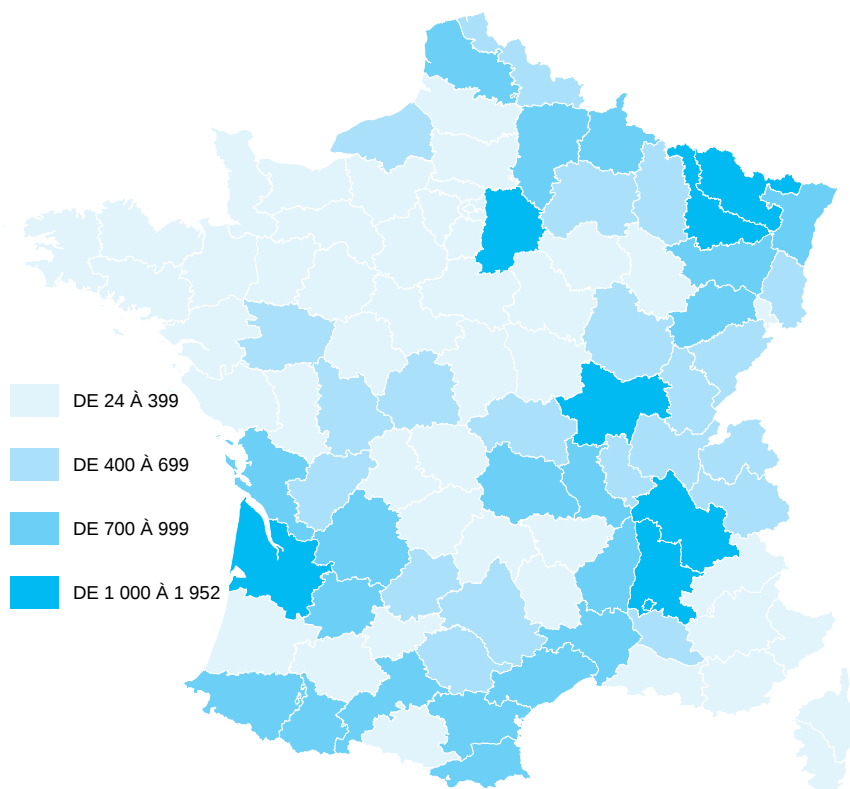
sionnent ? Une prise de conscience collective a progressivement émergé en France depuis la fin du XIX^e siècle sur la nécessité de cette prévention, à court et à long terme. Depuis le début des années 1980, elle s'est traduite par plusieurs mesures qui visaient à la maîtrise du risque et à la précision des compétences respectives de l'État, des collectivités territoriales et des populations riveraines.

L'alerte d'urgence

L'annonce des crues, destinée à alerter les populations, est ancienne. L'État, sans en avoir l'obligation, l'a mise en place depuis 1854 sur les bassins de la Seine et de la Loire, et depuis 1857 sur celui de la Garonne. Les services d'annonce des crues, qui ont été renouvelés par un arrêté interministériel de 1984, couvrent aujourd'hui 16 000 kilomètres de cours d'eau. Ils collectent des données relatives aux précipitations, au niveau de l'eau dans la rivière et à d'autres paramètres météorologiques, grâce à un réseau de capteurs propres ou appartenant à d'autres organismes, et ils les intègrent dans des modèles numériques de prévision ; ils alertent ensuite, en cas de besoin, le préfet, qui répercute les informations auprès des services de protection civile et des maires des communes concernées.

En 1994, la modernisation des réseaux de mesure a été décidée : 950 stations de mesure automatiques transmettent aujourd'hui leurs relevés par radio, téléphone ou satellite, assurant le recueil des données en temps réel. Parallèlement, la surveillance par radar des masses nuageuses au-dessus des zones menacées de crues rapides est étendue, et les modèles de prévision de crue sont améliorés. En outre, grâce à une convention passée avec Météo France, les services d'annonce de crue disposent désormais d'informations précises sur les phénomènes pluvieux, qui leur permettent d'affiner leurs prévisions.

Ce système a toutefois des limites, douloureusement révélées à Vaison-la-Romaine en 1992 ou à Nîmes en 1987 : il ne couvre pas la totalité du territoire, et la mise en œuvre des procédures d'évacuation est toujours suspendue à une décision prise dans l'urgence par le préfet. La réglementation de l'occupation des sols réduit plus efficacement le risque, voire l'annule, en intervenant très tôt sur les orientations de l'aménagement.



