

Introduction

La littérature scientifique, les études, les rapports et les programmes de recherche consacrés aux inondations et à leur prévention sont innombrables. Le Web of Science recensait 28 348 publications entre 1900 et 2016 dont le titre contient « flood(s) » (figure I.1). 55 % d'entre elles sont parues dans les dix dernières années. Pourtant, malgré l'inflation d'expertises et de connaissances, l'impact des inondations ne cesse d'augmenter. Cet impact se mesure par une augmentation des coûts, par le sentiment parfois d'une impuissance à mettre en place des mesures de prévention efficaces et par l'impression – fondée ou non – que les inondations sont chaque année plus nombreuses et plus intenses.

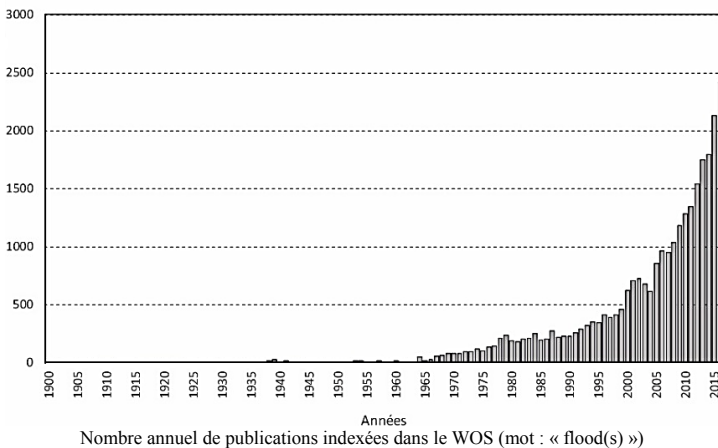


Figure I.1. Évolution du nombre de publications indexées sur les inondations (source : Web of science. Mot « flood » contenu dans le titre)

Car si le risque inondation et sa gestion font débat et suscitent autant de productions scientifiques, c'est bien sûr du fait de sa présence dans quasiment toutes les régions du globe, mais aussi parce qu'il est précisément localisé et fortement conditionné par la topographie. Ainsi ce risque, plus qu'aucun autre risque « d'origine naturelle », s'invite-t-il dans l'aménagement des territoires autour des questions du foncier, du développement économique, de la responsabilité individuelle et collective face au risque. Malgré une littérature scientifique qui tend à englober la connaissance et la gestion des inondations dans le paradigme global de la réduction des catastrophes (*Disaster Risk Reduction*), nous pensons qu'il y a une place pour mettre en valeur la connaissance spécifique de l'inondation. Ce volume est construit sur quatre parties qui partent des impacts des inondations puis envisagent les méthodes et outils de connaissance dans leur composante physique et socio-économique pour terminer par des chapitres plus prospectifs sur l'évolution future du risque inondation.

I.1. Approche générique versus approche spécifique des risques d'origine naturelle

Les publications récentes mettent en avant une approche générique des risques dits d'origine naturelle et cela dans la ligne de la théorie dite radicale qui prétend que les déterminants d'une catastrophe, c'est-à-dire les facteurs qui expliquent l'ampleur des dommages, s'expliquent d'abord par les vulnérabilités globales de la société [WIS 12, GAI 07]. Depuis une vingtaine d'années, l'accent est mis sur les vulnérabilités et leur réduction comme principe curatif des risques naturels. Les tenants de l'approche radicale soutiennent que les vulnérabilités sont à la racine des risques : la pauvreté, la médiocrité du système de santé, les mauvaises conditions de logement... sont des facteurs de vulnérabilité générale. Ils s'appliquent donc à l'inondation comme aux risques épidémiques ou aux séismes. Une population pauvre, mal logée et en mauvaise santé sera vulnérable aux inondations, aux séismes, aux épidémies, à condition d'être exposée bien évidemment.

À l'échelle mondiale, ces assertions sont tout à fait défendables et il est évident que réduire les vulnérabilités générales de la société, d'un groupe social ou d'un territoire (amélioration du niveau de santé, hausse des revenus...) se traduit par des gains rapides en termes de vulnérabilité face aux aléas naturels, quels qu'ils soient. Cependant, dans les sociétés dites « développées », où les niveaux de revenus moyens sont plus élevés et les besoins fondamentaux des populations globalement satisfaits, se pose la question de la façon dont il faut aborder la gestion du risque et en particulier du risque inondation qui est le plus répandu. La réduction des dommages bute sur un « plafond de verre » : ces dommages sont de plus en plus

coûteux malgré des politiques publiques parfois volontaristes. Le nombre de décès a quant à lui diminué dans les pays « développés » et les progrès ne peuvent être que spécifiques, c'est-à-dire obtenus en déployant des mesures propres à chaque risque, en l'occurrence à l'inondation.

