

Inondations,
mieux vaut
prévenir

Rapports techniques

Auteur Olivier Gilard

Pays France, Cambodge,
Thaïlande, Vietnam,
Madagascar, Tchad

Mots-clés Inondation, crue,
risque, prévention, ressources
en eau, aléa, vulnérabilité

Préambule	5
Pourquoi cette question ?	5
Les autres facettes du secteur de l'eau	6
L'objectif de cet ouvrage	7
1. Fondamentaux	8
1.1. Le phénomène naturel	8
1.2. Risque = aléa (<i>combiné à</i>) vulnérabilité	10
1.3. Trois composantes de la gestion des risques	24
1.4. L'imbrication des échelles de solidarité	29
2. De la théorie à la pratique	32
2.1. Qu'est-ce qu'un projet de réduction du risque d'inondation ?	32
2.2. Prévenir ou prévoir, il faut choisir !	33
2.3. S'adapter au contexte particulier de chaque projet	34
2.4. Inondation fluviale et inondation pluviale	38
3. Interactions avec d'autres politiques et prise en compte des impacts	40
3.1. Risque et ressource	40
3.2. Risque et climat	41
3.3. Risque et biodiversité	43
4. Quelques illustrations concrètes	45
4.1. Quelques exemples de l'expérience française	45
4.2. Quelques exemples à l'international	48
Bibliographie	60
Sites Web de référence	61
Publications en ligne	61
Lexique des termes techniques	62
Liste des sigles et abréviations	64

Agence Française de Développement

Rapports Techniques

Les nombreux rapports, études de faisabilités, analyses de cas et enquêtes de terrain produits par l'AFD contiennent des informations très utiles, en particulier pour les praticiens du développement. L'objectif de cette série est de partager des informations techniques, géographiques et sectorielles sur une dimension du développement et d'en faire un retour d'expérience.

Les opinions exprimées dans ce papier sont celles de son (ses) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de l'AFD. Ce document est publié sous l'entière responsabilité de son (ses) auteur(s).

AFD Technical reports

The various reports produced by AFD (feasibility, case studies and field surveys) contain very useful information, especially for development practitioners. This series aims to provide technical, geographic and sectoral information on development issues and to share experiences.

The opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect the position of AFD. It is therefore published under the sole responsibility of its author(s).

*« L'eau subsiste comme principe
de toutes choses, car tout en provient
et y retourne. »*

*Thalès de Milet philosophe et savant grec
(6^e siècle avant J.C.)*

*« Mesure tout ce qui est mesurable
et efforce toi de rendre mesurable
ce qui ne l'est pas encore. »*

Galilée (1564-1642)

*« Aujourd'hui chacun demande une digue,
quitte à rejeter l'eau sur son voisin.
Or, le système des digues n'est qu'un
palliatif ruineux pour l'État, imparfait
pour les intérêts à protéger. »*

*Napoléon III (1808-1873)
Discours de Plombières (1860)*

*« Toutes choses sont dites déjà ;
mais comme personne n'écoute,
il faut toujours recommencer. »*

*André Gide (1869-1951)
Traité du Narcisse*

*« Mal nommer les choses c'est contribuer
au malheur du monde. »*

Albert Camus (1913-1960)

*« Les hommes n'acceptent le changement
que dans la nécessité et ils ne voient
la nécessité que dans les crises. »*

Jean Monnet (1888-1979)

Inondations, mieux vaut prévenir

Résumé

Les risques d'inondation restent le risque naturel le plus fréquent et causant le plus de dégâts, toutes géographies confondues. Dans ce rapport technique, on analyse dans un premier temps les éléments explicatifs de cet état de fait : régime hydrologique, existence d'événements extrêmes dans un champ continu des possibles, concepts d'aléa et de vulnérabilité. On décrit dans un second temps les différentes composantes d'une politique de gestion intégrée des risques d'inondation combinant :

- (i) des mesures de prévention liées à l'aménagement du territoire et l'aménagement hydraulique, qui débouchent nécessairement sur un risque résiduel réputé accepté,
- (ii) des mesures de gestion de crise incluant une composante prévisionniste, qui permettent de gérer les risques résiduels acceptés, et
- (iii) des mesures destinées à développer la culture du risque et qui contribuent à rendre compréhensible les messages issus des deux autres champs d'intervention.

De cette compréhension des concepts fondamentaux sous-jacents à cette analyse des risques d'inondation, sont tirées quelques recommandations opérationnelles pour définir des projets finançables par l'AFD et dans ses pays d'intervention. Enfin, sont passées en revue quelques situations particulières issues de l'expérience de l'auteur, tant sur le territoire français que dans des pays en développement.

Mots-clés : inondation, crue, risque, prévention, ressources en eau, aléa, vulnérabilité

Pays : France, Cambodge, Thaïlande, Vietnam, Madagascar, Tchad

Floods, better to prevent

Abstract

Flood risk remain the most frequent natural disaster causing the highest damages, worldwide. This technical report presents in a first step the basic explanation of this situation: hydrological regime, extreme event as part of a continuous distribution of possibilities, hazard and vulnerability concepts... In a second step it describes the components contributing to a policy for integrated flood risk management including (i) flood prevention linked to land and hydraulic management, resulting in a remaining acceptable level of risk, (ii) crisis management including flood forecasting necessary to cope with this accepted remaining level of risk, and (iii) risk culture contributing to a general and shared understanding of messages issued from the two previous components. Resulting from this general understanding of basic concepts underpinning flood risk analysis, we draw some operational recommendations to design projects eligible to AFD financing in its targeted countries. Finally, some specific situations presented are issued from the author experience, both in France and in developing countries.

Keywords: flood, risk, prevention, water resource, hazard, vulnerability

Countries: France, Cambodia, Thailand, Vietnam, Madagascar, Chad

Préambule

En dépit de nombreux travaux sur le sujet au cours des trente dernières années (et sans doute même avant comme illustré par la citation de Napoléon III en prologue), il semble que certains concepts de base sur le risque d'inondation n'aient pas encore fait complètement leur chemin en dehors d'un cercle finalement assez restreint de chercheurs impliqués sur le sujet. Par ailleurs, même chez certains d'entre eux, spécialistes d'un angle d'approche du problème, il persiste parfois une certaine approximation dans l'utilisation des concepts traitant des autres approches. Enfin, en analysant la couverture médiatique en particulier, mais plus généralement la littérature technique dite « grise » sur le sujet, on se rend compte que certains termes sont utilisés dans des acceptions divergentes : aléa, vulnérabilité, exposition, résilience, prévention, prévision sont des termes récurrents mais pas toujours utilisés avec le même sens et donc à bon escient. Par ailleurs, la recrudescence de ces « catastrophes » – si l'on en croit toujours la couverture médiatique – laisserait entendre que les politiques de prévention de ces trente dernières années ne seraient finalement pas efficaces, ce qui pose quelques questions. On peut d'ailleurs être surpris du caractère récurrent de la mention « on n'avait jamais vu cela » alors que les approches historiques développées sur certains territoires, où existe une tradition d'archivage bien établie depuis longtemps, montrent que rares sont les cas où cette assertion se révèle valide.

Pourquoi cette question ?

Il n'est sans doute pas nécessaire de rappeler l'importance que prennent régulièrement les inondations, catastrophes qui viennent frapper ici ou là, toujours liées à un événement météorologique particulier et entraînant des conséquences économiques considérables. C'est d'ailleurs l'aléa naturel le plus coûteux financièrement, toutes catastrophes confondues. Il touche indifféremment les pays quel que soit leur niveau de développement et, à ce titre, est perçu comme une préoccupation universelle. Dépendant de la météorologie, lié au climat, il suscite une attention particulière depuis quelques années maintenant, en raison du réchauffement constaté et des conséquences induites sur les variables qui y sont reliées. Ce diagnostic rapide mérite néanmoins une analyse plus attentive. D'abord, il convient de noter qu'à quelques exceptions près, ces catastrophes sont modérément létales, et sans doute moins aujourd'hui qu'hier. Le nombre de décès liés (directement) aux inondations est relativement faible comparé aux estimations de la population potentiellement exposée (près de 15 % de l'humanité). On notera en outre le fait que dans les classements internationaux sur le sujet, comme celui du Global Climate Risk Index 2020 de l'organisation non gouvernementale (ONG) allemande Germanwatch e.V., ce paramètre est dans son ensemble inversement proportionnel au paramètre du coût des catastrophes climatiques : dans les pays développés, le nombre de morts reste anecdotique comparé à celui d'autres facteurs, comme les accidents domestiques ou de la route. Il ne faut sûrement pas négliger cette facette du problème, étant des drames individuels qu'on ne peut ignorer, et il existe des éléments de réponse qu'on abordera *infra*. Mais globalement, le problème des inondations se pose essentiellement en termes économique et financier.

Il faut ensuite se poser la question des causes de cette situation : étant beaucoup plus nombreux à nous répartir sur un espace fini dont les limites ont été atteintes, il est vraisemblable que l'on parle plus des inondations parce qu'elles affectent aujourd'hui des territoires plus fortement soumis à une anthropisation, et pas nécessairement en raison d'une fréquence accrue des débordements de rivières. La question mérite d'être posée et analysée au cas par cas.

Le problème des inondations devient vite un problème de gestion territoriale et d'interaction avec l'eau : quelle est la place de l'homme et de ses activités économiques, celle de l'eau, sachant que les deux varient dans le temps, et de manière en partie aléatoire pour la seconde.

Les autres facettes du secteur de l'eau

Si l'eau est le facteur du risque d'inondation, elle ne se limite toutefois pas à cette dimension ; elle reste avant tout une ressource, qui peut faire cruellement défaut. Par ordre de priorité politique généralement accordée, elle répond tout d'abord aux besoins de l'alimentation en eau potable (fonction qui sera privilégiée en cas de restriction) ; elle entre ensuite dans les processus économiques et industriels en tant que facteur incontournable de production ; et elle constitue enfin, à côté du sol et du travail, la troisième composante essentielle dans le processus de production agricole nécessaire à l'alimentation (facteur d'ajustement généralement utilisé en raison de l'importance des prélèvements pour l'irrigation). Plus généralement, mais sans que cela puisse être quantifié économiquement aussi facilement, l'eau, facteur environnemental au sens large, conditionne le territoire avec lequel l'homme interagit. De sa qualité découle en outre et pour partie la qualité de vie recherchée.

Toute interaction avec le cycle de l'eau motivée par une préoccupation de prévention du risque d'inondation peut avoir des conséquences sur les autres dimensions du secteur de l'eau. L'impact doit être au préalable considéré pour en connaître et limiter, si possible, les effets induits. Nul besoin de longs calculs pour illustrer ce propos : ainsi, accélérer les écoulements pour évacuer l'eau inondante, réduit le temps de séjour de l'eau dans le milieu terrestre et donc les durées d'infiltration dont dépendent les recharges des nappes mises à contribution pour l'alimentation en eau potable : la ressource en eau est donc en proportion diminuée ! À l'inverse, bloquer l'eau dans un barrage, réduit la surface d'échange (d'autant plus que vous appliquez un critère d'étanchéité à la recherche du site de retenue et, de plus, vous « stérilisez » l'espace de la retenue, qui devient réservé à temps complet à l'eau et n'est plus disponible pour des activités humaines autres, mis à part l'économie de loisir le cas échéant...).

Nous comprenons dès lors que cette double dimension de l'eau, à la fois risque et ressource, doit être intégrée dans les raisonnements pour éviter de substituer un risque à un autre. L'eau est un « Janus » au double visage que l'on ne peut ni ne doit ignorer...

L'objectif de cet ouvrage

Cet ouvrage a pour objectif de contribuer à vulgariser les concepts utiles à une bonne compréhension des problématiques de l'eau et à déterminer une approche efficace et objective dans la recherche de solutions adaptées.

Il s'adresse aux praticiens, nouveaux ou chevronnés, aux gestionnaires de territoires confrontés aux problèmes de prévention des risques, mais aussi aux autres acteurs de ces mêmes territoires qui souhaitent pouvoir limiter les impacts qu'une politique de prévention des risques mal conduite peuvent générer.

Il n'a pas la prétention d'être un ouvrage scientifique. Il est destiné aux praticiens qui pourront mettre à profit l'expérience cumulée de l'auteur, initialement chercheur puis observateur de ces sujets dans différentes régions du monde, depuis de nombreuses années. Le lecteur y trouvera des références permettant de creuser diverses parties du sujet. La bibliographie, volontairement limitée, pourra servir de base de départ à cette recherche.

Ce rapport technique a été écrit en complément de la note technique n° 35, de novembre 2017, intitulée « Risque d'inondation et villes des pays en développement ». Il a pour ambition d'être à la fois plus synthétique et plus précis dans la manipulation des concepts.

1. Fondamentaux

1.1. Le phénomène naturel

La cause première des inondations, cours d'eau qui déborde, est due aux importants ruissellements qui les alimentent, eux-mêmes causés par des précipitations abondantes. On retrouve là les éléments bien connus du cycle de l'eau et la nécessité d'analyser la genèse du phénomène à l'échelle adaptée du bassin versant. Ce sera le rôle de l'hydrologie.

L'eau est un liquide incompressible. Une fois tombée sur le sol, et à l'exception de la partie limitée qui peut s'infiltrer, son volume ne peut qu'être réparti dans le temps et dans l'espace. Toute action aura pour effet de modifier cette répartition temporelle ou spatiale. La solution extrême du barrage de stockage permet de retenir l'eau, pendant plusieurs semaines ou plusieurs mois, en la concentrant dans un espace réservé. À l'opposé, les solutions classiques de recalibrage et d'endiguement longitudinal ont pour effet d'accélérer les écoulements vers l'aval. À l'aval de ces aménagements, on a, dans un cas, un écrêtement ou un laminage de l'onde de crue qui en réduit la pointe et en augmente la durée ou, dans l'autre cas, une augmentation de la pointe et une réduction de la durée. Ce sera le rôle de l'hydraulique que d'analyser tout au long du linéaire de cours d'eau la propagation et la déformation de l'onde de crue ainsi que les effets induits des aménagements. On comprend néanmoins que la généralisation d'un même et unique type d'aménagement aura forcément des conséquences négatives et qu'il faudra, d'une manière ou d'une autre, diversifier les stratégies de gestion de ces ondes de crue.

Illustration 1. Le bassin versant et sa diversité

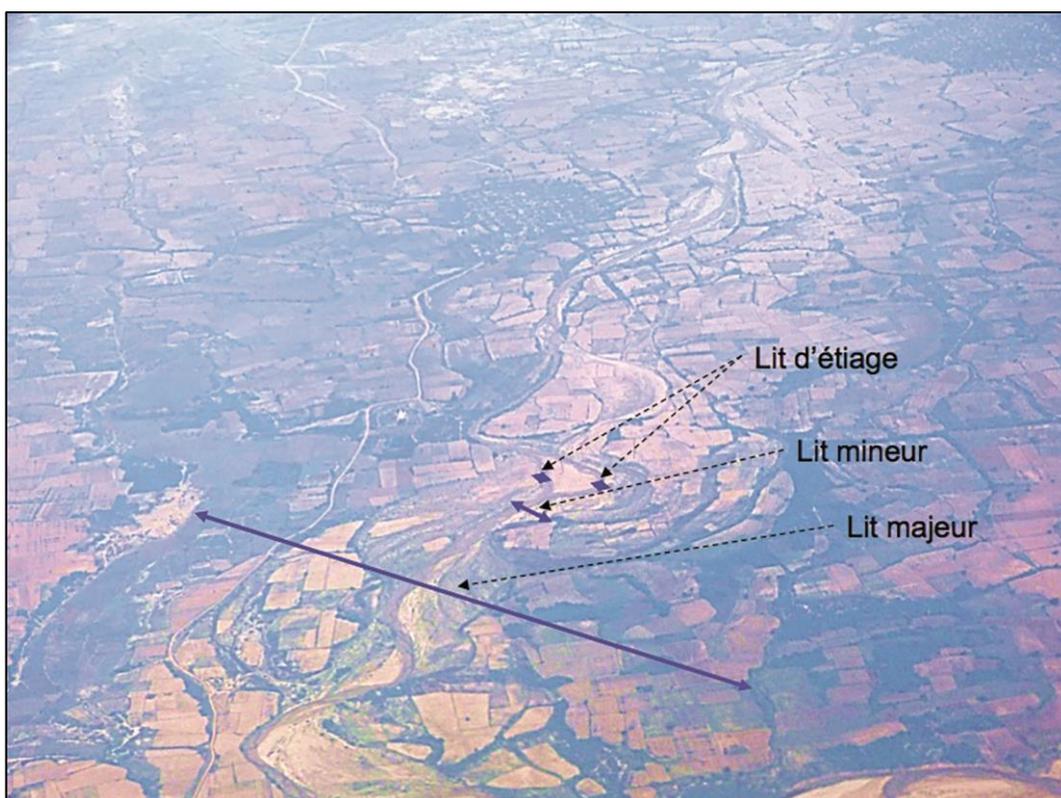


Source : <http://www.mnivesse.com/portfolio/bassin-versant/>
Crédit : OFB

À l'état naturel, le lit d'une rivière est composé de plusieurs « sections » : le lit mineur, qui résulte d'un équilibre géomorphologique entre les matériaux qui le composent et la force érosive du régime des débits qui y circulent. En milieu tempéré, la capacité du lit mineur permet à la crue maximale de fréquence annuelle de passer sans débordement... les rivières débordent donc naturellement une année sur deux en moyenne de leur lit mineur ! Viennent ensuite les lits moyen et majeur. Il n'est pas toujours facile de les distinguer, mais ils gardent la trace des régimes de pluies et des crues et définissent l'enveloppe maximale des inondations possibles. Or, une chose est sûre : un endroit qui a été inondé pourra l'être de nouveau (et le sera certainement) à l'avenir !

Cette enveloppe maximale permet de cartographier le champ des possibles et devrait alerter les usagers du territoire, et en particulier les « décideurs » sur l'existence d'une menace (d'un aléa), serait-elle de très faible probabilité. Le fait d'en être conscient est un premier pas dans sa prise en compte et sa prévention. Par ailleurs, si l'on analyse ces éléments, il devient évident qu'au regard de l'importance de la part du territoire concerné, il s'avère impossible de laisser toute cette place à l'eau : l'usage du territoire doit être partagé avec l'eau. Cela doit être fait en connaissance de cause, en étant conscient de l'aléa existant et donc du risque accepté pour adapter sa pratique d'aménagement en conséquence. C'est une étape essentielle de la prévention.

Photo 1. Les différents lits d'un cours d'eau



Crédit photo : Olivier Gilard – Myanmar – mai 2017.

1.2. Risque = aléa (combiné à) vulnérabilité

Plusieurs approches existent pour conceptualiser le risque. Mais il est aujourd'hui quasi généralement admis que le risque résulte de la confrontation de deux facteurs : l'aléa et la vulnérabilité, le premier mesurant peu ou prou l'exposition d'une parcelle de territoire au phénomène étudié, le second étant une représentation des enjeux présents. Par exemple, quand une rivière déborde dans une forêt ou une prairie, personne n'en parle ; installez-y une maison, vous êtes confronté à un risque. Seule la vulnérabilité a changé !