3. LE NOMBRE D'INONDATIONS dans chaque département, compté ici par le nombre d'arrêts de catastrophes naturelles inondations entre août 1982 et février 1994, montre qu'aucune partie du territoire français n'est épargnée. Les départements les plus inondés sont aussi bien situés en montagne que dans les grandes plaines alluviales, et aussi bien en France méditerranéenne, souvent perçue comme la région où le risque est le plus grand, que dans la France du Nord.

Le principal outil réglementaire de gestion de l'urbanisme est le plan d'occupation des sols, créé en 1967. Il détermine les modes d'occupation et d'utilisation du sol en tenant compte notamment des risques naturels. Il est élaboré à l'initiative et sous la responsabilité du maire, en relation avec un représentant de l'État. Certains secteurs inondables y sont classés en zones naturelles inconstructibles. Jusqu'à présent toutefois, très peu de plans d'occupation des sols ont directement intégré les risques, notamment parce que cela réduit la valeur des terrains et des constructions, et parce que de nombreux élus locaux redoutent les limitations possibles au développement de leur commune.

S'effacer devant les crues

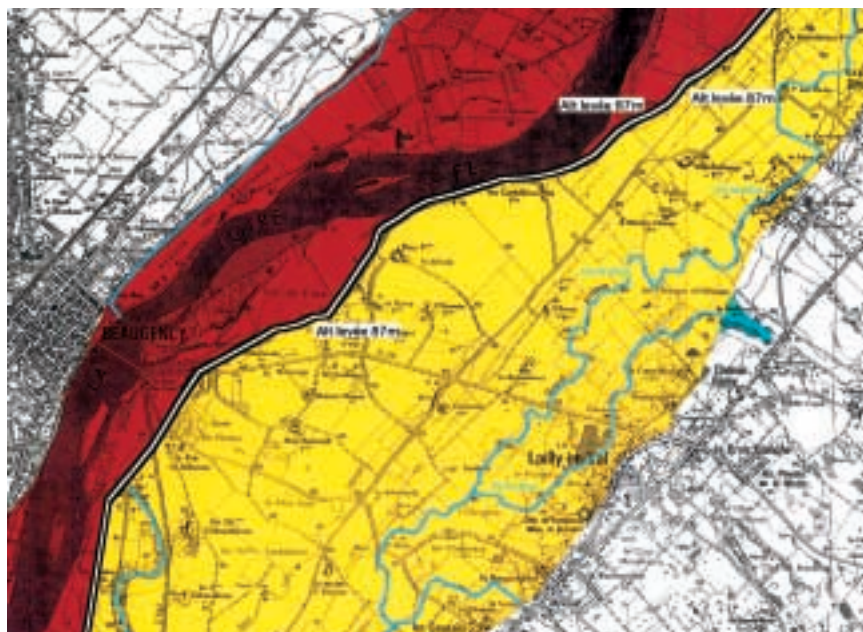
Parallèlement à ce règlement local d'urbanisme, l'État a élaboré depuis une cinquantaine d'années plusieurs documents, les uns spécifiques aux risques, les autres à vocation d'urbanisme (voir la figure 5). Le plan de surfaces submersibles, créé par un décret-loi de 1935, était destiné à assurer le libre écoulement des eaux dans les principales vallées. Ce plan indiquait les zones inondables, en distinguant les secteurs de grands débits, inconstructibles, et les champs d'expansion des crues, constructibles avec certaines réserves (voir la figure 4).

À partir de 1955, le périmètre de risque (qui a depuis donné lieu à l'article R 111-3 du Code de l'urbanisme) a interdit, autorisé ou subordonné à des conditions spéciales la construction sur des terrains exposés à des risques naturels, dont les inondations. Le Code de l'urbanisme permet aussi, au cas par cas, d'interdire ou de soumettre à condition des constructions ou des utilisations du sol là où n'existe aucune réglementation spécifique des risques.

Les plans d'exposition aux risques, créés en 1982, ont marqué la volonté de renforcer la prévention et, surtout, de réduire le coût des dommages, par l'évaluation des conséquences économiques des inondations. L'État devait élaborer et mettre en application ces plans qui déterminaient notamment «les zones exposées et les techniques de prévention à y mettre en œuvre». Ils constituaient une servitude d'utilité publique : ils s'imposaient aux plans d'occupation des sols, auxquels ils étaient annexés.