1.2. La spécificité du risque inondation

Il nous semble donc justifié d'aborder le risque inondation de manière spécifique sans pour autant que cela soit « aléa centré ».

La spécificité du risque inondation est premièrement sa présence quasi générale à la surface des terres émergées sauf sur les inlandsis. Presque toutes les régions du monde peuvent être touchées, contrairement à des phénomènes plus localisés comme les volcans ou les séismes. À partir du moment où une région est soumise à des précipitations, des excès pluviométriques, plus ou moins fréquents et plus ou moins abondants, peuvent générer des débordements dans les *talwegs* ou des ruissellements. Mais si l'on examine les zones exposées à échelle plus fine, l'aléa est très localisé. Contrairement aux phénomènes atmosphériques à impact direct comme le vent ou la grêle qui frappent de manière ubiquiste une région, l'inondation est liée à la topographie et ne touche que les thalwegs et les zones basses. En France, les évaluations les plus larges (EAIP¹) donnent une superficie de zones inondables de 90 000 km², soit 14 % du territoire national, outre-mer inclus.

Il découle de cette topodépendance de l'aléa inondation plusieurs postulats :

- les zones inondables peuvent être connues et sériées géographiquement ;
- on peut agir sur l'aléa par des ouvrages qui empêchent l'accès de l'eau aux zones exposées (ce qui est impossible pour le vent ou les séismes...) ;
- l'homme a la faculté de maîtriser le risque s'il maîtrise l'occupation du sol.

1.3. Nouvelles données, nouvelles méthodes et dialogue interdisciplinaire

Les outils et données de connaissance des inondations ont fortement progressé depuis une vingtaine d'années même s'ils sont déployés de façon fort inégale à la surface du globe. Les systèmes d'information géographiques, les relevés topographiques à haute résolution, l'imagerie satellitaire et maintenant les drones fournissent des outils toujours plus performants pour la connaissance d'un risque qui

1. EAIP : enveloppe approchée des inondations potentielles (www.onrn.fr).

suscite l'intérêt de nombreuses disciplines : ingénierie, hydrologie, hydraulique, mais aussi géographie, aménagement du territoire, urbanistes, etc. Les politistes, les psychosociologues, les géographes, les sciences humaines et territoriales en général, apportent des analyses éclairantes. Les grands organismes de recherche internationaux publics ou privés, historiquement centrés sur l'ingénierie hydraulique et hydrologique ont diversifié leurs compétences pour répondre au besoin d'une connaissance intégrée du risque inondation. Les programmes de recherche internationaux exigent de plus en plus souvent un volet socio-économique, parfois simplement cosmétique, mais qui a le mérite d'exister. L'économie s'est invitée dans le débat. Elle apporte des éléments de décision nécessaires, des garde-fous, mais les critères économiques ne sont pas, tant s'en faut, les éléments clés des décisions en matière de prévention des risques, et d'ailleurs, est-ce souhaitable ? Ainsi, l'un des objectifs de cet ouvrage est-il de favoriser le dialogue interdisciplinaire en exposant les objectifs et les méthodes des différentes disciplines qui prétendent contribuer à une meilleure connaissance des inondations.

I.4. La question des représentations et « l'aléa-centrisme »

Il faut insister ici sur les liens étroits qui existent entre les représentations du risque, sa connaissance et sa gestion. D'ailleurs, pour de nombreuses contributions de cet ouvrage, il a été difficile de séparer ce qui relève de la connaissance du risque et ce qui ressort de sa gestion. C'est le cas par exemple pour la notion de résilience qui est un outil de diagnostic des capacités d'une société ou d'un territoire à faire face à une inondation, mais aussi un outil de gestion par le renforcement de ses capacités. La connaissance des représentations que se font les experts et les gestionnaires (techniques et politiques) de l'inondation est fondamentale pour comprendre les mesures mises en place. Comment l'élu, le technicien, le riverain, pensent-ils l'inondation ? Qu'on le veuille ou non, les gens font ce qu'ils ont appris à faire et l'inertie est forte en ce domaine. Elle est générationnelle. Les conceptions du risque, les nouvelles techniques de connaissance et de gestion des inondations évoluent lentement. L'offre préventive est donc très liée à la connaissance et aux compétences présentes dans les lieux décisionnaires.