1.2.1. La vulnérabilité du territoire (ou l'estimation des enjeux)

Abordons tout d'abord le facteur vulnérabilité, car c'est souvent le plus mal documenté et apprécié. C'est aussi celui qui a indéniablement le plus évolué au cours des dernières décennies, où que ce soit dans le monde, et cela sous l'influence de la croissance démographique, du développement socio-économique et de la tendance à l'urbanisation.

Notons au préalable qu'il ne peut pas être décrit de manière globale : le long d'un cours d'eau, et même à l'intérieur d'un ensemble urbain, il y a une grande diversité d'enjeux qui peuvent être analysés finement : une friche n'est pas similaire à une parcelle labourée, un espace vert urbain n'est pas identique à une voirie, un supermarché n'est pas équivalent à une école ni à un hôpital, un habitat dense n'est pas un lotissement de pavillons dispersés, une maison à étage ne présente pas les mêmes contraintes qu'un bâtiment d'un seul niveau...

Photo 2. Variabilité de la vulnérabilité



Crédit photo : Olivier Gilard – Vietnam – banlieue de Hô Chi Minh Ville – janvier 2007.

Soulignons ici que ce facteur peut être modifié par un changement de la répartition spatiale de la vulnérabilité (rôle de la planification urbaine et territoriale) ou par des normes de construction (entresol, pilotis...) et d'occupation de l'espace.

Photo 3. Les normes de construction (pilotis) permettent de réduire la vulnérabilité de l'habitat



Crédit photo : Olivier Gilard – Cambodge – Phnom Penh – 2009.

C'est en application de cela qu'après les inondations dues à la tempête Xynthia, en 2010, des maisons ont été modifiées pour assurer l'existence d'une zone refuge et la possibilité d'une évacuation par la toiture. De telles maisons sont jugées, avec raison, moins vulnérables.

Les économistes ont approché ce facteur par des analyses de dommage (parfois fonction de paramètres hydrauliques comme la hauteur, la durée ou la vitesse de courant). Mais il apparaît évident que la vulnérabilité englobe d'autres éléments que la seule valeur économique directe, ce qui complexifie son analyse. Par exemple, il serait difficile de donner une valeur marchande à un album photos qui aurait été perdu ; pourtant l'impact psychologique de sa perte existe, notamment pour des personnes âgées, attachées aux souvenirs. Par ailleurs, cette approche efface très vite la répartition spatiale de la vulnérabilité, car on a vite fait de faire la somme des dommages possibles sur l'ensemble du territoire.

Encadré 1. Pourquoi n'est-ce pas si simple d'analyser la vulnérabilité ?

Prenons l'exemple d'un camping et d'une centrale nucléaire : quelle serait l'occupation du sol présentant la plus grande vulnérabilité ? On pourrait penser au camping, au regard des morts que provoquerait une inondation. Mais en y réfléchissant plus avant, les conséquences de l'inondation d'une centrale nucléaire seraient incommensurablement plus élevées que celles d'un camping. Nonobstant le niveau d'aléa de la parcelle, la vulnérabilité d'une centrale nucléaire est bien plus importante que celle d'un camping !

L'exemple d'un supermarché et d'une caserne de pompier, pourrait laisser penser que la caserne est moins vulnérable que le supermarché du fait que la population qui y réside est très consciente des risques... Mais, si la caserne est inondée, c'est tout le dispositif de gestion de crise qui est affecté ; toute intervention des pompiers serait rendue impossible ! On aurait donc intérêt à considérer cette caserne comme plus vulnérable que le super marché et à chercher à mieux la protéger (c'est-à-dire, y réduire le niveau d'aléa).

Enfin, ne faudrait-il pas distinguer la vulnérabilité d'un point de vue « prévention » de la vulnérabilité d'un point de vue « gestion de crise » ? Reprenons notre exemple : si la prévention a été bien faite, ceux qui nécessiteraient une aide immédiate sont bien les gens du camping et du super marché et non la centrale nucléaire et la caserne de pompiers ! l'échelle de mesure d'une certaine manière s'inverse... Mais le même vocabulaire reste utilisé, ce qui peut générer de la confusion.

L'analyse de la vulnérabilité doit faire appel à divers niveaux d'imbrication et de perception sociale. La perception individuelle n'est pas identique à la perception communale, qui diffère encore à l'échelle du bassin versant puis du pays. Ce sont d'ailleurs ces solidarités emboîtées qui permettent de relativiser une perception individuelle en l'accompagnant de mécanismes construits à une autre échelle territoriale et sociale, comme les mécanismes assurantiels ou les investissements dans des infrastructures collectives. Chaque niveau à son rôle à jouer dans la prise en compte du risque. Nous y reviendrons.

Notons que l'on peut faire une analyse de vulnérabilité indépendamment de l'aléa : une maison donnée (ou un enjeu quel qu'il soit), si elle est inondée peut-être caractérisée par une courbe de dommage. Cela est vrai quelle que soit sa localisation dans une plaine inondable ou pas (ce qui change c'est la probabilité de survenue de ces inondations). Il est essentiel de respecter cette indépendance des facteurs pour avoir la meilleure objectivité possible et bien différencier le concept de vulnérabilité et celui de risque.

Enfin, nous privilégierons le terme de vulnérabilité plus englobant (spatialement, économiquement, psychologiquement etc.) plutôt que celui d'enjeu, même si la littérature spécialisée l'utilise dans des contextes très différents, ce qui revient à en brouiller la sémantique.

1.2.2. L'aléa inondation

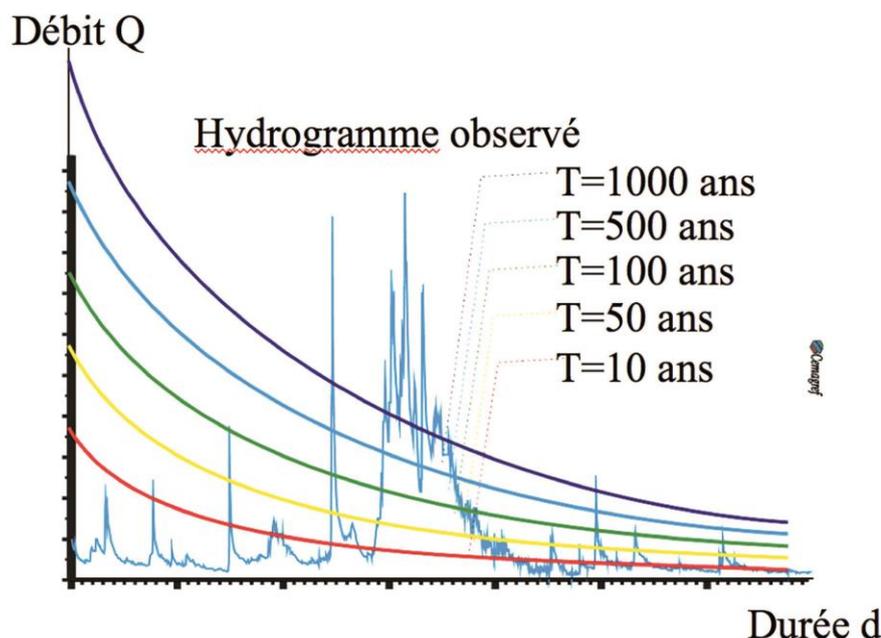
Si la vulnérabilité est essentiellement du domaine de la socio-économie, le facteur « aléa » est lui directement lié au phénomène hydrologique et hydraulique. Sa première caractéristique est son extrême variabilité intrinsèque : l'observation des crues dans une rivière montre que chaque événement est unique, avec ses caractéristiques de débit de pointe (intensité) et de volume (durée), sa dynamique etc. Les hydrologues ont développé des modèles statistiques pour résumer cette variabilité et la rendre utilisable. Les plus intéressants sont sans doute les représentations en débit-durée-fréquence du régime des crues d'un cours d'eau, qui assurent, du fait de leur cohérence d'ensemble, une bonne robustesse de la représentation, limitant ainsi l'effet des incertitudes. Leur qualité dépend néanmoins du volume de données d'observation disponible, et en particulier de la longueur des séries chronologiques afin de disposer d'une estimation fiable des événements de fréquence rare.

L'hydrométrie qui fournit les données de base est loin d'être elle-même une science exacte, d'autant que l'on ne sait mesurer réellement de manière continue que la cote de la surface de l'eau. Les autres variables, comme le débit, résultent d'une première modélisation des phénomènes, étayée par d'autres mesures ponctuelles (courbes de tarage). De plus, la maintenance des réseaux de mesures hydrométriques reste un défi sans cesse renouvelé sur le long terme.

L'estimation des débits en crue exceptionnelle est également un « art » et l'imprécision sur ces valeurs reste importante, quels que soient les efforts faits pour la réduire.

C'est bien la cohérence de l'ensemble du régime décrit qui est importante, plus que la valeur précise d'une fréquence particulière. On rappellera aussi les limites des modèles pluie-débit, dont la qualité descriptive dépend étroitement de la quantité de données de calage disponible ce qui, appliqué aux fréquences rares, incite à la prudence. Il est important que des chercheurs continuent à les travailler. Il est toutefois rare que l'on puisse les utiliser de manière opérationnelle dans des contextes où les données sont limitées, ce qui est malheureusement encore trop souvent le cas des pays en développement.

Graphique 1. Les courbes Débit-durée-fréquence (QdF) :
Représentation synthétique de l'aléa de crue prenant en compte l'intégralité
du régime des crues d'une rivière



Source : Guide pratique de la méthode inondabilité – O. Gilard - étude inter-agences
n° 60 – 1998.

Encadré 2. Événement versus Régime de crue.

En particulier après un événement ayant provoqué une catastrophe ou une crise, l'on a tendance à limiter l'aléa à ce seul événement.

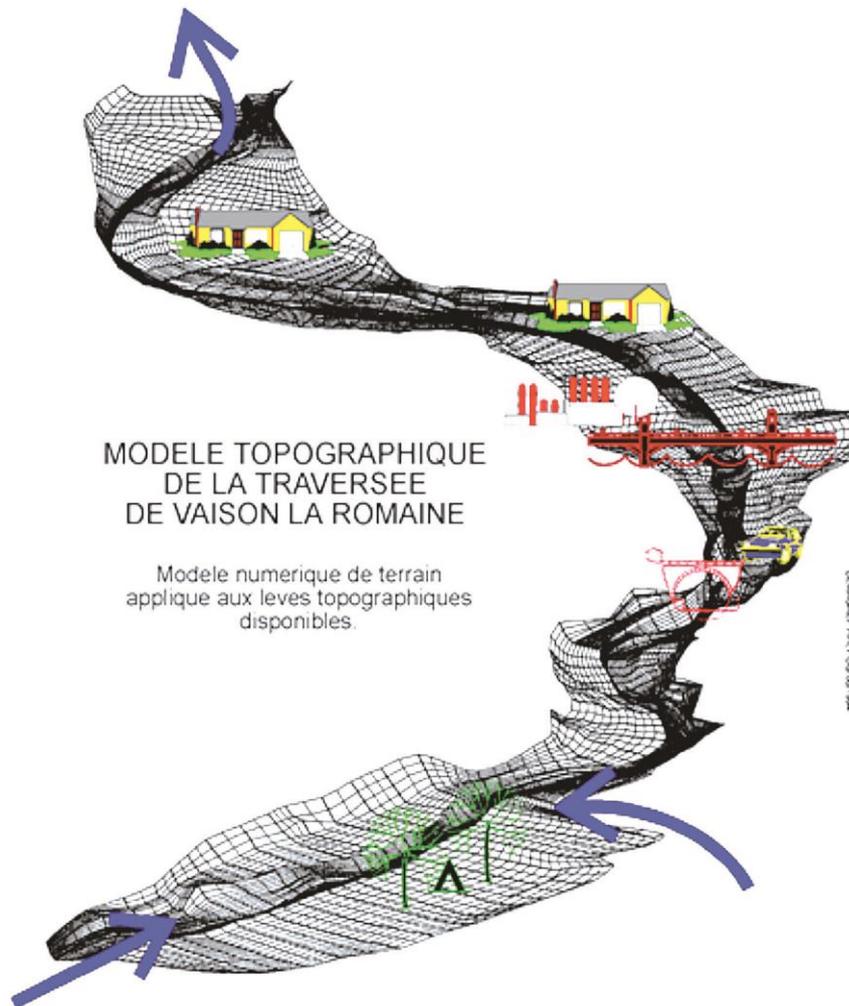
Or, la définition de l'aléa doit tenir compte de l'ensemble du champ des possibles et ne pas se limiter à un événement de référence particulier, le seul dont la probabilité de survenue à l'identique est quasi nulle, chaque crue particulière ayant ses caractéristiques propres, liées à des éléments très circonstanciels et contextuels (telle embâcle sous un pont, telle rupture de digue etc.).

L'aléa a enfin une incidence spatiale qu'il convient d'approcher : c'est le rôle dévolu à l'hydraulique de transformer la donnée hydrologique en hauteur d'eau et par là, en répartition spatiale.

Dans ce qui précède, on fait référence aux inondations liées à des débordements de cours d'eau, qui se caractérisent par une dissociation partielle entre le territoire générateur de la crue (le bassin versant) et le territoire exposé à l'aléa (le lit majeur du cours d'eau).

Néanmoins, on peut adapter le raisonnement aux inondations directement liées aux pluies et aux ruissellements urbains induits. Dans ce cas, l'aléa est décrit par le régime des pluies, lui-même représenté par les courbes en intensité-durée-fréquence.

Illustration 2. Modèle numérique de terrain permettant la modélisation hydraulique d'une rivière



Source : Illustration conçue par l'auteur – étude pour le Cemagref – 1993.

Enfin, quels que soient les aménagements proposés, l'eau étant un liquide incompressible, on ne peut que la déplacer dans le temps ou l'espace : tout aménagement « hydraulique » a donc pour effet de modifier cette répartition spatio-temporelle, ce qu'il convient de bien identifier pour éviter de déplacer le risque voir de l'augmenter au lieu de le réduire.

Illustration 3. Transfert des volumes d'eau inondant par les aménagements : différentes stratégies possibles



Source : Guide pratique de la méthode inondabilité – O. Gilard – étude inter-agences n° 60 – 1998.

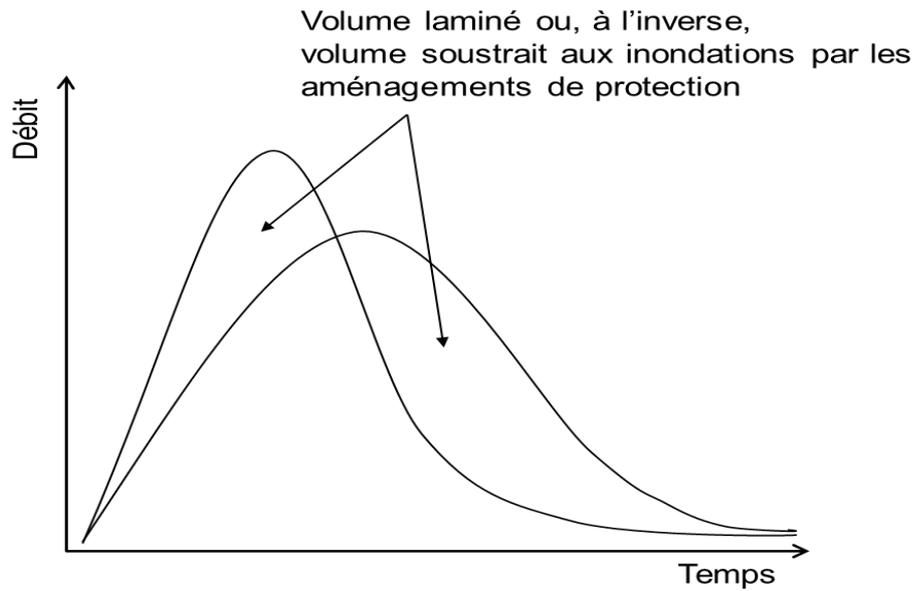
Le phénomène de laminage induit par les zones d'expansion des crues et les réservoirs revient à réduire les pointes de crue (réduction de l'intensité) par un étalement dans le temps (augmentation de la durée), comme illustré par le graphique bien connu des hydrauliciens.

Encadré 3. Le phénomène de laminage

On notera que ce phénomène est d'autant plus efficace que les volumes en jeu sont limités ou que les durées caractéristiques des phénomènes sont faibles. A l'inverse, pour des phénomènes lents corrélés à des volumes importants, l'efficacité du laminage nécessite des surfaces de stockage importantes. Un ouvrage peut ainsi être efficace pour des crues fréquentes et peu utile pour des crues exceptionnelles qui en saturent la capacité. A l'inverse, imaginons des ouvrages qui ne sont mobilisés que pour les événements exceptionnels permettant d'en réduire l'incidence : dans ce cas, l'espace considéré peut conserver un autre usage économique pour les événements courants, dont les pertes, en cas d'événement exceptionnel, sont compensées par d'autres mécanismes (assurance etc.).

On notera également que toute solution accélératrice des écoulements et réduisant les zones d'épandage des crues se traduit par l'effet inverse : raccourcissement de la durée caractéristique et augmentation du débit de pointe avec des conséquences négatives possibles à l'aval !

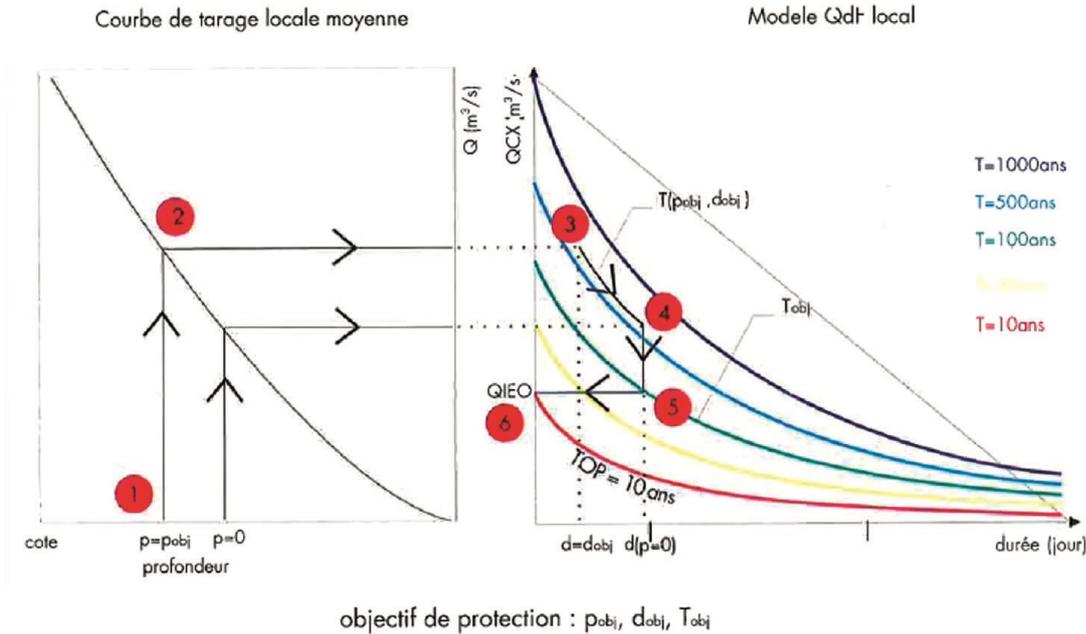
Graphique 2. Le principe de laminage (et son inverse)



Source : l'auteur.