Ces plans, qui contenaient une cartographie à grande échelle (1/5 000), avaient un caractère quantitatif, et leur élaboration était relativement longue. Elle s'appuyait sur une modélisation hydraulique, destinée à calculer les

inondations de risque centennal (en cent ans, on a deux chances sur trois environ d'observer une crue centennale), et sur une évaluation socio-économique des dommages prévisibles. Par ailleurs, l'opposition d'une com-



4. LE PLAN DE SURFACES SUBMERSIBLES, créé en 1935, indique, sur une carte au 1 / 25 000 (ici réduite au 1 / 50 000) des zones de grand débit, inconstructibles (en rouge), des zones dites complémentaires (en jaune), d'expansion des crues, où les constructions sont soumises à certaines contraintes, et des zones submersibles non réglementées (en bleu). Son principal objectif était d'empêcher qu'une urbanisation intempestive ne perturbe l'écoulement des eaux dans les vallées lors des crues importantes.

Réglementation	Date	Objectifs	Base d'élaboration	Zones concernées
Plan de surfaces submersibles	1935	Assurer le libre écoulement des eaux. Préserver les champs d'expansion des crues.	Limite des plus hautes eaux connues.	Vallées des principaux cours d'eau.
Périmètre de risque	1955	Réglementer l'urbanisation.	Généralement, limite des plus hautes eaux connues.	Toutes les zones où le risque existe.
Plan d'exposition aux risques	1982	Mettre en œuvre la loi d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles.	Étude quantitative des risques et modélisation hydraulique.	12 000 communes exposées ; 400 plans approuvés.
Plan de prévention des risques	1995	Renforcer la protection de l'environnement. Simplifier et remplacer toutes les autres procédures.	Analyse surtout qualitative. Recours ponctuel à la modélisation, pour les zones à forts enjeux.	2 000 communes prioritaires avant l'an 2000. 330 plans déjà adoptés.

5. LA RÉGLEMENTATION NATIONALE pour la prévention des inondations a évolué vers la prise en compte des enjeux économiques et humains. Les plans de surfaces submersibles instaurés en 1935 n'avaient pour but que d'empêcher l'obstruction de l'écoulement par des constructions. Depuis les années 1980, la valeur des installations à protéger et les risques pour les populations ont été pris en compte, d'abord dans les plans d'exposition aux risques, puis, depuis 1995, dans les plans de prévention des risques.



6. LE PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES (ici pour la commune de Laval, en Isère) a été décidé en 1995 en remplacement de tous les autres documents réglementant les risques naturels. Il distingue en rouge les zones non constructibles et en bleu les zones constructibles sous conditions (la nature des différents risques est indiquée par les lettres : *M* et *m* pour les marécages, *T* et *t* pour les crues des torrents, *V* et *v* pour le ruissellement sur les versants, *G* et *g* pour les glissements de terrain, *P* et *p* pour les chutes de pierres). Établi à partir de la connaissance des événements passés et prévisibles, ce plan devrait être réalisé pour 2 000 communes prioritaires d'ici à la fin du siècle.

mune à ce plan (motivée par exemple par le refus de classer des terrains en zone inconstructible) obligeait à recourir au Conseil d'État pour l'approuver, ce qui allongeait encore la procédure. Sur les 12 000 communes initialement répertoriées comme soumises à un ou plusieurs risques, à peine 400 plans d'exposition aux risques ont été approuvés et tous ne concernent pas des secteurs inondables.

Face à cette lenteur, et en réaction aux fortes inondations de 1992 et 1993, le gouvernement a affirmé en 1994 quelques grands principes, qui fondent la politique actuelle de prévention : l'interdiction des implantations humaines dans les zones les plus dangereuses et leur limitation dans les autres zones inondables ; la préservation des capacités d'écoulement et d'expansion des crues ; la sauvegarde de l'équilibre des milieux naturels qui dépendent des petites crues et de la

qualité des paysages. La conséquence la plus importante de ces principes est la création, en 1995, du plan de prévention des risques.

Place au qualitatif

Ce plan présente plusieurs nouveautés. Il privilégie une évaluation qualitative des risques : les simulations quantitatives ne sont réalisées que lorsqu'elles sont nécessaires. Sa réalisation est aussi plus rapide : sa prescription et son approbation ne dépendent que du préfet, qui peut même l'appliquer partiellement par anticipation si l'urgence et les enjeux le justifient (la concertation avec les élus est toutefois recherchée pour aboutir autant que possible à un consensus). Ce plan, enfin, est élaboré à l'échelle d'un bassin versant ou, tout au moins, de tronçons homogènes de cours d'eau. Il prend ainsi en compte le fonctionne-

ment global du système et réglemente, le cas échéant, des aménagements qui provoqueraient ou aggraveraient des risques dans d'autres communes.