À cet égard, la prévention du risque inondation a depuis longtemps été dominée par la volonté de maîtriser l'aléa. Cette tendance est bien connue. Elle s'exprime par la foi en des modes de protection tels que les digues ou les bassins de rétention qui en retour favorisent l'augmentation des enjeux sous le phénomène baptisé « escalator effect » [PAR 95, SAU 01]. On connaît moins les effets pervers de cette conception centrée sur l'aléa dans d'autres domaines de la connaissance et de la prévention au sens large du terme. L'explication des dommages a voulu relier les

données de dommage aux données d'aléa (hauteur d'eau souvent, parfois vitesse du courant) par des relations mathématiques [HUB 99, PEN 13]. Pourtant, la corrélation aléa/dommages n'est pas évidente. Des études fines sur la submersion marine ont bien montré que les paramètres agrégés d'aléa (hauteurs d'eau, vitesse, durée de submersion) n'expliquaient que 50 % de la variance des dommages sur les biens individuels [AND 13]. Ce constat est aussi valable pour d'autres phénomènes comme la tempête : la carte des vitesses maximales de vents ne se superpose pas à la carte de la sinistralité tant s'en faut [BOU 14].

De même, la question du réchauffement climatique et de ses impacts éventuels sur les inondations invite précisément à séparer ce qui relève de l'évolution de l'aléa (voir chapitre 18 dans ce volume) de ce qui résulte des évolutions socio-économiques (augmentation des enjeux, évolutions des vulnérabilités... voir chapitre 19). Ces évolutions socio-économiques, parfois très rapides et incontrôlées, ont des conséquences notables sur le risque inondation.

1.5. Les types d'inondations

Ces préalables étant posés, quel est le champ couvert par cet ouvrage ? Derrière la définition la plus simple de l'inondation (recouvrement par l'eau d'un espace habituellement exondé) se cache une multitude de configurations et de scénarios possibles. Un ouvrage à lui seul serait nécessaire pour présenter tous les types d'inondations. Nous proposons une classification fondée sur les causes des inondations en séparant les inondations ayant pour origine les précipitations de celles ayant d'autres origines (soit climatiques comme les submersions marines, soit telluriques comme les tsunamis). Cet ouvrage traite essentiellement des inondations d'origine « précipitale » ou pluviale – pour éviter un barbarisme – en incluant les effets des réservoirs que sont la neige ou la glace. Nous reprenons la classification proposée en 2010 [VIN 10] légèrement modifiée (tableau I.1). La première colonne donne la cause première de l'inondation, les deux colonnes suivantes les facteurs aggravants ou minorants, qui ne sont pas exclusifs.

1.5.1. Les inondations d'origine pluviale

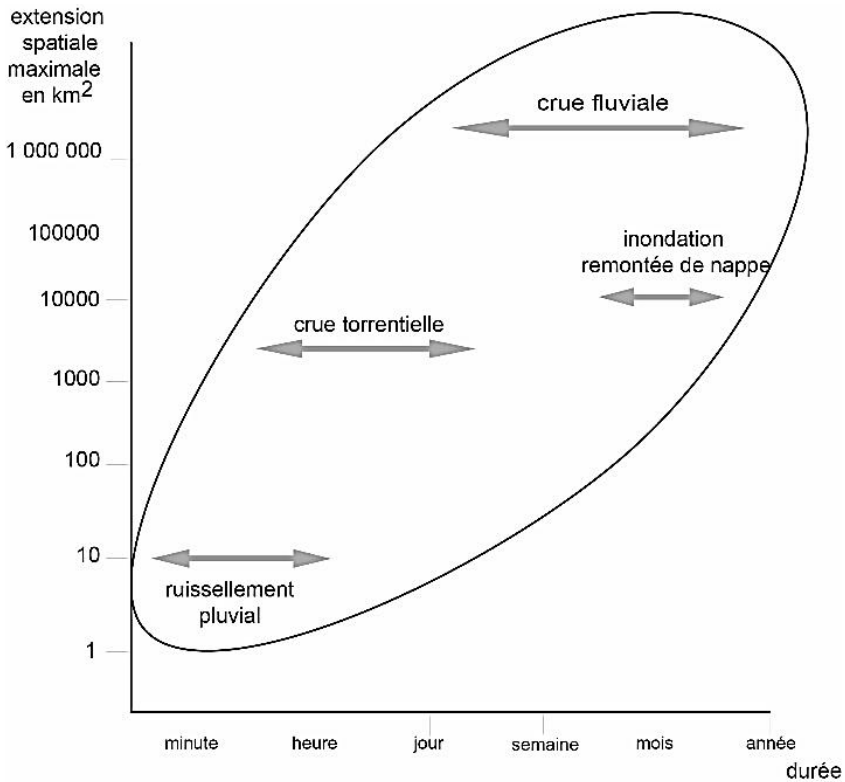
Les classifications classiques distinguent² :