À ce stade, rappelons également que, dans les conditions naturelles, ces phénomènes sont généralement « continus » et « progressifs » (sauf phénomène ponctuel d'embâcle et de sa rupture dans certaines circonstances). Cela signifie que pour être inondée par un mètre d'eau en cas de crue rare, une parcelle doit déjà être inondée par un centimètre d'eau en cas de crue plus fréquente. À l'inverse, cela signifie que l'information « une parcelle est juste atteinte par l'eau pour une période de retour T » contient en elle toute l'information de ce qui se passe pour les autres périodes de retour, en termes de hauteur et de durée de l'inondation.

Graphique 3. Équivalence de différentes caractéristiques d'inondation



Source : Guide pratique de la méthode inondabilité – O. Gilard – étude inter-agences n° 60 – 1998.

De cela on peut déduire que les inondations ne peuvent pas devenir simultanément plus fréquentes et plus intenses : soit elles deviennent plus fréquentes à intensité donnée, soit elles deviennent plus intenses à fréquence donnée, ce qui revient à translater le faisceau de courbes QdF représentant le régime hydrologique. L'erreur est malheureusement souvent faite, notamment dans la presse, en particulier celle traitant des effets du changement climatique.

Cette progressivité et cette continuité peuvent être modifiées par des aménagements hydrauliques et, en particulier, par les digues qui, en cas de surverse ou de rupture, créent des discontinuités faisant passer d'une situation non inondée à une situation à inondation très contraignante en termes de hauteur et de durée (et de vitesse) dès qu'un événement particulier dépasse la référence ayant servi au dimensionnement de l'ouvrage. Ces effets de seuil sont bien plus difficiles à gérer et sont ceux qui causent *in fine* les plus grandes catastrophes : en réglant par une digue le problème des petites crues, on peut aggraver sérieusement l'impact d'une crue exceptionnelle, et ce d'autant plus qu'on aura « oublié » l'existence de ce risque résiduel en se croyant à l'abri.

Photo 4. La Vltava à Prague en 2002 : risque de catastrophe en cas de rupture de la digue



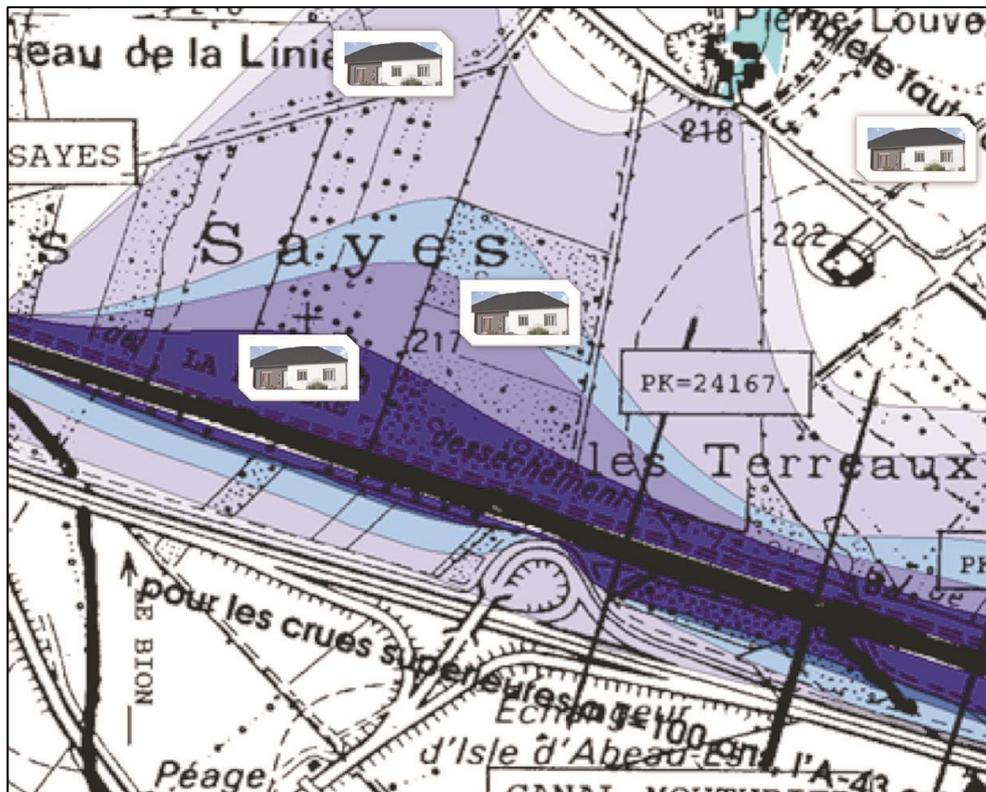
Crédit photo : Pierrick Givone (communication personnelle – Droit réservé).

1.2.3. La combinatoire des concepts vulnérabilité et aléa

Pour arriver à qualifier le risque, une combinatoire des deux concepts vulnérabilité et aléa est indispensable.

Sur la carte 1, nous voyons qu'une même maison (vulnérabilité équivalente) située à différents endroits d'une plaine partiellement inondable ne donne pas la même situation de risque.

Carte 1. Même vulnérabilité mais aléa différent en fonction de la position



Source : l'auteur. Etude pour le Cemagref, 1992.

À l'inverse, deux maisons architecturalement différentes, avec ou sans étage par exemple, sur une même parcelle inondable donnent également des niveaux de risque différenciés alors même que le niveau de l'aléa est le même.

Illustration 4. Même aléa mais vulnérabilité différente en fonction de l'habitat



Source : l'auteur. Création originale. Droit réservé.

L'approche la plus classique est celle qui revient à multiplier un coût de dommage (vulnérabilité) par une probabilité d'occurrence (aléa) et d'intégrer éventuellement cette fonction sur l'ensemble du champ des possibles. Cette approche présente deux faiblesses : d'une part, la fonction est toujours positive et la recherche d'une minimisation du risque

entraîne de facto la poursuite sans fin d'un risque zéro, seul minimum d'une fonction positive. D'autre part, elle ne permet pas une analyse fine et spatialisée.

Illustration 5. Combinaison classique de l'aléa (le dé) et de la vulnérabilité (estimation du coût des dommages)



Source : l'auteur.

Le résultat est le même quand on compare le coût des dommages au coûts des investissements dans une grosse infrastructure de protection : sans explicitation du risque accepté, il viendra toujours un moment où le coût de l'infrastructure sera dépassé par le coût des dommages résultant d'une crue plus exceptionnelle que celle ayant servi de référence au dimensionnement, justifiant ainsi l'investissement supplémentaire. Cela explique la spirale de l'aménagement qui fait s'enchaîner une diminution de l'aléa par une augmentation de la vulnérabilité, se traduisant *in fine* par une augmentation du risque, contrairement à l'argumentaire initialement utilisé pour justifier les investissements consentis pour réduire l'aléa.

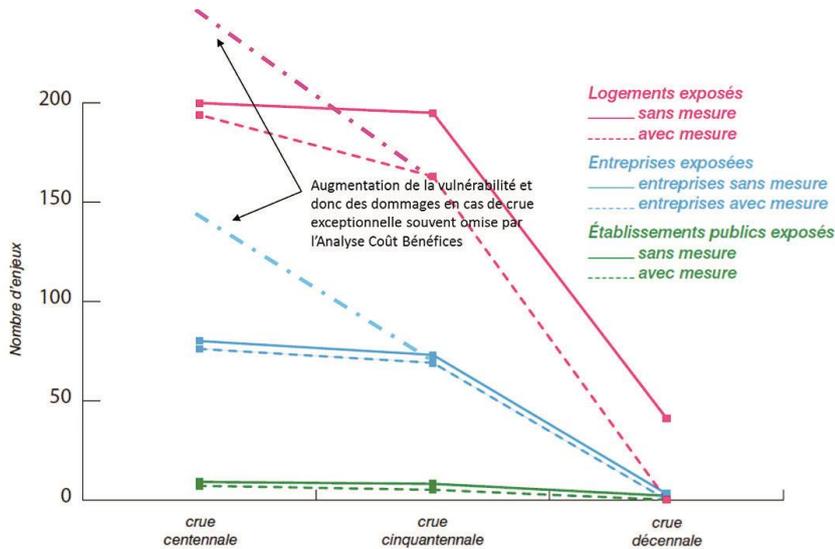
Encadré 4. Illustration de la spirale de l'aménagement

Dans la plupart des cas, cette approche intègre mal le fait qu'il reste un risque résiduel lié aux événements plus exceptionnels que ceux ayant permis le dimensionnement des infrastructures de protection ainsi que l'évolution de la vulnérabilité, rendue possible par la protection assurée.

Le graphique 4, issu du guide de l'Analyse Coût Bénéfice du Centre européen de prévention du risque d'inondation (CEPRI) – modifiée par l'auteur – illustre, en ajoutant une évolution probable de la vulnérabilité à la suite de l'aménagement de protection.

(cf. http://www.cepri.net/tl_files/pdf/guideacb.pdf).

Graphique 4. Effet possible d'une mesure de protection sur l'évolution de la vulnérabilité

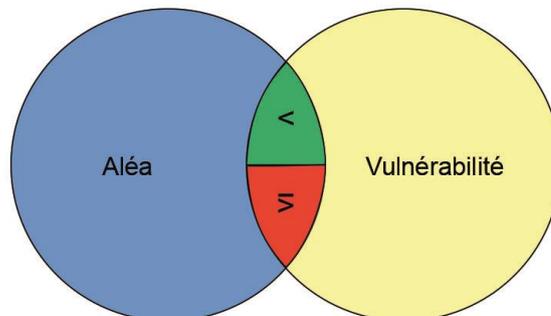


Augmentation de la vulnérabilité et donc des dommages en cas de crue exceptionnelle souvent omise par l'Analyse Coût Bénéfices

Si l'on admet le principe qui énonce que « le risque zéro n'existe pas », cela revient à admettre la notion de risque acceptable et, par voie de conséquence, l'existence de situation à risque positif (inacceptable) et négatif (acceptable). En revenant à nos deux composantes, cela implique d'en faire une combinatoire additive plutôt que multiplicative. Il faut enfin représenter la diversité des situations au niveau de chaque parcelle pour avoir une représentation spatiale du risque qui permette d'identifier des solutions possibles. De même que l'aléa (l'eau) est déplacé dans l'espace par des aménagements, le risque se répartit différemment quand on modifie aussi le facteur de vulnérabilité (l'occupation de l'espace), et cela rendrait le risque acceptable partout.

Une tentative assez aboutie de modélisation du risque a fait l'objet d'un programme de recherche dans les années 1990, avec le programme Inondabilité du Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts – Cemagref (devenu depuis Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture - IRSTEA puis Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement- INRAE). Mais cette méthode n'est pas sortie du domaine de la recherche.

Illustration 6. Combinaison de l'aléa (Période de retour équivalent à l'aléa TAL) et de la vulnérabilité (Période de retour équivalente à l'objectif de protection TOP) dans la méthode Inondabilité



Source : Cemagref, 1992.

Les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) après ceux du Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe – *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UNISDR) ont introduit un troisième élément pour conceptualiser le risque en plus de l'aléa et de la vulnérabilité : celui d'exposition ; conséquence sans doute du fait qu'au niveau d'UNISDR, l'on tente de prendre en considération l'ensemble des risques de toute nature. En se limitant au seul risque d'inondation, dont la répartition spatiale peut-être définie lors de la caractérisation de l'aléa, il semblerait que ce terme ne soit indépendant ni de celui d'aléa ni de celui de vulnérabilité, et qu'il soit en fait redondant avec celui de risque tel que nous l'envisageons ci-dessus.

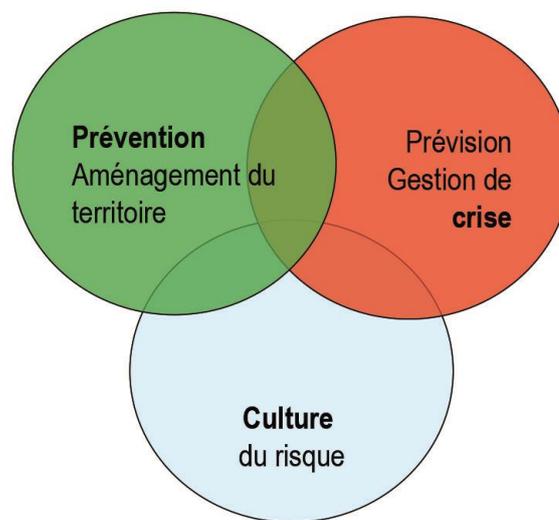
À l'instar de la définition de la vulnérabilité, ce qui peut être valable pour analyser une situation de crise ne l'est pas forcément dans une perspective de prévention ou d'aménagement.

1.3. Trois composantes de la gestion des risques

En matière de politique de réponse aux catastrophes naturelles et d'inondation en particulier, les actions possibles peuvent être classées en trois grandes composantes complémentaires mais de nature différente, à savoir :

- la prévention,
- la gestion de crise,
- la culture du risque.

Illustration 7. Les trois composantes d'une politique de prise en compte du risque d'inondation ou de réduction du risque de catastrophe causée par les inondations



Source : l'auteur. Création originale.

La prévention vise à prendre des mesures pour s'assurer que le niveau de risque que l'on a pris est acceptable et pour garantir une bonne connaissance de ce niveau de risque. Elle est intégrée à la gestion d'un territoire et ne peut se limiter à une approche événementielle des phénomènes.

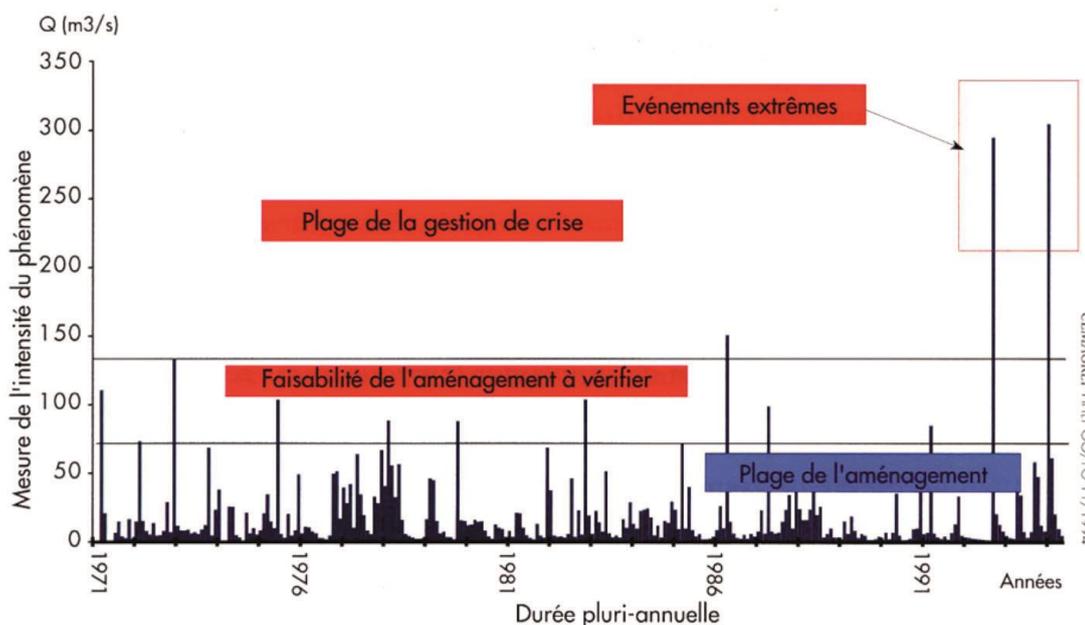
La gestion de crise, et les mécanismes assurantiels, permettent, en reconnaissance du niveau de risque (résiduel) accepté, de mettre en place les mesures *ad hoc* pour réduire l'impact des inévitables catastrophes et d'aider à la résilience des individus et des territoires. À l'inverse de la prévention, c'est bien une approche événementielle qui prédomine.

La culture du risque permet de partager la connaissance entre les personnes et les institutions concernées pour maintenir la conscience du risque accepté et de la possibilité de survenue des crises, et favoriser ainsi des réactions individuelles et collectives adaptées aux situations de crise, tant en termes de prévention que de comportement.

La combinaison de ces trois approches doit s'adapter à la variabilité naturelle du phénomène : il est en effet illusoire de vouloir se protéger des événements les plus rares par des protections structurelles, alors qu'une bonne gestion de crise permet d'en limiter les effets. À l'inverse, les événements les plus fréquents doivent pouvoir être traités par une bonne prévention jouant sur l'aléa et la vulnérabilité, de manière à rendre compatible l'activité

économique régulière avec la situation de risque ainsi maîtrisée. Où se situe la limite entre les deux ? C'est toute la question du risque acceptable qui doit être négocié localement avec les différents acteurs présents sur le territoire et être adaptée spatialement en fonction de la vulnérabilité locale (on ne protégera pas de la même façon une zone agricole et une zone urbaine).

Graphique 5. Illustration de la part de l'aléa gérable par les stratégies de prévention ou de prévision / gestion de crise



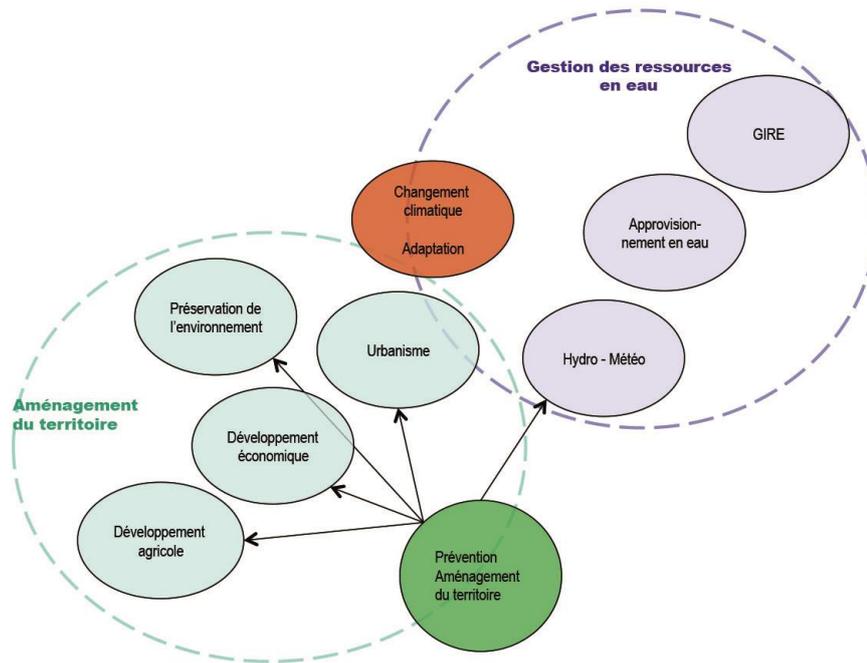
Source : Guide pratique de la méthode inondabilité – O. Gilard – étude inter-agences n° 60 – 1998.