Annexé au plan d'occupation des sols, le plan de prévention des risques se substitue à toutes les autres procédures. Ces documents, d'élaboration plus simple et dont le contenu précis est adapté aux réalités locales, doivent couvrir 2 000 communes, jugées prioritaires, d'ici à la fin du siècle : plus de 300 ont déjà été approuvés, et un millier sont en cours d'élaboration.

Le plan de prévention des risques relève d'une démarche naturaliste. Il contient une carte au 1/25 000 qui montre les hauteurs d'eau et les vitesses pour la plus forte crue connue encore significative vis-à-vis de l'évolution de la vallée et qui soit au moins d'occurrence centennale. L'établissement de cette carte s'appuie sur des éléments déjà disponibles ou facilement accessibles : l'analyse de la géomorphologie et de l'hydrologie, l'étude des crues historiques. Deux zones sont définies : une zone inconstructible correspondant aux secteurs d'expansion des crues et aux secteurs d'aléas les plus forts en milieu naturel, et une zone constructible sous réserves : le développement est autorisé dans les secteurs déjà urbanisés, lorsque la sécurité des individus n'est pas en danger (voir la figure 6).

L'élaboration de ces différentes réglementations s'est accompagnée d'une réflexion sur la notion de risque acceptable et de seuils admissibles pour délimiter les zones inconstructibles ou constructibles sous conditions. Qu'est-ce qu'une zone inondable ? La référence retenue aujourd'hui pour la prévention des risques d'inondation est la ligne des plus hautes eaux connues ou, au minimum, la cote des crues centennales. Mais la ligne d'eau, mesurée ou estimée à partir des données historiques, correspond parfois à un écoulement qui s'est effectué dans une vallée moins urbanisée qu'aujourd'hui, et qui bénéficiait notamment de zones naturelles d'expansion des crues. L'analyse doit donc tenir compte de l'évolution de l'urbanisation, comme nous l'avons vu dans l'exemple de Nîmes. La définition statistique des crues décennales ou centennales ne signifie pas non plus que celles-ci soient périodiques : deux crues centennales ont eu lieu sur l'Oise en 1993 et 1995.

Dans bien des cas, l'accroissement de la vulnérabilité n'est pas dû à l'évo-

lution des conditions naturelles, mais plutôt à l'oubli ou à la non prise en compte des données du milieu physique lors des aménagements. Tout au long de son histoire, la géographie de la France s'est largement construite à proximité des cours d'eau, nécessaires pour la défense, pour l'approvisionnement en eau, pour les transports des hommes et des marchandises. L'eau a aussi été utilisée comme source d'énergie pour diverses activités artisanales et industrielles. Les vallées elles-mêmes offrent des terres fertiles qui ont très tôt fixé les cultures et les pâturages. Dans le passé toutefois, les villes ont surtout été établies sur des hauteurs échappant aux inondations et la question des risques ne se posait guère. La croissance urbaine du XX^e siècle qui s'est partiellement au moins effectuée dans les lits d'inondation explique l'attention actuelle accordée aux risques et aux catastrophes.

Faut-il donc exclure tout aménagement des secteurs inondables? Pas de façon systématique, à condition de bien connaître le risque, par le retour aux événements passés, par l'étude détaillée des lits des rivières et de leurs différents tracés. La prise de conscience de l'existence et de l'ampleur des risques par les autorités locales et par les populations permet alors l'adaptation des aménagements, pour une protection qui évite tout discours excessivement catastrophiste.

Yvette VEYRET est professeur de géographie à l'Université Denis Diderot à Paris. Gérard GARRY est chargé des risques naturels au Ministère de l'équipement, des transports et du logement.

Gérard GARRY, *Le risque d'inondation en France. Recherche d'une approche globale du risque d'inondation et de sa traduction cartographique dans une perspective de prévention*, Thèse de doctorat de l'Université Paris I, 1993.

Yvette VEYRET et Pierre PECH, *L'homme et l'environnement*, PUF, 1993.

Gérard GARRY, *Évolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France*, Mappemonde, vol. 4, p. 1016, 1994.

Les Français dans leur environnement, sous la direction de René Neboit-Guilhot et Lucette Davy, Comité national français de géographie, éditions Nathan, Paris, 1996.

Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), Guide général, La documentation française, Paris, 1997.



La science, nous dit-on, est «objective» et «neutre». Un fossé pratiquement infranchissable séparerait la rationalité scientifique du domaine maudit de «l'irrationnel».