- les crues éclairs ou crues torrentielles (*flash floods*) ;
- les inondations par ruissellement (*urban floods*) ;

2. <http://www.floodsite.net/>.

- les inondations fluviales (par débordement de cours d'eau) (*fluvial flood*) ;
- les inondations par remontée de nappe (*ponding floods*).

Hormis la submersion marine principalement liée au vent et évoquée plus bas, ces « types » d'inondations sont les avatars d'un même continuum hydrologique (figure I.2) réglé par l'intensité des précipitations et les caractéristiques des bassins versants, principalement la pente et l'état de surface qui commandent les temps de concentration et de propagation. Ainsi, les crues torrentielles ne sont-elles pas l'apanage des régions méditerranéennes ou tropicales, mais peuvent affecter tout espace soumis à des précipitations intenses et des pentes assez fortes. Ces crues torrentielles sont liées à des précipitations intenses, les seuils d'intensité étant évidemment très variables d'un milieu à l'autre : de quelques dizaines de millimètres en une demi-heure (Europe du Nord) à 100 mm/h ou plus en zone méditerranéenne ou tropicale [GAU 16].



N.B. : les différents phénomènes sont caractérisés par leurs valeurs maximales

Figure I.2. Répartition spatiotemporelle des types d'inondations

	Cause principale	facteur aggravant	facteur minorant	Manifestations	Principales zones exposées	exemples
Inondations d'origine pluviale	Pluies intenses	fortes pentes, surface imperméabilisée	Réservoirs naturels (Karst) et anthropiques (Barrages)	Crue torrentielle/ inondation pluviale urbaine ou périurbaine	Collines ou montagnes sous climat tropical, continental ou méditerranéen	Big Thompson floods (Colorado) 31 juillet 1976, Bab El Oued (Algérie) 2001
	Pluies peu intenses	fonte neige, embâcle de glace	barrages anthropiques	Inondations fluviales	toutes zones du globe sauf déserts (erg, Antarctique)	Fleuves sibériens au printemps (débâcle glaciaire), Mississippi 1993
	Pluies peu intenses		roche magasin, faibles pentes	remontée de nappe		Inondation de plaine (Seine en 1910), Remontée de nappe (Scimmie en 2001)
Inondations d'origines météorologiques indirectes	Rupture lac glaciaire	Fonte ou écroulement de glacier		Crue brutale, Jokulhaup	Montagnes tempérées et subpolaires	Alpes
	Vent	Basses pressions atmosphériques. Rupture de cordon littoral. Marée		Submersion marine	Littoraux à côtes basses, estuaires	Cyclone, acqua alta à Venise
Inondations d'origines non météorologiques	Eruption volcanique	Fonte nivale ou glaciaire		Fonte de neige ou de glace, lahar	Pourtour du Pacifique, Volcans de la zone froide (Islande)	Jokulhlaup en Islande en 1996, Nevado del Ruiz (Colombie) en 1986
	Séisme, éruption volcanique ou glissement de terrain sous-marin			Tsunami	Pourtour du Pacifique	Japon mars 2011
Inondations anthropiques (risque technologique)	Glissement de terrain	Fortes précipitations		Rupture de barrage naturel	zones montagneuses	Vajont, (Italie, 1963), Josefina (Equateur, 1993)
	Rupture de digue	Crue fluviale		Submersion des zones basses	Plaines fluviales ou littorales	Inondations Nouvelle-Orléans août 2005
	Rupture de barrage	Séisme, fortes précipitations, glissement de terrain		Onde de submersion à l'aval		Malpasset, Fréjus (France, 1959)

N.B. : les crues résultent souvent de la combinaison de plusieurs causes (submersion marine + rupture de digue ou précipitations + fonte nivale...)