1.3.1. La prévention du risque d'inondation pour limiter les dommages

La prévention s'entend comme l'ensemble des mesures prises pour maîtriser le niveau d'aléa (mesures hydrauliques) et de vulnérabilité (occupation du sol, normes de construction...). Elle doit être déclinée au travers de l'aménagement du territoire *via* des mesures structurelles et non structurelles, suite à un processus négocié entre l'ensemble des individus et des institutions, le tout à une échelle spatiale adaptée pour bénéficier de la diversité des situations et dégager des marges de manœuvres utilisant cette diversité.

La prévention fait intervenir l'ensemble des institutions en charge de l'aménagement du territoire et doit trouver des compromis négociés entre plusieurs préoccupations portées par ces acteurs : économiques, environnementales, urbanistiques, paysagères, etc. Les priorités peuvent évoluer dans le temps et la prévention des risques est souvent ravivée après un événement catastrophique ou qui a failli l'être. Mais les autres objectifs dont celui de la croissante urbaine et du développement économique sont tout autant légitimes et nécessaires.

Schéma 1. Les différents éléments entrant dans la politique de prévention



Source : l'auteur. (Création originale).

Un processus de prévention bien mené n'empêche pas de développer des activités économiques en zone inondable si tant est que la fréquence de cet aléa soit suffisamment faible sur la parcelle concernée. Mais il convient de bien prendre en considération la contrainte qu'il sous-tend. Ce pourrait être, dans l'espace agricole, des conduites de cultures plus tolérantes aux inondations (sans labour versus labour, par exemple), et dans le milieu urbain, des dispositions constructives (entresol ou pilotis, conception du réseau électrique, etc.), ainsi que des aménagements connexes (cheminement hydraulique pour l'évacuation de l'eau, l'accélération de la décrue et le retour à la normale). Cela pourrait également se traduire par de vraies servitudes associées au titre foncier, comme il en existe pour d'autres contraintes collectives (par exemple, les servitudes de passage). Autant d'aménagements qui contribueraient, en cas de survenue de l'aléa, à limiter les dommages et à préserver au mieux la fonctionnalité économique.

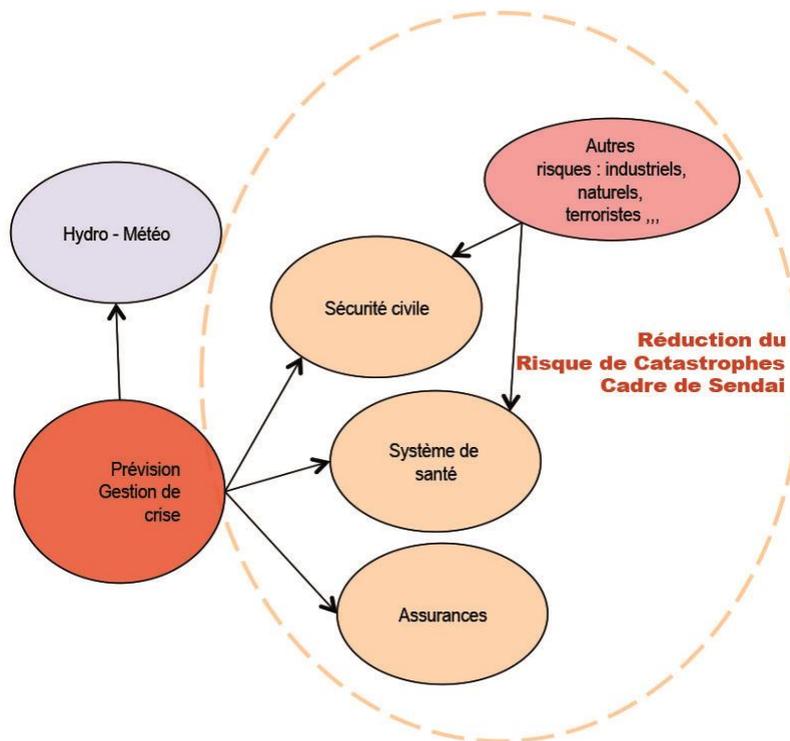
Toutefois, une prévention efficace, du fait de la diminution de la fréquence des crises, peut aussi s'avérer en partie contre-productive, en réduisant la conscience du risque résiduel, par là même la culture du risque et, au-delà, la capacité de résilience des populations concernées. Pour exemple, la basse plaine de l'Aude où la réduction de l'aléa par le recalibrage et l'endiguement de la rivière a réduit la fréquence des inondations au cours du XXe siècle. Les maisons traditionnellement à étage avec un rez-de-chaussée servant de hangar présentaient une faible vulnérabilité aux inondations. Peu à peu, la mémoire du risque s'étant estompée, les rez-de-chaussée ont été intégrés à l'habitation, rendant les dégâts plus importants lors des crues débordantes, plus exceptionnelles certes, mais néanmoins toujours possibles.

1.3.2. La gestion de crise pour une bonne résilience

À partir du moment où la prévention n'est pas absolue, les crises surviendront de temps en temps, ce qui résulte des compromis consentis, évoqués au paragraphe précédent. Il faut donc mettre en place des dispositifs pour gérer ces crises efficacement.

Une littérature abondante décrit les modalités de gestion de crise : plans de secours, dispositifs d'alertes, crises, post-crisis, nettoyages, reconstructions, leçons de l'expérience. La gestion de crise fait appel à d'autres institutions que celles qui interviennent en temps normal : services de secours, sécurité civile, forces de l'ordre, etc.

Schéma 2. Les différents éléments entrant dans la politique de prévision des crises et gestion des catastrophes



Source : l'auteur. Création originale.

Une gestion de crise efficace permet de réduire très fortement le risque létal grâce à l'évacuation des personnes. Notons néanmoins qu'une prévention mal pensée peut augmenter la difficulté de l'alerte et donc le risque en cas de crise par l'apparition d'effet de seuil, généralement inexistant à l'état naturel (cas d'une surverse ou d'une rupture de digue).

En revanche, une gestion de crise, même la plus efficace, a peu d'impact sur les dégâts économiques, dans la mesure où seuls les biens facilement mobiles peuvent être mis à l'abri. Plus la dynamique des phénomènes est rapide (cas des régimes climatiques méditerranéens ou tropicaux), moins l'alerte est efficace en termes de réduction des dommages financiers, du fait de la brièveté du délai entre la prévision permettant la prise de décision et la survenue du phénomène.

Dans les cas de dynamiques plus lentes (inondations de quelques jours ou semaines au bord des grands fleuves), l'alerte peut néanmoins permettre le déploiement de dispositifs

de protection temporaire localisés, pour protéger certains secteurs à enjeux particuliers. Mais il faut garder en mémoire qu'une crise, à son apogée, se traduit par une désorganisation momentanée de nombreux services. Les dispositifs déployés en période de crise, qui nécessitent une forte intensité de main-d'œuvre, n'en disposent pas toujours, et les dispositifs réputés automatiques font parfois défaut, faute d'énergie ou de moyens de communication, souvent inopérants en période de crise. Là où les enjeux sont très importants (une centrale nucléaire comme vulnérabilité extrême et donc facteur de risque supplémentaire, par exemple), il est primordial de prévoir des dispositifs de redondance et de pouvoir fonctionner en mode dégradé pour traverser les crises sans ajouter à la catastrophe.

Ces dispositifs permettent d'améliorer la résilience dans la gestion des crises, et d'accélérer le retour à la normale.

Il est important de noter que les compétences hydrométéorologiques indispensables pour bien gérer les crises, en temps réel et en avenir incertain, ne sont pas les mêmes que celles nécessaires pour prédéterminer l'aléa et donc le risque. Les crises le sont par la nature unique de l'événement qui les a causées et dont on est certain qu'il ne se reproduira jamais à l'identique, stricto sensu, les rendant pour partie imprédictibles.

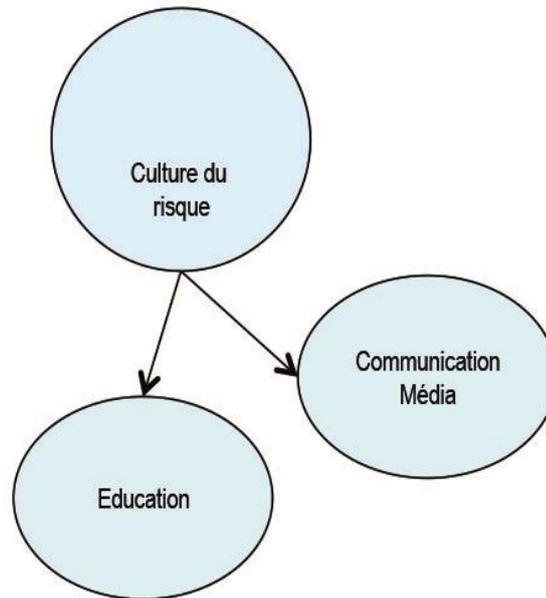
La prévision des épisodes exceptionnels est un art d'autant plus difficile que ces événements, par leur nature, échappent aux modèles décrivant un fonctionnement « normal », et qu'ils échappent aussi à la mesure (il est en général impossible d'organiser un jaugeage en période de crue exceptionnelle). Les modèles aussi bien hydrologique qu'hydraulique doivent, pour être précis, être calés sur des données observées, mais celles-ci sont toujours entachées d'une erreur d'autant plus importante que l'événement observé est exceptionnel et donc difficile à mesurer. Il y a comme une contradiction à vouloir prédire l'exceptionnel !

1.3.3. La culture du risque, un préalable indispensable

La culture du risque est enfin la troisième composante d'une politique de gestion des risques efficace et sans laquelle les deux autres perdent en efficacité. En effet, une population « acculturée » sur le sujet n'interprète pas correctement les messages émanant des institutions en charge de la prévention ou de la gestion des crises. Or, si le problème comporte une large part de processus collectif, sa résolution dépend aussi d'un comportement individuel approprié.

Cela est vrai dans le domaine de la prévention. Sans culture du risque, les refus de permis de construire pour cause de niveau d'aléa trop fort ou les normes de construction qui peuvent renchérir le coût de la construction peuvent être mal comprises et non appliquées, jusqu'à la prochaine crise, après laquelle les individus se retournent contre la collectivité. Y compris en recherche de responsabilité pénale, en cas de drame individuel.

Schéma 3. Les différents éléments entrant dans la politique de développement d'une culture du risque



Source : l'auteur. Création originale.

Cela est également vrai dans le domaine de la gestion de crise car son efficacité dépend de comportements « réflexes » qui ne laissent pas le temps de la réflexion sur le moment. Cela est particulièrement vrai pour les ordres d'évacuation qui ne sont suivis d'effet immédiat que si le terrain psychosociologique a été préparé correctement.

Sans une communication régulière et une éducation aux risques, la mémoire et la culture du risque disparaissent, renforçant un sentiment de sécurité, valable seulement en dessous d'un certain seuil.

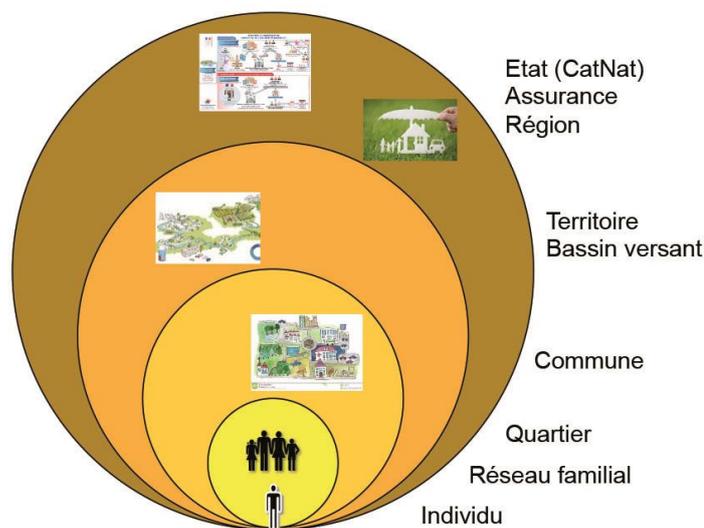
Par ailleurs, cette culture du risque est indispensable pour permettre les prises de décisions politiques et de mesures budgétaires, nécessaires aux financements des investissements destinés à mieux documenter, prévenir et prévoir les risques naturels, en leur donnant une priorité suffisante.

La cartographie des aléas, des vulnérabilités et des risques est un élément essentiel de cette culture du risque, indépendamment de la précision qu'on peut y avoir : les cartes sont la base de discussions de nature à nourrir la réflexion de tous les acteurs sur le sujet.

1.4. L'imbrication des échelles de solidarité

Il semble important de terminer ce chapitre sur les concepts fondamentaux en attirant l'attention sur les différentes échelles spatiales et sociales qui doivent s'emboîter pour répondre efficacement à la problématique de la prévention des risques d'inondation.

Illustration 8. L'imbrication des différentes échelles géographiques et sociales qui conditionnent la vulnérabilité et l'aléa



Source : l'auteur. Création originale.

L'échelle opérationnelle est celle du linéaire du cours d'eau intégrant son bassin versant pour les apports car c'est à la fois l'échelle pertinente pour bien identifier les effets de transfert induits par les aménagements hydrauliques et pour disposer d'une variété d'occupation des sols, et donc de vulnérabilité à même de donner des marges de manœuvres et de négociation en particulier sur l'acceptabilité d'un certain niveau de risque différencié par zone. Si les conséquences des inondations sont souvent perçues principalement dans les zones urbaines, la recherche de solutions peut passer par une négociation avec les territoires ruraux environnants, plus à même de tolérer une contrainte hydraulique, pour autant qu'elle soit accompagnée de modalités compensatoires ad hoc. Le seul territoire urbain, tout en présentant lui aussi une certaine diversité, n'offre pas ces marges de manœuvres. En revanche, c'est à son échelle que devra être traité le risque d'inondation pluviale et de ruissellement urbain.

Cette dimension collective ne doit pas occulter une part de responsabilité individuelle : si l'exposition d'une parcelle à un aléa est dépendante de facteurs venant d'ailleurs, sa vulnérabilité est en partie dépendante des efforts consentis par chaque propriétaire. Il y a donc une part d'investissement individuel pour réduire globalement le risque. Celle-ci doit et peut être incitée par l'échelon supérieur (collectivité locale, etc.).

Enfin, lors des crises ponctuelles, une solidarité de niveau supérieur est appelée à intervenir, car généralement l'ensemble du territoire opérationnel est touché par un même événement, et nécessite d'aller chercher ponctuellement des ressources d'aide en dehors de ce territoire : c'est le rôle de la solidarité nationale et des mécanismes assurantiels de mutualiser à une échelle bien plus vaste, la réponse apportée au risque qui se manifeste localement. C'est ainsi que se bâtit la résilience qui permet de se remettre d'une crise que l'on vient de traverser. Mais il faut prendre garde, collectivement, que l'augmentation de la vulnérabilité n'aboutisse pas à l'effondrement du système global en cas de crise extrême.

Quand le risque devient systémique et que les crises touchent simultanément un ensemble très vaste, ces mécanismes peuvent être mis en défaut.

Ce facteur peut expliquer la différence entre la situation des pays développés, face à une crise, et celle de pays moins avancés, où les progrès de la gouvernance et les moyens financiers disponibles ne permettent pas encore une grande efficacité de ces échelles de solidarité emboîtées. Ces faiblesses de gouvernance ont des conséquences tant sur la mise en œuvre d'une politique de prévention (difficulté d'application des règlements d'urbanisme et capacités financières insuffisantes pour investir dans la prévention) que sur les politiques de gestion de crise (coordination entre acteurs et moyens de fonctionnement des dispositifs de secours), parfois en partie compensés par une meilleure culture individuelle du risque, les individus comptant peu sur les niveaux supérieurs en cas de crise.

2. De la théorie à la pratique

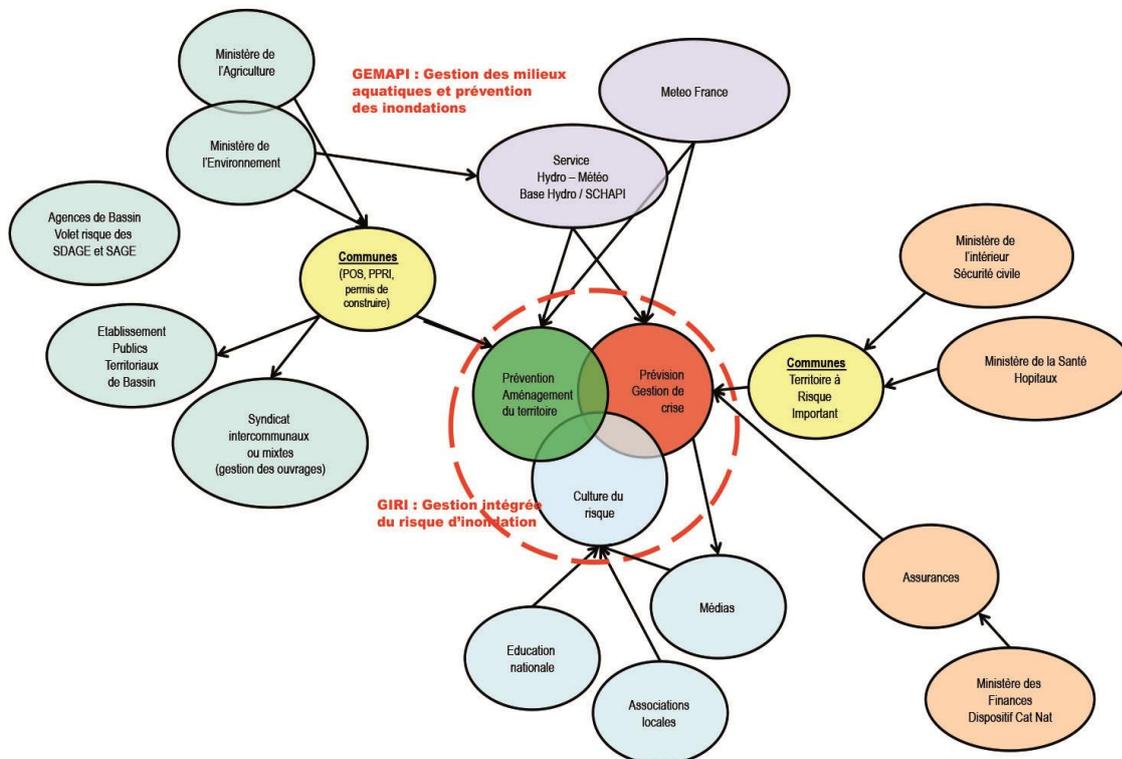
2.1. Qu'est-ce qu'un projet de réduction du risque d'inondation ?