Le puritanisme rationaliste, pourtant, risque fort de dissimuler la profondeur et la multiplicité des relations qui unissent le monde de la science à celui de la religion, pis encore à celui de la magie. Maints exemples, dont le plus fameux est sans doute fourni par Newton, sont là pour le confirmer : la science expérimentale a une dette envers les sciences dites «occultes».

Pierre Thuillier est philosophe et historien des sciences. Il enseigne à l'université Paris VII.

code 2110 – 160 pages

Prix : 132 F

Voir bon de commande p. 98

Les armes secrètes des guêpes parasitoïdes

NANCY BECKAGE

Les guêpes parasitoïdes se développent à l'intérieur de chenilles vivantes. Pour survivre dans cet environnement hostile, elles introduisent dans les chenilles parasitées des virus qui en inhibent le système immunitaire.

La chenille ci-contre ne deviendra jamais un papillon. Elle est tapie au cœur d'un plant de tomates, bien cachée des prédateurs, mais un ennemi l'a déniché : à la recherche d'une pouponnière, une guêpe parasitoïde a repéré sa victime, guidée par l'odeur du lépidoptère et de son repas. La guêpe perce la cuticule protectrice de la chenille et y injecte quelques œufs : les larves se développeront en mangeant la chenille de l'intérieur. Puis elles sortiront des flancs de la chenille et tisseront leur cocon à sa surface. Leur métamorphose terminée, les guêpes adultes s'envolent, abandonnant la chenille.

Si la bataille interspécifique se jouait à un contre un, la chenille aurait ses chances : son système immunitaire détruirait les œufs de guêpes avant qu'ils ne créent des dommages irréversibles. Toutefois, la guêpe injecte, en même temps que ses œufs, d'innombrables particules virales qui annihilent le système immunitaire de la chenille. Doublement parasitée, cette dernière cesse progressivement de se nourrir, ne se métamorphose pas et meurt prématurément.

Les relations qui s'établissent entre la guêpe, le virus et la chenille condamnée sont parmi les plus complexes de la nature. La guêpe est un endoparasite : elle se développe à l'intérieur de l'organisme qu'elle parasite. Quand la chenille meurt avant que les larves de guêpe aient reçu suffisamment de nour-

riture, celles-ci meurent également. La chenille ne doit donc pas mourir prématurément, elle ne doit pas non plus gagner la partie grâce à ses défenses immunitaires ; c'est à son complice viral que la guêpe doit l'équilibre précaire qui permet le développement de ses œufs. Comme cette guêpe, de nombreux parasites d'insectes se sont associés à des bactéries et à des virus qui les aident à perpétrer leurs forfaits.

Armes biologiques

Une telle association existe également entre certains vers parasites d'insectes dont le tube digestif abrite une bactérie virulente qui colonise leur tube digestif. Ces vers régurgitent les bactéries dans les organismes qu'ils parasitent et qui meurent quelques jours après l'infection. Les bactéries, qui prolifèrent rapidement, sont une source de nourriture pour les vers en croissance ; de surcroît, elles sécrètent des enzymes digestives qui transforment le cadavre de l'hôte en une soupe que les vers peuvent consommer. En contrepartie, les bactéries profitent des vers pour se déplacer et envahir d'autres hôtes. Les partenaires sont dits indépendants, parce qu'ils n'ont aucun gène commun.

En revanche, l'interaction entre les guêpes parasitoïdes et les virus qu'elles hébergent est plus étroite : le sort de la guêpe est étroitement lié à celui du virus, et leurs matériels géné-

tiques se mêlent en permanence ; ils ont même des gènes qui se ressemblent. D'où la question : la guêpe et son virus forment-ils une même entité ou deux entités distinctes ?

La découverte de cette étrange association date de 1965, quand George Salt, de l'Université de Cambridge, soupçonna que les guêpes parasitoïdes du genre *Venturia* avaient, dans leur arsenal, une arme inhabituelle : au cours de l'oviposition (l'injection des œufs), les femelles transmettraient également des substances qui assureraient le bon développement de leur progéniture. G. Salt observa notamment que les ovaires des guêpes contiennent des substances qui empêchent les cellules immunitaires de la chenille de détruire les œufs de guêpe.

1. LES GUÊPES ET LES CHENILLES sont les David et Goliath du monde des insectes. La guêpe pond ses œufs dans la chenille, qui doit rester vivante tant que les parasites ne sont pas parvenus à maturité. Toutefois, le système immunitaire de la chenille menace les œufs. Pour l'inhiber, les guêpes utilisent une arme mortelle : un virus.