Tableau I.1. Les types d'inondations (classification génétique)

Le ruissellement urbain est appelé ainsi, car l'artificialisation des surfaces et la mise sous contrainte des *thalwegs* favorisent la concentration des écoulements. Les inondations en zone urbaine ne constituent pas à proprement parler un type d'inondation, mais plutôt un risque croissant compte tenu du développement des zones urbaines dans le monde. On distinguera les inondations périurbaines des inondations urbaines *stricto sensu*. Dans le premier cas, le danger vient des cours d'eau affluents qui convergent vers une agglomération urbaine. Dans le second cas, les précipitations ayant lieu à l'aplomb de la zone urbaine, le réseau d'évacuation des eaux pluviales est pris en défaut et ne peut évacuer l'eau précipitée. On le voit sur la figure I.2, le classement des inondations en fonction de l'échelle spatiale considérée est difficile. Une inondation par « débordement de cours d'eau » peut intervenir sur un bassin versant de quelques kilomètres carrés. Il n'y a d'ailleurs pas, dans l'absolu, de taille minimale de bassin versant. On peut délimiter un bassin versant de quelques mètres carrés sur une parcelle. Ainsi les inondations par « ruissellement urbain » reprennent-elles en général les pentes de la topographie existante, certes artificialisée et modifiée par l'homme.

Toutefois, ces inondations donnent lieu à des écoulements aux cinétiques fort différentes (voir chapitre 8 de ce volume) : écoulement turbulent ou laminaire, rôle des confluences, de la marée... L'un des facteurs d'aggravation ou d'atténuation des inondations est la présence de réservoirs sous différentes formes qui est un point essentiel de la compréhension des scénarios d'inondation : ces réservoirs sont de nature géologique (sols, formations superficielles et roches), climatique (glace et neige) ou anthropique (lac de barrage). Le fonctionnement de ces réservoirs va amplifier, atténuer, différer l'inondation à l'aval.

Les sols, formations superficielles ou couches géologiques perméables peuvent absorber jusqu'à 200 mm de précipitations. C'est le cas des karsts dont l'état de remplissage initial joue un grand rôle dans l'intensité des crues torrentielles dans le Bassin méditerranéen par exemple [GAU 04]. De même, les inondations par remontée de nappe sont liées à l'accumulation de précipitations qui, sur une longue période, ont saturé des formations souterraines perméables. Si les pentes sont faibles, la crue peut durer plusieurs mois comme ce fut le cas entre mars et juin 2001 dans le bassin de la Somme.

La fonte de la neige à elle seule est rarement à l'origine d'inondations dévastatrices. En revanche, la fonte rapide de fortes épaisseurs de neige lorsque de fortes pluies se combinent à l'arrivée d'air chaud peut avoir un effet aggravant. Enfin, la glace est un réservoir au rôle complexe qui suscite un regain d'intérêt dans le contexte actuel de recul des volumes glaciaires. La fonte de la glace par augmentation de la température est rarement suffisamment rapide pour susciter une

inondation, mais il faut signaler que les fontes d'été dans des bassins de montagne peuvent donner lieu à des débits soutenus lors d'épisodes caniculaires (jusqu'à Q10 dans les hauts bassins de la Durance en août 2003). La glace ou plutôt la fonte des glaces (débâcle) joue un rôle dans les inondations saisonnières des régions soumises à climat continental froid (Sibérie, Canada). Les grands fleuves ayant un écoulement sud-nord, les eaux de fonte de l'amont se heurtent aux cours d'eau englacés de l'aval occasionnant des épanchements massifs dans les plaines.

1.5.2. Les inondations d'origine climatique non pluviale

On classera dans ce type les submersions marines. Les submersions marines sont des phénomènes complexes principalement liés au vent, mais où interviennent de nombreux paramètres comme la pression atmosphérique, la houle, la marée ainsi que des paramètres fixes comme la configuration des côtes et des fonds marins [BER 16]. Une submersion marine peut se combiner à une crue fluviale notamment lors des cyclones lorsque les eaux terrestres ne peuvent s'évacuer en mer. Si les phénomènes naturels à l'origine de l'inondation sont différents, les principes et méthodes de gestion utilisés pour gérer le risque de submersion marine empruntent beaucoup à ceux déployés pour les inondations d'origine pluviale. Le chapitre 12 de ce volume présente les submersions marines dans leur spécificité, mais de nombreux autres chapitres de ce volume y font allusion en tant qu'exemple.