2.1.1. La gestion intégrée du risque d'inondation

Le concept de gestion intégrée du risque d'inondation (GIRI) a été défini pour tenir compte de des trois composantes (prévention, prévision, culture) et rappeler qu'elles sont complémentaires les unes des autres.

Néanmoins, si le concept est très utile pour analyser les problèmes, il n'est pas certain qu'il soit très opérationnel, dans la mesure où chacune de ces composantes fait appel à des expertises différentes et doit être gérée par des institutions de natures différentes. Deux exemples illustrent ce propos. Les modèles hydrologiques de nature statistique, nécessaires pour la prévention des risques d'inondation n'ont pas grand-chose à voir avec les modèles hydrologiques déterministes, nécessaires à l'annonce de crue. Dans les deux cas il s'agit d'hydrologie, mais les experts d'un domaine ne le sont pas forcément dans l'autre domaine. Le second exemple concerne les institutions : les services chargés de la sécurité civile, essentiels à une gestion de crise efficace, ne sont pas en charge de l'aménagement du territoire, dont la planification est essentielle à une bonne prévention des risques.

Schéma 4. La multiplicité des acteurs institutionnels entrant dans une politique de gestion intégrée des risques d'inondation



Source : l'auteur. Création originale.

Ce schéma reprend les différentes composantes de la gestion des risques d'inondation passées en revue dans le précédent chapitre, en identifiant les différentes institutions concernées sur un territoire, afin de mettre en évidence la complexité du système et les dialogues intersectoriels rendus nécessaires lors de l'instruction d'un projet visant ce sujet.

2.1.2. Délimiter son projet

Un projet est gérable et efficace s'il est délimité spatialement ainsi qu'en nombre d'institutions impliquées. Le choix de ces limites est conditionné par des contraintes, certaines relativement objectives (les limites territoriales d'un bassin versant ne se négocient pas de même que les limites géographiques de la zone inondable correspondant à l'aléa maximum ou le plus rare), et d'autres discutables, donc négociables, comme les ressources financières affectées au projet ainsi que le nombre d'institutions qui prendront place autour de la table de pilotage du projet. L'efficacité des projets repose en priorité sur le choix d'un nombre limité d'acteurs, avec des rôles bien définis.

En matière de prévention, les collectivités locales, toujours en nombre sur un bassin versant dès qu'il dépasse quelques dizaines de kilomètres carrés, doivent être mobilisées, et leurs préoccupations portées par des représentants différents (urbanistes, environnementalistes, représentants des divers intérêts économiques, gestion de la ressource en eau, etc.). Viennent se rajouter les autorités nationales en charge des politiques de prévention des risques et des autres intérêts liés à l'eau (irrigation, environnement, énergie, etc.).

En matière de prévision et de gestion de crise, il convient d'associer à ces différents acteurs le service responsable de la sécurité civile, les services météorologiques ou hydrologiques chargés de l'observation en temps réel des phénomènes, les services de santé, de soins aux victimes...

En matière de culture du risque, il conviendrait de mobiliser les services de l'éducation, à même de diffuser une culture du risque, les médias, en mesure de disséminer les informations, mais aussi les assurances pour l'indemnisation des victimes.

2.2. Prévenir ou prévoir, il faut choisir !

Chaque situation particulière requiert un choix d'objectifs prioritaires, notamment entre une intervention de « prévention » (prenant en compte l'ensemble du champ des possibles) et une intervention de « prévision » débouchant sur la gestion des crises possibles (ciblant un événement particulier, unique).

Les acteurs à mobiliser comme les méthodes à employer diffèrent suivant les objectifs choisis. En hydrologie en particulier, décrire statistiquement un régime hydrologique de crue n'a pas grand-chose à voir avec la modélisation d'une relation pluie-débit sur un épisode hydrométéorologique particulier permettant d'annoncer la crue à venir. Par ailleurs, le fait de travailler simultanément sur la prévention et la prévision n'augmente en rien l'efficacité de l'une ou de l'autre, et peut avoir l'effet inverse : puisque l'on met en place une annonce de crue, nul besoin de maîtriser la vulnérabilité ou, à l'inverse, avec une digue de protection, nul besoin de développer une annonce de crue performante.

Le défi principal de la mise en place d'une gestion de crise efficace repose dans le financement de base d'une institution sensée n'intervenir qu'en cas de crise, donc, espérons-le, assez épisodiquement ; la phase d'investissement initiale est certes un peu onéreuse mais non démesurée. Dans un contexte de faibles budgets de fonctionnement des Etats concernés, de telles institutions « dormantes » sont d'autant plus difficiles à maintenir que leur activité est irrégulière. Cela justifie également que ces institutions ne soient pas spécialisées sur le seul risque d'inondation, mais sont constituées pour répondre à tout type de risque présent sur le territoire concerné.

À l'inverse, la mise en place d'une prévention efficace repose sur des investissements, notamment en infrastructures, qui peuvent être très lourds. Toutefois, si ces infrastructures sont bien conçues, elles ne devraient pas générer des coûts de fonctionnement trop importants. En contrepartie, ces investissements permettraient d'accompagner un développement raisonné d'un territoire, qui générerait de l'activité économique et augmenterait les ressources financières. Ces ressources contribueraient à assurer la maintenance des infrastructures.

Assez logiquement, pour un bailleur de fonds comme l'AFD, l'objectif de prévention semble plus approprié, en raison des caractéristiques des outils de financement disponibles, cela ne signifiant nullement que la gestion de crise est inutile et ne doit pas être financée sur d'autres ressources.

2.3. S'adapter au contexte particulier de chaque projet

Le cadre général présenté précédemment permet de structurer l'analyse d'une situation particulière et ce, d'autant plus que la sollicitation du bailleur résulte souvent d'une crise récemment vécue localement, et forcément spécifique de l'événement hydrologique particulier qui en est à l'origine. Le premier piège à éviter serait de faire de cet événement la « crue de projet » dont on voudrait se prémunir, alors qu'étant peut-être exceptionnel, cela ne serait pas raisonnable (ni sans doute faisable) ou, à l'inverse, s'il était fréquent, cela démontrerait seulement que l'occupation de l'espace serait irraisonnable, car menant à un risque inacceptable (ce qui peut être le cas en particulier des habitats informels et des quartiers précaires dans des zones inconstructibles qui devraient le rester). La solution ne serait pas alors de nature hydraulique mais de déplacer ces quartiers (ou d'en réduire la vulnérabilité par des modifications de normes de construction, comme les pilotis).

L'analyse doit permettre aussi de déterminer quelle est la meilleure stratégie en termes de prévention ou de de prévision, d'identifier les acteurs impliqués, de contextualiser la problématique de gestion du risque dans celle plus générale de gestion intégrée des ressources en eau, afin d'identifier les impacts possibles et de les prendre en compte dans la réflexion.

Cette analyse, poussée au crible des concepts précédemment énoncés, doit permettre de « dégrossir » le problème spécifique posé puis d'ajuster les termes de référence d'une étude de faisabilité, en tenant compte des contraintes locales spécifiques. Les paragraphes suivant, plus dans le détail, s'attacheront à guider la réflexion préalable à la définition des termes de référence d'une étude de faisabilité de projet appropriée.

2.3.1. Dégrossir la composante « aléa »

Cette partie de l'analyse doit permettre de poser différentes questions résumées ici.

- S'agit-il d'une inondation pluviale ou fluviale ?
 - Qui permet ensuite de déterminer les limites de la zone d'étude correspondant à la zone urbaine stricte, dans le premier cas, ou le bassin versant dans son ensemble, dans le second.
- Relativiser les événements récents en tentant de reconstituer l'historique des catastrophes documentées et en les positionnant dans l'ensemble plus général du régime de pluies ou des crues.
 - Qui permet de choisir entre un projet de prévention ou de prévision de crue,
 - et de déterminer si l'effort principal de l'étude doit porter sur l'aléa ou sur la vulnérabilité.
- Identifier les sources de données hydrométéorologiques disponibles.
 - Elles permettront de définir le degré de précision à attendre de l'analyse de l'aléa.

Notons ici que c'est sur cette composante - l'aléa - que s'applique l'impact du changement climatique, dont la capacité de prédiction dépend de l'existence de données permettant de calibrer d'éventuels modèles prédictifs. L'absence de données (séries pluviométriques ou hydrométriques de longue durée) réduit fortement la capacité d'analyse de l'impact du changement climatique, qui entre de fait dans l'imprécision de la référence servant au dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

2.3.2. Analyser la composante « vulnérabilité »

De par sa nature socio-économique, cette composante est la plus complexe à aborder. Elle est très souvent omise de l'analyse initiale. Tout effort pour l'explicitier plus objectivement contribue à une meilleure connaissance et à une recherche de solution plus équilibrée.

L'objet de cette première analyse est de faire ressortir la diversité de la vulnérabilité sur le territoire concerné, mais également d'élargir ce territoire pour y intégrer des territoires adjacents amenant une diversité plus grande et donc des éléments de solutions. Elle doit permettre aussi de dépasser les limites administratives quand la recherche d'une solution appropriée nécessite justement cet élargissement. Enfin, elle doit donner la possibilité de mieux cerner la complexité institutionnelle, pour renforcer l'efficacité du projet.

Photo 5. Première analyse de la diversité de la vulnérabilité suivant les zones



Crédit Photo : O. Gilard – Thaïlande – environ de Bangkok – mai 2013.

Les termes de référence de l'étude de faisabilité doivent ensuite définir l'échelle à laquelle la répartition spatiale de cette vulnérabilité doit être étudiée, de manière à la mettre en cohérence avec la précision de description de l'aléa, qui dépend elle-même de la qualité des données hydrométéorologiques disponibles. À l'inverse, il est inefficace de faire une étude trop fine (au centimètre près) de l'aléa, sans décrire avec la même finesse la répartition spatiale de la vulnérabilité.

Enfin, comme pour l'analyse historique de l'aléa, la dynamique de l'évolution de la vulnérabilité doit être appréhendée pour mieux expliquer le raisonnement faisant la part de l'aléa et de la vulnérabilité dans la situation de risque constatée à l'instant de la sollicitation, et pour tenir compte de son évolution prévisible, voire tenter de l'influencer.

2.3.3. Synthétiser le risque et ébaucher les solutions

C'est une étape indispensable pour pouvoir engager un dialogue avec les parties prenantes du projet, en tenant compte des deux composantes qui sont l'aléa et la vulnérabilité. Cette synthèse a plusieurs objectifs :

- présenter le niveau de protection atteint sur les différentes parcelles du territoire dans leur diversité ;

- illustrer les solidarités mises en œuvre entre les différents tronçons le long d'un même cours d'eau ;
- rappeler le niveau de risque résiduel qui continue à exister sur l'ensemble du lit majeur considéré ;
- permettre la comparaison de différents scénarios d'aménagement, tant du point de vue de l'aléa (infrastructures hydrauliques) que de celui de la vulnérabilité (niveau de protection négocié, évolution de l'occupation des sols, normes de construction).

Ce dernier point doit permettre de mettre en évidence l'impact de différents scénarios d'aménagement proposés et de servir de base à la négociation entre les différentes portions de territoires concernés.

Une telle synthèse doit permettre de dépasser la notion de « crue de projet » pour tenir compte de l'ensemble du régime hydrologique du cours d'eau et d'introduire la nécessité de faire appel à d'autres catégories de mesures de type annonce de crue et gestion de crise pour tenir compte du risque résiduel accepté.

La recherche de solutions doit enfin travailler autant sur l'aléa (via des aménagements hydrauliques) que sur la vulnérabilité, aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural. En milieu urbain, on peut agir *via* la planification et la réglementation urbaine ; en milieu rural on peut intervenir via l'usage des terres et la diffusion de systèmes de culture moins vulnérables, en accompagnement d'une contrainte hydraulique maintenue.

Dans le domaine agricole, les systèmes agro-écologiques, comme l'agriculture de conservation qui permet de maintenir une couverture du sol en toute saison, rendent les parcelles plus résilientes aux possibles inondations. Ces systèmes permettent de réduire très fortement les érosions, comparés aux parcelles labourées. De plus, en favorisant les infiltrations, le maintien de leur caractère en partie inondable peut avoir des effets bénéfiques sur la recharge des nappes, et donc la ressource en eau.

2.3.4. Éléments de coûts et économie du projet

Il convient enfin d'introduire dès cette étape de faisabilité d'un projet des éléments de coûts correspondant aux différents scénarios considérés. Le réalisme d'un projet dépend en effet toujours des contraintes financières de sa réalisation, et il est inutile d'envisager un scénario de protection maximaliste dont le coût serait prohibitif et inaccessible. C'est souvent, *in fine*, cette contrainte qui permettra d'arbitrer entre les différentes options d'aménagement possibles. Cette analyse des coûts doit autant que possible prendre en considération les coûts d'investissement initiaux et les coûts récurrents qui seront associés à la solution choisie, intégrant les éventuelles compensations qui pourront être négociés entre différentes parties du territoire (mécanisme d'indemnisation ou d'assurance, par exemple). De cette analyse dépend également l'identification des différentes ressources financières à mobiliser et les institutions qui en sont responsables, permettant ainsi de bien mesurer les mécanismes à mettre en œuvre.

L'analyse économique allant généralement de pair avec l'estimation des coûts des aménagements est particulièrement délicate dans le cas des risques d'inondation. Les méthodes existantes ne sont en effet pas encore très efficaces pour bien tenir compte du caractère aléatoire et probabiliste de l'aléa à l'origine des inondations. La perception de l'efficacité économique d'un aménagement sera différente suivant qu'une crue très rare

survient dans l'année qui suit un aménagement ou, au contraire, qu'elle ne survient pas avant dix ou vingt ans après cet aménagement.

Dans le premier cas, l'opinion générale sera que l'aménagement a été mal conçu et qu'il s'avère inefficace. Dans le second cas, on aura peut-être oublié la contrainte résiduelle et laissé la vulnérabilité se développer à l'abri d'une protection perçue comme efficace, menant à un coût des dégâts largement supérieur au coût estimé initialement. Il en résulte une spirale de l'aménagement : moins d'aléa augmente la vulnérabilité jusqu'à la prochaine crise, qui justifie d'investir encore dans la réduction de l'aléa, entraînant elle-même plus de vulnérabilité... Enrayer cette spirale est très difficile et nécessite une volonté politique appuyée par une clairvoyance de l'expertise technique, intégrant de manière équilibrée la compréhension de l'aléa et celle de la vulnérabilité.

2.4. Inondation fluviale et inondation pluviale

Ce qui a été vu précédemment est sous-tendu par le présupposé d'une recherche de prévention du risque d'inondation fluviale causée par une rivière qui déborde et qui traverse une succession de tronçons, à l'occupation des sols diversifiée : zones naturelles et agricoles alternant avec des zones urbaines ou industrielles. Cette diversité offre des marges de manœuvres et de négociations intra territoriales, débouchant potentiellement sur des aménagements différenciés par tronçons.

Pour les inondations pluviales, en zone urbaine, la différence provient du fait que la même parcelle qualifiée d'une certaine vulnérabilité génère le ruissellement qui devient potentiellement inondant. La déconvolution entre aléa et vulnérabilité pour qualifier un risque est donc plus compliquée. Néanmoins, les concepts présentés restent applicables au milieu urbain qui présente aussi une grande diversité de vulnérabilités : on comprendra aisément que la trame des voies de circulation n'a pas la même vulnérabilité que les bâtiments adjacents ou que des espaces verts et des zones sportives ; que les bâtiments, suivant qu'ils sont à étage ou de plein pied, n'ont pas la même sensibilité aux contraintes hydrauliques ; que les occupations de nature professionnelle (bureaux) n'ont pas la même vulnérabilité que des habitations ; et aussi que la sociologie des quartiers est associée à une perception différenciée du risque d'inondation (pour autant que l'on ait correctement géré le risque humain par des mesures appropriées de gestion de crise). On pourra donc, à l'intérieur d'une zone urbaine, analyser la contrainte du risque d'inondation par ruissellement en appliquant les mêmes concepts et en jouant également sur les deux composantes que sont l'aléa et la vulnérabilité. De même que le principe de l'impossibilité d'éviter le débordement des crues les plus rares d'un cours d'eau est accepté, nous pouvons affirmer que les réseaux de drainage ne peuvent pas absorber les pluies les plus rares (notamment dans une zone climatique à forte pluviométrie, comme les zones inter tropicales ou les zones méditerranéennes), et qu'il convient donc d'identifier « le lit majeur » des réseaux de drainage, d'autant plus que ceux-ci sont enterrés, contribuant à les faire oublier de la population. Cela a d'ailleurs conduit certains urbanistes et architectes à développer le concept de villes sans réseaux, visant à gérer uniquement en surface les ruissellements urbains.

Il convient ici de noter que la protection d'une zone urbaine des risques d'inondation fluviale conduit toujours à isoler hydrauliquement la ville de son axe naturel de drainage et à renforcer, par voie de conséquence, la contrainte de gestion des inondations pluviales. Si vous édifiez une digue qui vous isole de la rivière, les pluies qui tombent du côté urbanisé de la digue ne trouvent plus aussi facilement leur chemin vers la rivière, qui généralement

permet leur évacuation. C'est un impact négatif des aménagements hydrauliques à prendre en considération même si, généralement et du fait de la différence de l'échelle territoriale à laquelle il faut traiter les problèmes, il est communément recommandé de traiter ces deux « risques » par des projets indépendants, l'un sur le risque fluvial (à l'échelle du bassin versant) et l'autre sur le risque pluvial (à l'échelle urbaine).

Enfin, et pour relativiser le problème, rappelons que si nous pouvions stocker 100 mm d'eau pendant quelques heures sur tout le territoire urbain (toitures, voiries ...), nous résoudrions le problème des inondations pluviales dans les régions tempérées, et qu'avec 300 mm, nous résoudrions de même le problème dans les zones méditerranéennes et tropicales.

3. Interactions avec d'autres politiques et prise en compte des impacts

L'eau est un « Janus » : d'un côté la ressource essentielle qu'elle représente, de l'autre le facteur de risque qui y est associé. Côté ressource, les usages sont nombreux : eau potable, industrielle, agricole, environnementale, etc. Le concept de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) a été conçu pour la prise en compte ces multiples interactions et la gestion du risque d'inondation doit s'intégrer dans cette réflexion. Cela est en particulier vrai de la composante prévention du risque d'inondation.

L'eau est liée aux phénomènes météorologiques et, par conséquent, au climat. Les interactions entre la prévention des risques d'inondation doivent donc être également analysées au prisme des politiques « climat » et tout particulièrement de leurs composantes visant l'adaptation au changement climatique.

L'eau est une composante essentielle de l'environnement et un facteur contraignant pour la biodiversité qu'il abrite. Cette interrelation doit être prise en considération, et plus encore aujourd'hui où les menaces sur la biodiversité occupent le devant de la scène.

3.1. Risque et ressource

Le réflexe habituel en matière d'inondation est de se débarrasser au plus vite de l'eau inondante en accélérant les écoulements. Malheureusement, les aménagements qui le permettent (recalibrage, endiguements linéaires, revêtement des berges) ne sont généralement pas spécifiques des seules périodes de crue et se répercutent sur tout le régime hydrologique. Or, en première approximation, en raison de la dynamique des échanges entre le réseau hydrographique et les nappes phréatiques (qui constituent une part importante de la ressource), le volume de la ressource est proportionnel à la durée des échanges. L'accélération des écoulements, si elle est généralisée, se traduit par une diminution de la ressource en eau. De plus, les processus auto-épuration qui se produisent dans le milieu naturel sont également dépendants d'une dynamique lente, et sont d'autant moins efficaces que le temps de séjour de l'eau dans le milieu est réduit. En matière de qualité de l'eau, les mêmes aménagements accélérateurs auront un effet négatif.

C'est dans cet esprit que le concept de ralentissement dynamique a été conçu. Il a pour objectif d'inverser le réflexe général d'accélérer les écoulements, le terme dynamique se référant à une durée limitée, par opposition au stockage dans les retenues de barrage (où l'eau est statique). En bénéficiant des effets de laminage ou écrêtement des pointes de crue liés au stockage sur des terrains à moindre vulnérabilité, on renforce la prévention des inondations tout en améliorant la ressource en eau ainsi que sa qualité, grâce à l'augmentation du temps d'échange dans le milieu. Cette stratégie est d'autant plus efficace que l'on est confronté à des crues intenses mais limitées en volume.

Photo 6. Exemple de ralentissement dynamique « spontané » dans un paysage agricole de la province de Xieng Khouang au Laos



Crédit Photo : Olivier Gilard – Laos – mai 2013.

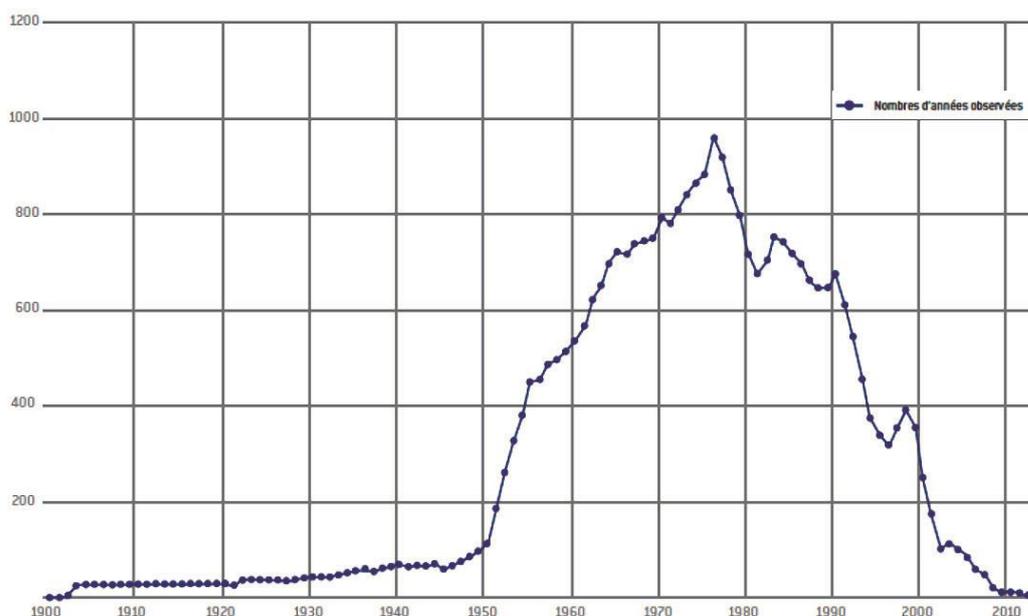
Le milieu agricole est particulièrement utile pour décliner cette stratégie, d'autant que des systèmes de culture adaptés y sont développés, les rendant plus tolérants aux inondations, comme l'agriculture de conservation. La couverture végétale permanente du sol qu'elle implique permet de réduire les effets négatifs de l'inondation en limitant le potentiel érosif et en augmentant la perméabilité des sols (et par voie de conséquence la recharge des nappes).

3.2. Risque et climat

Les variables hydro météorologiques à l'origine de l'aléa d'inondation sont intrinsèquement liées aux variables climatiques et donc potentiellement influencées par le changement climatique causé par l'élévation de température du fait de l'augmentation des gaz à effet de serre. Cependant, les modèles aujourd'hui disponibles ne permettent pas encore de quantifier précisément les incidences locales de ces changements globaux. L'on manque souvent de données d'observation hydrologiques permettant de caler correctement les modèles utilisés, et cela est encore plus vrai concernant les crues exceptionnelles, par ailleurs difficiles à mesurer précisément. Les différentes études sur le sujet donnent des résultats souvent contradictoires et non des tendances sans ambiguïté.

Ce constat devrait inciter les acteurs concernés à redoubler d'efforts en matière de réseaux d'observation et de mesures hydrométéorologiques, pour permettre à l'avenir de mieux anticiper les impacts potentiels de ces changements. Les efforts sont malheureusement largement insuffisants dans de nombreuses régions du monde, alors que seule la collecte et la compilation de données sur des périodes suffisamment longues permettrait de dégager des tendances statistiques fiables.

Graphique 6. Nombre d'années observées entre 1900 et 2010 en Afrique

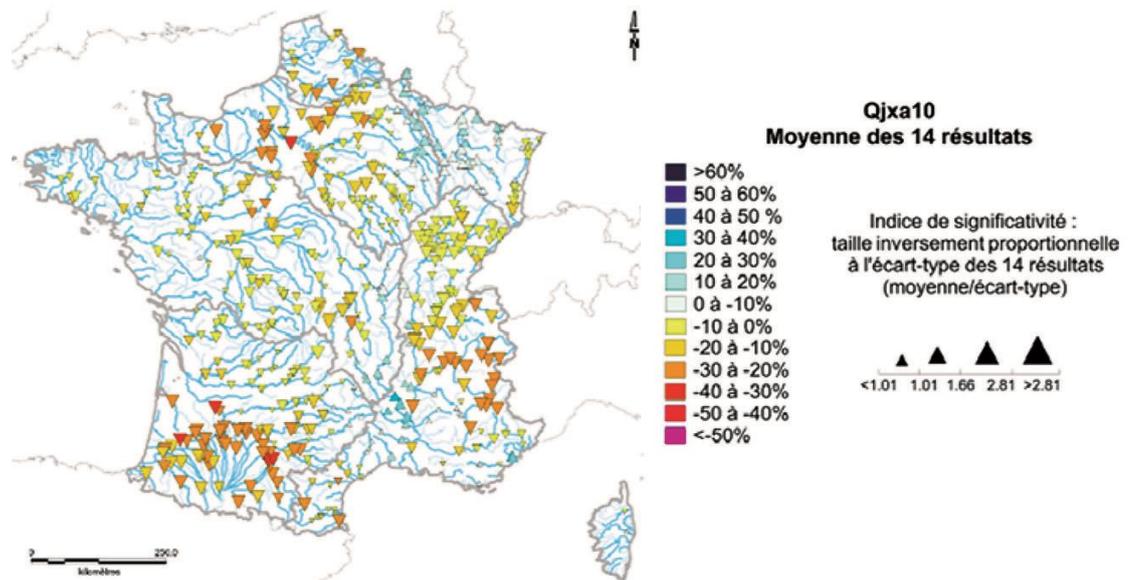


Source : extrait de la note du Partenariat français pour l'eau (PFE), 2016, Mieux connaître pour mieux gérer – eau, climat et développement <https://www.partenariat-francais-eau.fr/production/mieux-connaître-pour-mieux-gérer-novembre-2016/>

Tous les efforts faits aujourd'hui pour mieux prévenir les inondations déjà existantes et pour mieux maîtriser la vulnérabilité de l'occupation des sols contribueront à l'adaptation de ces territoires aux effets du changement climatique. Même si le niveau de protection atteint marque une baisse du fait de ce changement (la crue centennale pourrait devenir cinquantennale), une stratégie efficace de réduction de l'aléa, couplée à une maîtrise de la vulnérabilité sera positive également pour le régime hydrologique futur. À quelques exceptions près, très locales, où l'on pourrait envisager le déplacement des populations installées, la pression démographique et la tendance à l'urbanisation croissante rendent peu plausible l'abandon de territoires soumis à un risque d'inondation (qui présente par ailleurs d'autres avantages en matière d'urbanisation, à l'instar des nombreuses villes construites en bordure de rivières). Plus tôt sera intégrée la recherche d'une maîtrise de la vulnérabilité par des normes de construction et des règlements de l'occupation des sols adaptés, conjuguée à une bonne connaissance des différents niveaux d'aléa possibles, moins les impacts futurs du changement climatique seront dramatiques, et plus ils resteront économiquement supportables.

Il s'agit donc d'une mesure sans-regret contribuant efficacement à une politique générale d'adaptation au changement climatique.

Carte 2. Influence du changement climatique sur les crues des bassins versants français



Source : extrait de la note de synthèse du projet Explore 2070 piloté par le Ministère de l'écologie et du développement durable français.
http://www.gesteau.fr/sites/default/files/gesteau/content_files/document/explore2070-hydrologie-surface.pdf

3.3. Risque et biodiversité

Les infrastructures de protection contre les inondations ont généralement pour effet une artificialisation du milieu naturel et en particulier du lit mineur des cours d'eau : c'est le cas en particulier des recalibrages. C'est le cas également des endiguements qui déconnectent hydrauliquement la rivière de son lit majeur. Ces aménagements ont pour effet de modifier considérablement l'habitat des espèces végétales et animales liées à ce milieu aquatique, provoquant ainsi une baisse de la biodiversité.

Le concept des Solutions fondées sur la Nature (SFN), porté par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), a été développé pour lutter contre ces effets dévastateurs et redonner à la biodiversité une place dans les réflexions. Appliqué à la prévention des risques d'inondation, il se décline essentiellement par le maintien ou la restauration de zones humides qui contribuent à un écrêtement des pointes de crue par un effet de laminage et de stockage temporaire de volumes d'eau inondante. Mais on peut également y avoir recours pour concevoir les recalibrages de cours d'eau en maintenant un lit mineur dans la section recalibrée : si le lit mineur est géomorphologiquement stable, il réduira les besoins d'entretien, qui à chaque opération, ont pour effet de détruire à nouveau le substrat et les équilibres biologiques existants. Cela préserverait les écosystèmes naturels qui s'y développent.

L'approche des SFN peut être complétée par les techniques d'ingénierie écologique qui consistent à utiliser des végétaux pour stabiliser les aménagements proposés : le tissu racinaire peut y contribuer, de préférence aux techniques d'enrochement ou de bétonisation, comme pour les cours d'eau naturels. A défaut de préserver la biodiversité de l'état naturel, elles permettent de retrouver une biodiversité modifiée mais plus riche que dans un milieu artificialisé. C'est un compromis entre les besoins d'aménagement nécessaires pour améliorer la prévention des risques d'inondation et le maintien d'une certaine biodiversité du milieu aquatique.

Encadré 5. D'une gestion « dure » à une gestion « douce »

De nombreux exemples peuvent être cités où, après des années d'ingénierie « dure » et d'artificialisation des milieux par une politique d'endiguement et de bétonisation, on est revenu à une gestion plus « douce » et plus respectueuse des fonctionnements géomorphologiques naturels, à la fois pour réduire les coûts d'entretien et pour améliorer l'efficacité des aménagements sur les différentes fonctions des cours d'eau.

Une série de films réalisés pour l'Association Rivière Rhône Alpes Auvergne (ARRA) par l'Institut des Risques Majeurs de Grenoble (IRMA Grenoble) illustre très bien ce changement de politique pour mieux respecter les trames vertes et bleues nécessaires à une meilleure fonctionnalité des milieux.

4. Quelques illustrations concrètes

4.1. Quelques exemples de l'expérience française

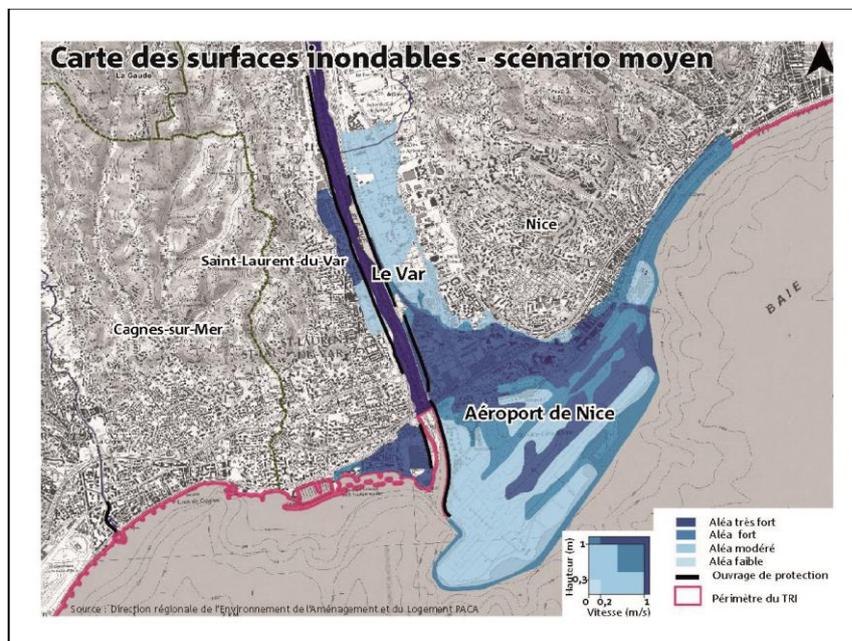
4.1.1. L'aéroport de Nice Côte d'Azur, ou comment oublier le risque accepté

Pour qui connaît la région Alpes – Côte d'Azur, il est facile de comprendre que la topographie n'y est guère favorable à l'implantation d'un aéroport. Les seuls terrains plats disponibles sont situés en bordure de mer et du cône de déjection du Var, petit fleuve côtier au comportement torrentiel. C'est donc là qu'a été implanté l'aéroport en 1910 et qu'il a été agrandi dans les années 1970 à 1983, comme le rappelle l'historique de la société (<https://societe.nice.aeroport.fr/Le-groupe/LA-SOCIETE/Historique>).

Il est donc assez naturellement soumis à l'aléa inondation lors des crues les plus exceptionnelles du Var. Il en est protégé par des digues pour les événements inférieurs à la « crue de projet ». Le territoire est qualifié de risque d'inondation et les cartes de l'aléa sont connues et publiques. Lors de l'extension de l'aéroport, cela a été quelque peu oublié et l'ensemble de l'informatique de l'aéroport a été installé en sous-sol des bâtiments d'exploitation. Lors de la crue exceptionnelle de 1994, l'aéroport a été inondé et sa remise en exploitation, retardée d'autant, comme le rappellent les images d'archives consultables sur le site <https://www.ina.fr/video/CAB94101660>.

La prise en compte du risque résiduel aurait pu permettre de mieux protéger le centre névralgique de l'aéroport en mettant l'informatique à l'étage plutôt qu'en sous-sol.

Carte 3. Extrait des cartes d'aléa du Territoire à risque important d'inondation (TRI)



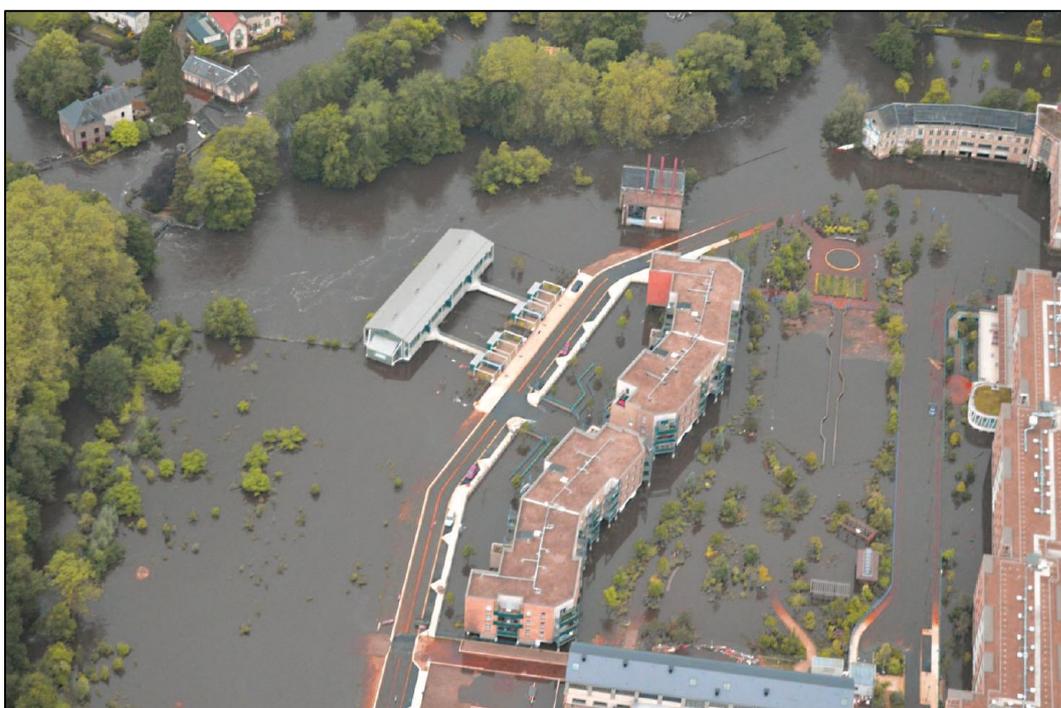
Source : Cartographie des risques du Territoire à Risque d'Inondation (TRI) de Cannes-Nice-Mandelieu - Var aval consultable sur : <https://rhone-mediterranee.eaufrance.fr/cartographie-des-risques-dinondations-du-tri-de-nicecannesmandelieu>.

4.1.2. La crue de la Seine de 2018 ou comment gérer localement la vulnérabilité

La ville de Paris est largement développée dans une zone inondable bien connue. La dernière grande crue historique est celle de 1911. Elle a été d'ailleurs bien documentée par les historiens. Tout au long du XX^e siècle, des aménagements importants ont été consentis pour prévenir ce risque, notamment des barrages réservoirs, qui ont la double fonction d'écrêtement des crues et de stockage des ressources en eau nécessaires aux habitants et aux activités économiques de la région, ainsi que la gestion de zones inondables le long de la rivière en amont de la zone urbaine (zone de la Bassée (cf. <http://www.seinegrandslacs.fr/la-vallee-de-la-bassee>, prairies inondables de l'Oise). Ces aménagements, outre leur rôle hydraulique, maintiennent des espaces naturels protégés, et offrent d'autres services utiles à la région concernée, comme une contribution à l'épuration des eaux et des lieux récréatifs pour une population urbaine en mal de « verdure ».