1.5.3. Les inondations d'origine non climatique

Les inondations d'origine non climatique sont très diverses. En effet, si l'on s'en tient à la définition stricte du vocable inondation, le tsunami est une inondation liée à un phénomène géophysique sous-marin ou côtier (éruption volcanique, séisme, mouvement de terrain...). Il s'agit donc d'une inondation sans crue.

Les glissements de terrain terrestres sont parfois à l'origine d'inondations. Plusieurs scénarios peuvent se produire. Un glissement de terrain peut barrer l'écoulement au travers d'une vallée. L'eau s'accumule à l'amont du barrage naturel jusqu'à ce que le niveau de l'eau dépasse la hauteur du barrage et déferle à l'aval en démantelant le barrage naturel. Si la rupture est brutale, la zone aval subit une inondation torrentielle. Lorsqu'un glissement de terrain se produit dans un lac (naturel ou artificiel), il peut créer un débordement et une inondation à l'aval. Ce cas s'est produit en Italie le 9 octobre 1963 au barrage de Vajont dont le débordement provoqua la mort de 1 900 personnes.

Les éruptions volcaniques peuvent être à l'origine d'inondations par fonte plus ou moins rapide de la glace ou de la neige accumulée sur l'édifice volcanique. On citera le cas célèbre des *jökulhlaups* islandais. Les éruptions volcaniques, en faisant fondre une masse importante de neige ou de glace, sont parfois à l'origine d'inondations brutales. Le lieu éponyme des *jökulhlaups* est le glacier du Vatna dans le sud de l'Islande. Les volcans actifs présents sous la calotte de glace provoquent lors des éruptions la fonte partielle du glacier. Le *jökulhlaup* de 1996 est resté célèbre pour avoir provoqué la fonte de 3 km³ de glace et produit un débit de pointe de 52 000 m³.s⁻¹ (tous chenaux confondus). Heureusement, cet événement fit peu de dommages dans cette zone peu peuplée.

Ces inondations sont aggravées par la charge alluviale très importante, les matériaux volcaniques étant facilement mobilisables par les eaux de fonte. À noter que des précipitations intenses sur des matériaux volcaniques non stabilisés donnent lieu à des écoulements très chargés en matière solide qu'on appelle *lahars*, très fréquents en Indonésie leur lieu éponyme [DEB 12].

Enfin, des inondations catastrophiques sont parfois produites par des vidanges de lac sous-glaciaire. L'eau accumulée dans une cavité sous-glaciaire ou proglaciaire est libérée soit par débordement du lac, soit par rupture du glacier ou du cordon morainique, soit par recul du glacier. Ce type d'aléa est particulièrement surveillé en montagne tempérée. On connaît des cas historiques comme la rupture d'une poche d'eau sous le glacier de Tête Rousse à Saint-Gervais-les-Bains le 12 juillet 1892 où l'on dénombra près de 200 victimes.

1.5.4. Les inondations dues à des accidents technologiques

Dans le spectre des causes d'inondation, les hommes ont leur part. Elle se manifeste par des ruptures d'ouvrages (digues ou barrages).

Les ruptures de barrage ont lieu au moins une fois par an dans le monde. Les causes en sont soit un défaut de conception de l'ouvrage (sous-dimensionnement, mauvaises fondations...) mis en évidence par un événement naturel qui va fragiliser l'ouvrage, soit un événement extérieur qui va entraîner la rupture de l'ouvrage. Les barrages sont très hétérogènes dans leur conception, leur taille et leur utilisation. Certains sont en terre comme celui qui s'est rompu en août 2008 dans le Colorado entraînant l'évacuation préventive de centaines de touristes dans le Grand Canyon. En mai 2008, de fortes pluies dans le nord-est du Brésil ont provoqué la rupture d'un barrage dans l'État du Piauí. L'onde de submersion a détruit au moins 500 maisons et fait deux disparus. Près de 2 500 familles qui vivaient à proximité du barrage avaient été évacuées une semaine auparavant en raison des risques de rupture de

l'ouvrage. Les ruptures sont liées à des défauts de conception ou de fonctionnement ou à des accidents naturels : crue dépassant la crue de projet, glissement de terrain dans le lac réservoir, séisme, mais aussi un acte de malveillance comme un attentat. La vidange brutale d'un lac de réservoir de barrage entraîne une onde de submersion qui se propage très rapidement à l'aval. Si la rupture est brutale, elle laisse peu de chance de survie aux personnes situées dans la zone de proximité immédiate et qui n'auraient pas été évacuées préventivement. Le risque de rupture est souvent peu connu du public, mais commence à être pris en considération dans les plans de gestion de crise locaux.