En 2018, des précipitations abondantes ont causé une crue importante du bassin de la Seine. Elle a mis en évidence la pertinence de l'aménagement urbain de la ville de Romorantin en amont de Paris, avec son quartier tolérant aux inondations, illustré par la photo 6. Bien que le quartier ait été inondé, grâce à la prise en compte de cet aléa dans la conception architecturale et urbanistique du quartier, les dégâts s'en ont été très réduits, ainsi que la période de contrainte, limitée à quelques jours. Par ailleurs, les zones inondées servant d'espaces verts en période normale, conservent une utilité urbaine en les préservant de la pression urbaine.

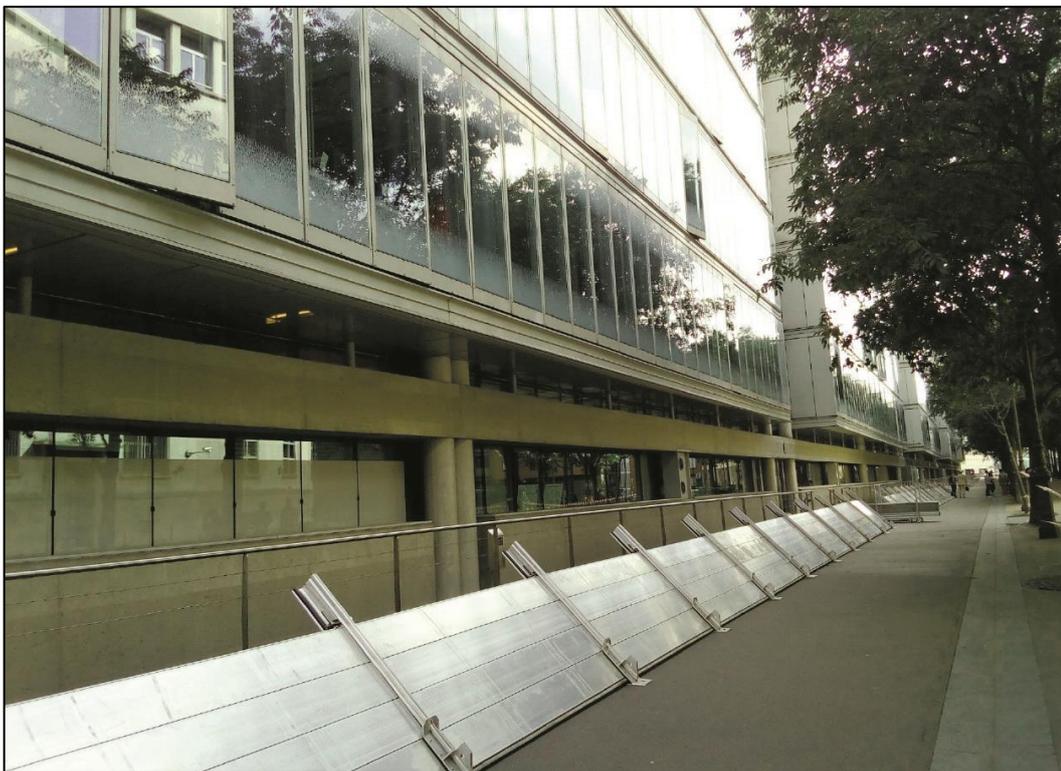
Photo 7. Quartier du Lavoir à Romorantin, conçu pour en réduire la vulnérabilité aux inondations



Crédit Photo : Aéroclub « les col verts ».

Un autre exemple de maîtrise de la vulnérabilité, à un niveau encore plus local, peut-être donné par la barrière amovible déployée par l'AFD pour protéger son bâtiment. Son déploiement nécessite cependant une bonne annonce de crue et un délai suffisant pour mettre en œuvre une telle solution « active », par opposition avec la solution « passive » mise en œuvre à Romorantin.

Photo 8. Barrière mobile autour du siège de l'AFD en 2018



Crédit Photo : Olivier Gilard.

4.1.3. La crue de Vaison-la-Romaine en 1992 ou de la diversité des vulnérabilités

Cette crue très brutale sur un petit bassin versant de quelques centaines de kilomètres carrés, le 22 septembre 1992, avait fait beaucoup parler d'elle, en raison du nombre de morts (une quarantaine au total). Les analyses rétrospectives ont montré que sans être unique (les chroniques historiques relaient un événement équivalent en 1616), la fréquence tant en pointe qu'en volume était exceptionnelle : période de retour de 4 à 600 ans en pointe et de l'ordre de 100 ans en volume.

(cf. https://fr.wikipedia.org/wiki/Inondation_de_Vaison-la-Romaine_en_septembre_1992).

Nous noterons également qu'en dépit d'une mobilisation intense d'expertise, l'estimation du débit de pointe de crue de cet événement est restée dans une fourchette située entre 800 et 1200 m³/s sans possibilité d'en réduire l'amplitude. Cela illustre la difficulté de la « mesure » de ces événements exceptionnels.

Il apparaît que deux sites principaux sont à l'origine de ces nombreux décès : le camping situé en amont du pont Romain et le lotissement situé en aval. Le camping était installé dans le lit majeur de l'Ouvèze, en raison de la fraîcheur des lieux et de son occupation temporaire. Le 22 septembre 1992, lorsque l'on a pu se rendre compte de la gravité de la situation, le camping était rapidement devenu une île sans évacuation possible : les personnes, piégées, ont été emportées par la crue avec leurs caravanes, de manière effroyable.

Le lotissement était également situé en lit majeur de l'Ouvèze. Lors des petites crues, selon les dires, les maisons étaient déjà effleurées par l'eau et la qualité de la construction était limitée. Ainsi, quand l'eau est montée de plusieurs dizaines de centimètres (plus d'un mètre avec de fortes vitesses, aggravées par les obstacles à l'écoulement que constituaient les habitations), les constructions n'ont pas résisté. La zone a par la suite été déclarée inconstructible.

En appliquant la grille d'analyse, il ressort que la vulnérabilité des deux sites est différente : un camping peut s'évacuer rapidement et les dégâts n'être que matériels et limités. Un lotissement, du fait de son occupation permanente, y compris par des personnes à faible mobilité dans certains cas, représente un capital immobilisé plus important, qui devrait être construit de manière à résister à ces événements. On aurait pu imaginer réinstaller le camping sur le même site, moyennant un plan d'évacuation *ad hoc* et un système d'annonce de crue. Mais avoir déclaré inconstructible la zone du lotissement impossible à protéger efficacement, était une décision éclairée.

Aujourd'hui, les deux sites sont devenus des parkings, comme le montrent les images satellites de la ville.

4.2. Quelques exemples à l'international

4.2.1. La plaine d'Antanarivo à Madagascar et les similitudes avec Grenoble

La ville d'Antanarivo, capitale de Madagascar, s'est développée traditionnellement sur les collines en bordure de la plaine inondable de la rivière Ikopa. Cette plaine, traditionnellement dédiée à l'agriculture (notamment la production rizicole) a été, au fil des ans, protégée des inondations par un réseau de digues. L'aléa ayant ainsi diminué et la ville ayant besoin de se développer, la plaine a été petit à petit urbanisée au prix de remblaiements importants. Exposée à un climat tropical et régulièrement touchée par des cyclones en provenance de l'océan Indien avec de forts abats pluvieux, les ruissellements urbains provoquent aujourd'hui des inondations importantes dans les quartiers de la plaine, du fait de la difficulté de l'exhaure des eaux vers leur débouché naturel qu'est l'Ikopa. Des canaux d'assainissement ont bien été creusés (canal Andriantany, canal C3) mais les difficultés d'entretien et les coûts de pompage difficiles à recouvrir sont régulièrement à l'origine d'importantes inondations, en particulier dans les quartiers précaires, où s'est installée une population migrante qui n'a pas les moyens de construire un habitat apte à supporter cette forte contrainte hydraulique. La maîtrise du risque d'inondation nécessite de laisser une place à l'eau dans la plaine pour ne pas avoir à sur-dimensionner les stations d'exhaure (et leurs coûts de fonctionnement), et pour maintenir un cheminement hydraulique efficace permettant le transit des eaux inondantes dans la plaine tout en limitant les dégâts et en permettant leur évacuation dans un délai raisonnable. Ce transit des eaux de ruissellement pluvial est également nécessaire pour les crues exceptionnelles de la rivière Ikopa qui peuvent, à l'occasion, entraîner une surverse ou une

rupture de digue : un cheminement hydraulique identifié permet de réduire les dégâts et les conséquences catastrophiques d'un événement rare.

Photo 9. La plaine d'Antanarivo après le passage du cyclone Ewano en mars 2017



Crédit Photo : Olivier Gilard.

On peut valablement faire la comparaison avec le développement de la ville de Grenoble, dans la plaine d'inondation de l'Isère, classé aujourd'hui comme TRI suivant la nomenclature française. La description nous est donnée en suivant le lien <http://www.isere-drac-romanche.fr/?Histoire-de-l-endiguement-de-l>.

Ce classement rappelle que si la prévention des inondations courantes (jusqu'à une fréquence quasi centennale) est assurée par les divers aménagements réalisés au fil des siècles, et tout particulièrement durant les deux derniers, la contrainte d'une crue exceptionnelle doit toujours faire l'objet de mesures de gestion de crise indispensables pour en limiter l'impact catastrophique. Aujourd'hui, la ville cherche à poursuivre sa politique de prévention en investissant dans l'aménagement de casiers agricoles en amont, mobilisables en cas de forte crue et uniquement dans ce cas, aménagement porté par le Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère (SYMBHI) : la description du projet nous est donnée en suivant le lien suivant :

<https://www.isere.fr/symbhi/projet-isere-amont/projet-global/>

la plaine d'Antananarivo (*APIPA*) a été constituée dans une précédente phase d'aménagement de la plaine et joue tant bien que mal son rôle d'exploitant des infrastructures principales. Le Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo (*SAMVA*), est issu de la même initiative, mais n'a toutefois pas encore atteint un point d'équilibre financier et technique du fait, entre autres, de la faiblesse des ressources financières qui lui sont allouées et, sans doute, d'un manque de soutien politique, en partie dû aux tensions politiques entre l'Etat et la commune d'Antananarivo.

4.2.2. La ville de Phnom Penh ou une nécessaire stratégie de poldérisation

La ville de Phnom Penh, capitale du Cambodge, est située dans la plaine d'inondation du fleuve Mékong. La configuration hydraulique est très particulière du fait de la présence d'un nœud hydraulique entre le Mékong provenant de l'amont, le système hydrologique Tonlé Sap qui le relie au lac du même nom, qui joue un rôle d'expansion de crue essentiel pour réduire la pression hydraulique sur le delta à l'aval, et enfin les deux principaux bras défluent qui marquent le début du delta du Mékong, le Mékong et le Bassac. Pour permettre son développement, des digues de ceinture ont été édifiées pour isoler la ville du champ d'inondation qui l'entoure complètement en période de hautes eaux : elle apparaît ainsi comme un polder entouré par l'eau. En conséquence, un important réseau de drainage a dû être constitué avec des stations d'exhaure qui permettent de rejeter les eaux de ruissellement urbain, particulièrement abondantes dans cette région soumise au régime de mousson. La disparition d'un certain nombre de lacs urbains sous la pression de l'urbanisation entraîne une contrainte encore plus importante sur le fonctionnement de ces réseaux de drainage et d'exhaure, prévus pour limiter le risque d'inondation et le maintenir à un niveau acceptable. Mais l'absence d'une stratégie claire pour maintenir dans la trame urbaine un « lit majeur » laisse augurer d'importants dégâts liés aux inévitables crises à venir.

Photo 10. Le Tonlé Sap – affluent-défluent du Mékong – dans la périphérie de Phnom Penh lors de la crue de septembre 2009



Crédit : Olivier Gilard.

L'existence d'un système d'annonce de crue sur le Mékong, géré par la Commission du Mékong – *Mekong River Commission* (MRC) et partagé avec les services hydro-météorologiques des pays membres permet efficacement de prévoir, plusieurs jours d'avance, la propagation de l'onde de crue en provenance du Laos où se concentrent la majorité des apports de ce grand fleuve.

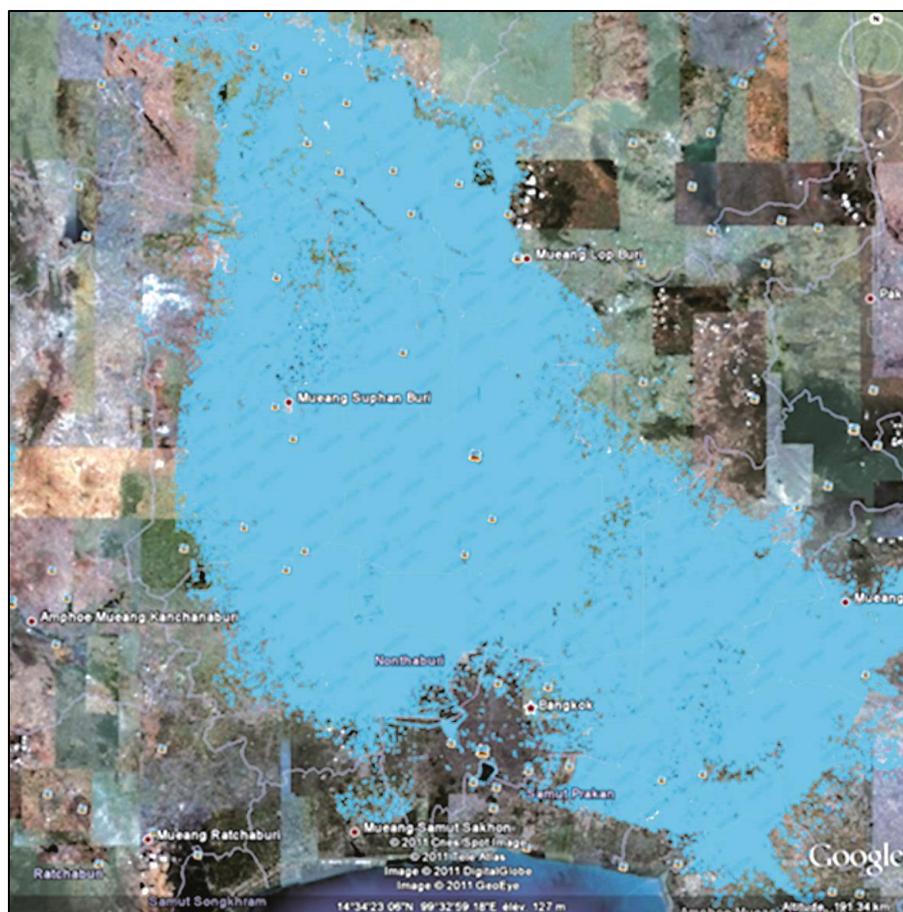
Photo 11. Les environs de Phnom Penh en mai 2010



Crédit Photo : Olivier Gilard.
(cf. <https://journals.openedition.org/espacepolitique/3886>)

4.2.3. Bangkok et la crue de 2011 : « sacrifier » les zones rurales (et les périphéries) pour protéger la zone urbaine

Carte 5. Zone inondée dans la plaine de la Chao Praya au maximum de la crue de 2011



Source: Document du Geo-informatics and Space Technology Development Agency (GISTDA). <https://gistda.or.th/main/en/node/4053>.
© GISTDA

La ville de Bangkok est une capitale située dans la plaine inondable du fleuve qui la traverse, la Chao Phraya. En 2010, une crue importante de ce fleuve a généré une crise qui a marqué les populations locales, sans d'ailleurs que le centre-ville de Bangkok ne soit réellement touché par les inondations. La stratégie de Bangkok est un peu similaire à celle de Phnom Penh et vise à cantonner le champ d'inondation en périphérie du centre-ville. Le défaut de cette stratégie est qu'en l'absence d'un cheminement hydraulique permettant à l'eau de transiter efficacement jusqu'à la mer, l'assainissement des zones inondées nécessite un délai bien plus important : plusieurs semaines en 2010, rendant la contrainte encore plus difficilement supportable pour les zones concernées et la population qui y réside. Or, c'est dans cette même zone que sont implantées de nombreuses zones industrielles, restées en arrêt pendant de longues semaines en 2010, provoquant une crise mondiale liée à l'approvisionnement en pièces nécessaires à l'industrie numérique, du fait de la forte concentration d'usines de montage, notamment japonaises, dans cette zone.

Photo 12. Sacs de sable devant les devantures du centre-ville de Bangkok pendant la crue de 2011



Crédit Photo : Olivier Gilard.

Un système efficace d'annonce de crue avait permis aux autorités d'anticiper la crise, de fermer les vannes qui permettent en temps normal de faire transiter une partie des eaux de la Chao Phraya à travers la ville via un réseau de canaux appelés « klong » et d'édifier des barrières de sacs de sable en travers des axes de circulation qui auraient amené les eaux au centre-ville. Cela avait également permis aux habitants de la ville d'ériger en bordure des maisons et magasins des sacs de sables pour limiter les intrusions d'eau au cas où l'inondation aurait atteint le centre-ville, donnant ainsi une impression de ville en état de siège pendant quelques semaines.

Il est important de souligner ici que des considérations politiques avaient empêché une coordination efficace entre les services de l'Etat et ceux de la commune de Bangkok, opposés l'un à l'autre, et que la capacité hydraulique de ces klongs avait été sous utilisée pendant cette crise, aggravant la durée de l'inondation en périphérie pour préserver le centre de la capitale.

À la suite de cette crise, de nombreuses réflexions ont été lancées pour faciliter le transit des eaux vers la mer afin de réduire l'aléa, mais aussi pour adapter l'habitat et le rendre plus tolérant aux contraintes d'inondation et ainsi d'en réduire la vulnérabilité. Le problème du financement de ces investissements reste néanmoins en suspens, les sommes en jeu étant très importantes pour les infrastructures collectives et les guichets de financement pour l'amélioration de l'habitat inexistantes.

Photo 13. La périphérie de Bangkok où s'entremêlent terres et eaux – juin 2018



Crédit Photo : Olivier Gilard.

Photo 14. La Chao Phraya dans la traversée de Bangkok – mai 2013



Crédit Photo : Olivier Gilard.

4.2.4. Hô Chi Minh-Ville et la nécessité de vivre avec les inondations

Hô Chi Minh-Ville, capitale économique du Vietnam est, elle aussi, confrontée à de gros problèmes d'inondations, du fait de sa situation dans la plaine d'inondation de la rivière de Saïgon, à proximité de son débouché à la mer, dans une zone à la topographie très peu marquée et soumise aux influences de la marée. La ville est en fait installée sur une zone anciennement marécageuse, comme le montrent les multiples voies secondaires d'eau, appelées « rach » qui la sillonnent.

Pour prévenir le risque d'inondation tout en accompagnant le développement urbain très rapide de ces dernières décennies, les autorités vietnamiennes ont révisé le plan de prévention des inondations en mobilisant plusieurs stratégies de zonage, de digues de ceinture, et en améliorant le réseau de drainage. Ces dernières années, de nombreux projets ont mis en place ce plan dans des infrastructures sur le terrain.