Les ruptures de digues ne sont pas un type d'inondation en soi, mais un facteur aggravant des inondations fluviales ou littorales. De nombreux cours d'eau, et parmi les plus grands au monde (Hoang Ho, Mississippi, Rhin) sont endigués dans la partie moyenne ou inférieure de leur cours. Bien que classé comme risque technologique, le risque de rupture de digue fait partie intégrante des scénarios d'inondation fluviale. Le chapitre 11 de ce volume leur est consacré.

I.6. Présentation du volume

Ce volume traite de la connaissance des inondations. Il ne revient pas sur les concepts de risque « naturel », de catastrophe ni sur les notions propres à l'analyse des risques en général. Les publications sont nombreuses en ce domaine [LEO 10, WIS 12, REG 15]. En revanche, les chapitres font le point sur les concepts, les méthodes et les données disponibles pour faciliter le diagnostic du risque inondation.

Nous avons pris le parti de mettre en exergue les impacts des inondations à différentes échelles et au sens large depuis les impacts humains et sanitaires jusqu'aux conséquences économiques, patrimoniales et environnementales. Les premiers chapitres (1 à 3) exposent les méthodes de collecte et les sources d'information depuis les retours d'expérience, terme impropre qui désigne en France l'analyse rétrospective d'événements d'inondations (introduction) jusqu'à la constitution de bases de données (chapitre 1). Ces conséquences des inondations sont de plus en plus convoquées dans la mesure du risque et dans l'évaluation des mesures de prévention (chapitre 2). C'est un volet trop souvent négligé même si les méthodes existent depuis longtemps [TOR 93, PEN 13]. Les chapitres suivants exposent les impacts humains et sanitaires (chapitre 3), patrimoniaux (chapitre 4) et enfin technologiques ou industriels avec le cas particulier des Natech inondations (chapitre 5).

Les chapitres suivants abordent ce que l'on appelle abusivement l'aléa inondation ou plutôt le phénomène physique. Les angles de vue sont divers en partant de l'hydrologie (chapitres 6 et 7) et de l'hydraulique (chapitre 8), deux piliers traditionnels de la

connaissance des inondations vers des approches plus naturalistes et notamment la géomorphologie. La compréhension des problèmes actuels de gestion des hydrosystèmes en général et des inondations en particulier implique la prise en compte des évolutions des cours d'eau sur le long terme. Ces évolutions liées à des facteurs naturels (réchauffement post-petit âge glaciaire) ou anthropiques (prélèvements de granulats, barrages...) ont parfois des conséquences importantes sur la détermination des débits et la fréquence des inondations (voir chapitre 9). Le creusement des lits mineurs, phénomène majeur au XX^e siècle et dont les causes sont multiples, a engendré par exemple, toutes choses égales par ailleurs, une réduction de la fréquence des débordements en lit majeur, tout en générant un cortège de problèmes de gestion de l'hydrosystème. Un chapitre est réservé à l'approche hydrogéo-morphologique du risque inondation bien connue en France d'où elle est partie [BAL 11] et qui tend à s'étendre vers d'autres lieux (chapitre 10). La prise en compte des ouvrages est un sujet essentiel et relativement spécifique à l'inondation qui est des aléas naturels le plus « contrôlé » (chapitre 11). Enfin, un sort particulier est réservé aux submersions marines, dont l'évaluation de l'aléa est spécifique, mais dont les enjeux en termes d'aménagement des territoires et de réduction du risque sont proches de ceux des inondations « pluviales » (chapitre 12).

La troisième partie de ce volume 1 traite des outils de connaissance du risque inondation développés par les sciences humaines. Les sciences humaines et notamment l'histoire collaborent depuis longtemps avec les sciences hydrologiques pour améliorer la connaissance des phénomènes extrêmes du passé (chapitre 13). Depuis une vingtaine d'années, les sciences humaines, sociales et territoriales ont développé des outils d'analyse pour évaluer le risque : diagnostic de vulnérabilité (chapitre 14), de résilience (chapitre 15) pour appréhender la sensibilité de systèmes critiques face aux inondations notamment les grandes agglomérations urbaines (chapitre 16) et les réseaux (chapitre 17).

Le volume s'achève sur deux chapitres en forme de conclusion prospective sur ce que peut être l'avenir du risque inondation. Quels impacts peut avoir le changement climatique si souvent invoqué sur les inondations ? En d'autres termes, comment le réchauffement atmosphérique annoncé se traduira-t-il sur les débits ? Détecte-t-on déjà des changements significatifs (chapitre 18) ? Parallèlement, le questionnement est étendu aux variables socio-économiques à la fois sous forme rétrospective et prospective. Quelles évolutions sociales, démographiques, politiques à l'échelle mondiale ont influencé par le passé et peuvent conditionner le risque inondation dans les prochaines décennies (chapitre 19) ?

I.7. Bibliographie

- [AND 13] ANDRE C., Analyse des dommages liés aux submersions marines et évaluation des coûts induits aux habitations à partir de données d'assurance. Perspectives apportées par les tempêtes Johanna (2008) et Xynthia (2010), PhD Thesis, University of Western Brittany, Brest, 2013.
- [ANT 08] ANTOINE J.M., DESAILLY B., GALTIE J.F. *et al.*, *Les mots des risques naturels*, Presses de l'Université du Mirail, 2008.
- [BAL 11] BALLAIS J.-L., CHAVE S., DUPONT N. *et al.*, "La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables", *Physio-Géo*, 2011.
- [BER 16] BERTIN X., "Storm surges and coastal flooding: status and challenges", *La Houille Blanche*, vol. 2, pp. 64–70, 2016.
- [DE 12] DE BELIZAL E., Les corridors de lahars du volcan Merapi (Java, Indonésie): des espaces entre risque et ressource. Contribution à la géographie des risques au Merapi, Thesis, Panthéon-Sorbonne University, Paris, 2012.
- [DUR 14] DURAND S., Vivre avec la possibilité d'une inondation?: Ethnographie de l'habiter en milieu exposé... et prisé, PhD Thesis, AMU, 2014.
- [GAI 07] GAILLARD J.C., "De l'origine des catastrophes : phénomènes extrêmes ou âpreté du quotidien?" *Natures Sciences Sociétés*, vol. 15, pp. 44–47, 2007.
- [GAU 04] GAUME E., LIVET M., DESBORDES M. *et al.*, "Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999", *Journal of Hydrology*, vol. 286, pp. 135–154, 2004.
- [GAU 16] GAUME E., BORGA M., LLASAT M.C. *et al.*, "Mediterranean extreme floods and flash floods" in *The Mediterranean Region under Climate Change*, ALLenvi/IRD editions, 2016.
- [HUB 99] HUBERT G., LEDOUX B., *Le coût du risque... L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1999.
- [LEO 10] LEONE F., MESCHINET DE RICHEMOND N., VINET F., *Aléas naturels et gestion des risques*, PUF, 2010.
- [MUN 16] MUNICH RE, Topics Geo Natural Catastrophes 2015: Analyses, Assessments, Positions, available at: www.preventionweb.net/publications/view/48584, 2016.
- [PAR 95] PARKER D., "Floodplain development policy in England and Wales", *Applied Geography*, vol. 15, no. 4, pp. 341–363, 1995.

- [PEN 13] PENNING-ROUSELL E.C., PRIEST S.J., PARKER D.J. *et al.*, *Flood and Coastal Erosion Risk Management. A Manual for Economic Appraisal*, Routledge, London, 2013.
- [REG 15] REGHEZZA-ZITT M., RUFAT S., *Résiliances*, ISTE Editions, London, 2015.
- [SAU 01] SAURI-PUJOL D., DOLORS ROSET-PAGE D., RIBAS-PALOM A. *et al.*, “The ‘escalator effect’ in flood policy: the case of the Costa Brava, Catalonia, Spain”, *Applied Geography*, vol. 21, pp. 127–143, 2001.
- [TOR 93] TORTEROTOT J.P., *Le coût des dommages dus aux inondations: estimation et analyse des incertitudes*, Thesis, ENPC-CERGRENE, Noisy-le-Grand, 1993.
- [VIN 10] VINET F., *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*, Tec & Doc, 2010.
- [WIS 12] WISNER B., GAILLARD J.C., KELMAN I. (eds.), *Handbook of Hazards and Disaster Risk Reduction*, Routledge, Abingdon, 2012.