Photo 15. La rivière de Saïgon dans la traversée de Hô Chi Minh-Ville – décembre 2014



Crédit Photo : Olivier Gilard.

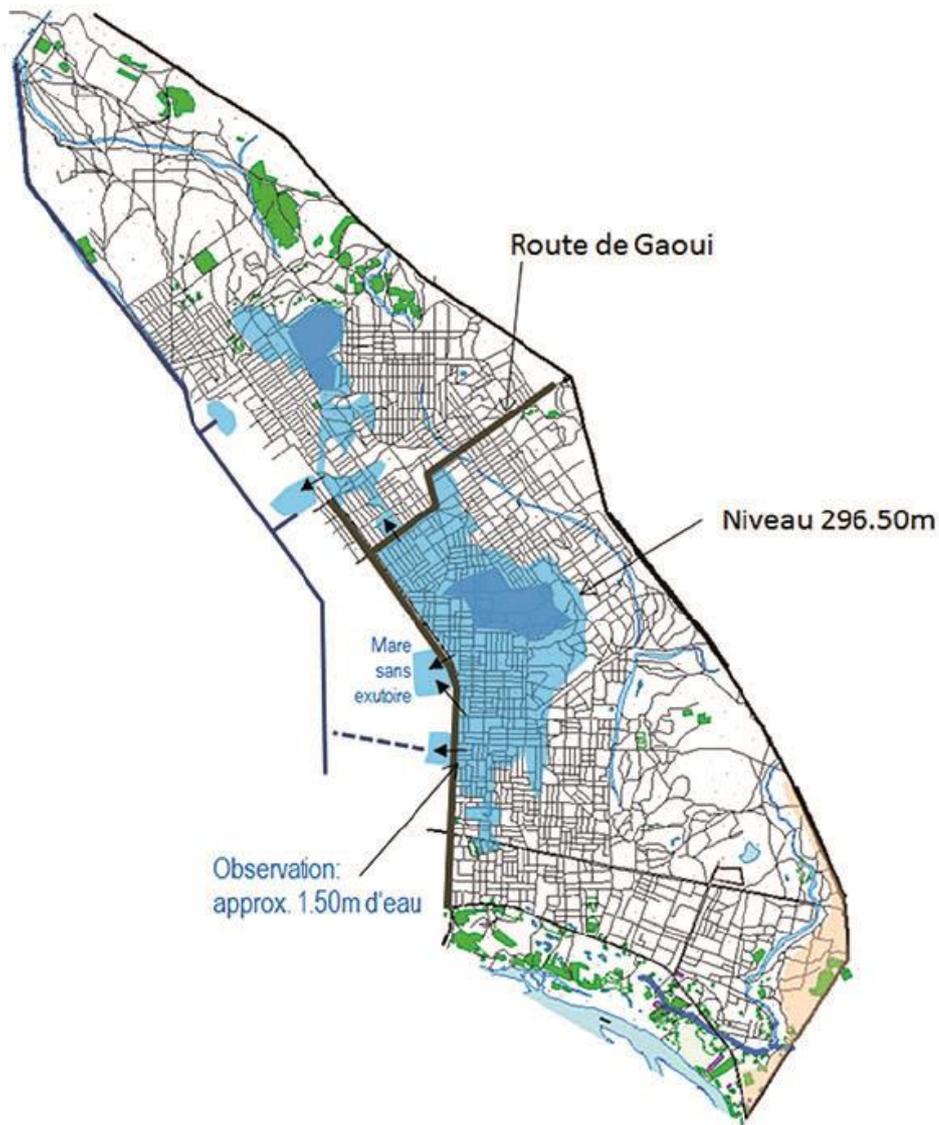
Dans les zones périurbaines, à vocation pour partie agricole, les aménagements réalisés tendent à concilier la fonction de production agricole tout en restant mobilisables pour l'épandage de crues en période de fortes contraintes hydrauliques, à l'instar du projet « rivière de Saïgon » financé par l'AFD.

4.2.5. N'Djamena et la question des inondations pluviales

N'Djamena est une autre capitale soumise à un risque d'inondation, principalement du fait des fortes précipitations de saison des pluies sur une topographie très plane qui limite la capacité d'évacuation des ruissellements urbains. Les fleuves Chari et Logone qui bordent la ville sont également soumis à un régime de crues qui peuvent être importantes, mais le faible aménagement de ces cours d'eau à l'amont permet de grands débordement en amont de la ville ce qui tend à réguler naturellement les crues et à limiter le risque de débordement au droit de la zone urbaine, à l'exception de certains quartiers plus exposés (le quartier Walia en particulier, sur l'autre rive du fleuve, par rapport au centre-ville).

L'assainissement se fait par des axes de drainage qui permettent de collecter puis d'évacuer l'eau vers le fleuve Chari en utilisant les dépressions existant dans la topographie naturelle, même quand elles sont peu marquées. Certains axes sont anciens et aménagés depuis longtemps, comme le canal des Jardiniers, mais l'étalement urbain dans de nouveaux quartiers nécessite d'y créer le même type d'infrastructures pour réduire la contrainte d'inondation en saison de pluies. L'écoulement, lent du fait de la faible pente du terrain naturel, nécessite de prévoir des espaces intermédiaires de stockage. L'enjeu est alors de préserver ces espaces de l'urbanisation pour éviter que leur vulnérabilité évolue indépendamment de la contrainte hydraulique. La meilleure stratégie est de leur trouver une fonction socio-économique autre que la fonction hydraulique pour toute la période de l'année où la contrainte hydraulique n'existe pas : terrain de sport, espace vert, zone maraîchère, etc. La seule réglementation urbaine ne permet pas en effet de garantir toute modification de la vulnérabilité, dans un pays où les services administratifs ont encore une présence limitée sur le terrain et peinent à faire respecter les contraintes d'urbanisme.

Carte 6. Inondations et axes de drainage des quartiers Est de N'Djaména



Source : Étude de préféabilité des actions à réaliser pour le drainage des eaux pluviales des nouveaux quartiers nord et est de N'Djaména- Sogreah – janvier 2012.

Un autre enjeu tout aussi important est de définir l'institution qui sera chargée de l'opération et de la maintenance des ouvrages, de la doter des capacités financières nécessaires, ainsi que de ressources humaines correctement formées, en particulier pour la gestion des stations de pompage.

Photo 16. Réalisations des travaux sur le bassin Nord en février 2019 dans le cadre du projet « eau et assainissement de N'Djamena »



Crédit Photo : Olivier Gilard.

Photo 17. Réalisations des travaux sur le bassin Nord en février 2019 dans le cadre du projet « eau et assainissement de N'Djamena »



Crédit Photo : Olivier Gilard.

Bibliographie

ALLENVI (2013), Groupe thématique risques environnementaux, naturels et écotoxiques, Perspectives scientifique dans le domaine des risques, Alliance nationale de recherche pour l'environnement, Octobre 2013.

CEPRI (n.d.), Sensibiliser les populations exposées au risque d'inondation – Comprendre les mécanismes du changement de la perception et du comportement.

CGEDD (2017), Gestion des eaux pluviales, 10 ans pour relever le défi, Tome 1, synthèse du diagnostic et propositions, rapport 010159-01, avril 2017.

DEGOUTTE G. (2012), Cours d'hydraulique, dynamique et morphologie fluviale – Agro ParisTech.

GERARD F. ET LANG M. (2019), Xynthia : analyse des causes et des conséquences de la catastrophe, La Houille Blanche 2019, 3-4, 149-156, SHF, EDP Sciences, <https://doi.org/10.1051/lhb/2019025>

GIEC (2013), Changements climatiques 2013 - Les éléments scientifiques. Glossaire.

GILARD O. (1998), Guide pratique de la méthode inondabilité, étude inter-agences n° 60, 1998

LANG M., B. CHASTAN ET F. GRELOT (2008), La méthode Inondabilité : appropriation par les hydrologues de la vulnérabilité dans le diagnostic sur le risque d'inondation, Cemagref.

LANG M., C. COEUR, A. BARD, B. BACQ ET T. BECKER (2013), Les inondations remarquables en France : premiers éléments issus de l'enquête EPRI 2011, La Houille Blanche – Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2013, p.37-p.47. [10.1051/lhb/2013041](https://doi.org/10.1051/lhb/2013041). hal-00936942

LEDoux, B. (2006), La gestion du risque inondation, Lavoisier, Tec&Doc.

MEDDE FRANCE (2004), Les inondations – Dossier d'information.

MEDDE FRANCE (2015), EauFrance – Glossaire (Ministère de l'Ecologie du Développement Durable et de l'Energie), Octobre 2015. <http://www.hydro.eaufrance.fr/glossaire.php#debit>

PARTENARIAT FRANÇAIS POUR L'EAU (PFE), Mieux connaître pour mieux gérer – Eau, climat et développement, Collection Expertise n° 1 – non daté.

QUENAULT B. (2015), « De Hyōgo à Sendai, la résilience comme impératif d'adaptation aux risques de catastrophe : nouvelle valeur universelle ou gouvernement par la catastrophe ? ». Développement durable et territoires [En ligne], Vol. 6, n°3 | Décembre 2015, <http://journals.openedition.org/developpementdurable/11010> ; DOI : 10.4000/developpementdurable.11010

UICN FRANCE (2018), Les Solutions fondées sur la Nature pour lutter contre les changements climatiques et réduire les risques naturels en France, Paris.

UNISDR (2009), Terminology. Retrieved, Septembre 2015, <http://www.unisdr.org/we/inform/terminology>

UNISDR (2015), Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes 2015-2030.

UNISDR (2015), GAR – Réduction du risque de catastrophe : Bilan mondial, Nations unies.

Sites Web de référence

<https://www.unisdr.org/>

<https://www.gfdrr.org/en>

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/politiques/risques-inondations>

<https://www.inrae.fr/actualites/inondations-outils-inrae-surveillance-crues>

<http://www.set-revue.fr/>

<http://cepri.net/>

<https://afpcn.org/>

<https://www.mrn.asso.fr/>

<https://www.vigicrues.gouv.fr/>

<http://www.onrn.fr/>

<https://shyreg.inrae.fr/>

<https://www.mementodumaire.net/les-risques-naturels/rn2-inondations/>

Publications en ligne

<https://www.cerema.fr/fr/actualites/retour-journee-amenager-risque-inondation-dialogue>

<https://www.iau-idf.fr/environnement/developpement-durable/la-ville-post-reseau-lepreuve-de-la-gestion-des-eaux-de-pluie.html>

<https://www.mrn.asso.fr/lettre-mrn-n29-aleas-naturels-et-inadaptation-du-bati/>

Lexique des termes techniques

Aléa (*hazard*) :

la notion d'aléa se définit comme un phénomène d'origine naturelle ou humaine plus ou moins dommageable selon son intensité, selon le portail interministériel de prévention des risques majeurs (2012). A l'échelle internationale, l'UNISDR (2009) propose une définition similaire. Appliqué aux inondations, il s'agit des phénomènes hydro-météorologiques et hydrauliques.

Bassin versant (*catchment area* ou *watershed*) :

unité hydrologique drainant les eaux de ruissellement à sa surface et les évacuant vers le point le plus en aval *via* le réseau hydrographique. En matière d'inondation, c'est la zone du territoire qui contribue aux apports impactant le point d'analyse.

Catastrophe (*disaster*) :

toute perturbation importante du fonctionnement d'une communauté ou d'une société impliquant des impacts et des pertes majeurs sur les plans humains, matériels, économiques et environnementaux, ceux-ci entraînant un dépassement des capacités propres à ces communautés ou sociétés à faire face [...] Les catastrophes sont souvent décrites comme la résultante de la combinaison d'une exposition à un aléa, des conditions de vulnérabilité en place, et d'une incapacité à faire face ou à réduire les conséquences négatives potentielles (UNISDR, Terminology, 2009).

Climat (*climate*) :

Le climat est la distribution statistique des conditions de l'atmosphère terrestre dans une région donnée pendant une période donnée. Elle se distingue de la météorologie qui désigne l'étude du temps à court terme et dans des zones ponctuelles. (définition extraite de Wikipedia).

Courbe Intensité-Durée-Fréquence –IDF – (*Intensity-Duration-Frequency curve*) :

courbe décrivant graphiquement et de manière synthétique les connaissances pluviométriques d'un point donné en établissant les relations entre les intensités, les durées et les fréquences des pluies. Elles représentent la distribution statistique des pluies en un point donné.

Courbes débit-durée-Fréquence – QdF – (*Flow-duration-Frequency curve*) :

courbes synthétisant graphiquement le régime des débits d'une rivière et la répartition statistique du champ des possibles. On différencie les crues des étiages (basses-eaux).

Crue (*rising river*) :

augmentation du débit d'une rivière (MEDDE France, 2004). Ainsi une crue n'engendre pas systématiquement d'inondation.

Enjeux : ensemble des personnes, des biens et des infrastructures qui sont ainsi soumis à des pertes potentielles si elles se situent en zone inondable (UNISDR, 2009)

Débit de crue pour une année

donnée : une des manières de caractériser les crues d'une année est d'utiliser soit le plus fort débit instantané soit le plus fort débit journalier. Sur plusieurs années, on détermine statistiquement, à partir d'un échantillon le plus fourni possible de débits de crue annuels, la valeur du débit associé à différentes périodes théoriques de retour (2, 5, 10 etc.). (MEDDE France, 2015)

Débit d'étiage :

débit minimum d'un cours d'eau calculé sur un temps donné en période de basses eaux. Ainsi pour une année donnée on parlera de débit d'étiage journalier (MEDDE France, 2015)

Hydraulique (*hydraulics*) :

branche de la mécanique des fluides traitant des écoulements dits à surface libre, graduellement variés, qui ont lieu dans des cours d'eau naturels ou artificiels.

Hydrologie (*hydrology*) :

science étudiant les processus qui régissent les fluctuations des ressources en eau des terres émergées et traite des différentes phases du cycle hydrologique (OMM et UNESCO, Glossaire international d'hydrologie, 1992). Il convient de noter que les méthodes utilisées en prévention (statistique, caractérisation des régimes) sont différentes de celles utilisées en prévision (modèle pluie-débit, représentation des événements pris individuellement).

Hydrogramme de crue (flood hydrograph) : courbe représentant l'évolution du débit à l'exutoire du bassin versant en fonction du temps (Musy, 2005).

Infiltration (infiltration) : transfert vertical de l'eau de la surface du sol dans les couches superficielles du sol, sous l'effet de la gravité et de la pression, à condition que ce dernier ne soit pas saturé.

Inondation (flood) : submersion temporaire, par l'eau, de terres qui ne sont pas submergées en temps normal. Cette notion recouvre les inondations dues aux crues de rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens ainsi que les inondations dues à la mer dans les zones côtières (Gouvernement Français, 2012)

Lit majeur : zone comprenant les zones basses situées des deux côtés du lit mineur, sur une distance pouvant aller de quelques mètres à plusieurs kilomètres en fonction de l'ampleur de crue. Le lit majeur correspond à la limite des crues exceptionnelles. (MEDDE France, 2004).

Lit mineur : lit ordinaire du cours d'eau. (MEDDE France, 2004).

Mesures d'atténuation (des émissions de GES) : ensemble des mesures provenant d'une intervention de l'homme pour réduire les sources de gaz à effet de serre ou à renforcer leurs absorptions par les puits (GIEC, 2001). Ce type de mesure n'est pas directement en lien avec le risque d'inondation.

Mesures d'adaptation : ensemble des mesures d'appropriation des systèmes naturels ou humains aux conditions propres à un milieu en évolution.

Météorologie : la science des phénomènes météorologiques dans l'atmosphère, soit, dans le contexte des inondations, principalement des phénomènes pluviométriques.

Période de retour (return period) d'une crue : inverse de la probabilité annuelle de dépassement de la crue (Ledoux, 2006), caractériser la fréquence de l'événement.

Précipitations (precipitation) : ensemble des eaux (sous forme liquide ou solide comme par exemple la neige ou la grêle) tombant à la surface du sol, sous l'effet de changement de température ou de pression.

Réseau hydrographique (waterway ou water system) : ensemble des canaux, cours d'eau et rivières, naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, participant à l'écoulement des eaux sur un bassin versant donné. (Musy, 2005).

Résilience (resilience) : la capacité d'un système exposé à un aléa à résister, à s'en accommoder ou à s'en remettre en temps opportun et de manière efficace (UNISDR, 2009).

On conviendra qu'une telle définition rend peu pertinent l'application du terme de résilience aux impacts du changement climatique qui implique une adaptation à de nouvelles conditions sans retour à l'état initial.

Risque de catastrophe (disaster risk) : la potentialité de pertes catastrophiques en vies humaines, état sanitaire, moyens de subsistance, actifs et services, qui peuvent concerner une communauté ou une société, spécifiée sur une période future (UNISDR, Terminology, 2009).

Vulnérabilité (vulnerability) : propension à l'endommagement ou au dysfonctionnement de différents éléments exposés (bien, personnes, activités, fonctions, systèmes) constitutifs d'un territoire et d'une société donnés (Leone et Vinet, 2011)

Liste des sigles et abréviations

AFD	Agence française de développement
APIPA	Autorité pour la protection contre les inondations de la plaine d'Antananarivo
Cemagref	Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts
CEPRI	Centre européen de prévention du risque d'inondation
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GISTDA	Geo-informatics and Space Technology Development Agency
GIRI	Gestion intégrée du risque d'inondation
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IRSTEA	Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture
MRC	Commission du Mékong - Mekong River Commission
ONG	Organisation non gouvernementale
PFE	Partenariat français pour l'eau
QdF	Courbes Débit-durée-fréquence
SAMVA	Service Autonome de Maintenance de la Ville d'Antananarivo
SFN	Solutions fondées sur la Nature
SYMBHI	Syndicat Mixte des Bassins Hydrauliques de l'Isère
TAL	Période de retour équivalent à l'aléa
TOP	Période de retour équivalente à l'objectif de protection
TRI	Territoire à risque important d'Inondation
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UNISDR	Bureau des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophe – <i>United Nations International Strategy for Disaster Reduction</i>

Qu'est-ce que le groupe AFD ?

Le groupe Agence française de développement (AFD) est un établissement public qui finance, accompagne et accélère les transitions vers un monde plus juste et durable. Plateforme française d'aide publique au développement et d'investissement de développement durable, nous construisons avec nos partenaires des solutions partagées, avec et pour les populations du Sud.

Nos équipes sont engagées dans plus de 4 000 projets sur le terrain, dans les Outre-mer et dans 115 pays, pour les biens communs de l'humanité – le climat, la biodiversité, la paix, l'égalité femmes-hommes, l'éducation ou encore la santé.

Nous contribuons ainsi à l'engagement de la France et des Français en faveur des Objectifs de développement durable.

Pour un monde en commun.

Directeur de publication Rémy Rioux
Directeur de la rédaction Thomas Melonio
Création graphique MeMo, Juliegilles, D. Cazeils
Conception et réalisation Coquelicot

Dépôt légal 4^e trimestre 2020 | © AFD
ISSN 2492-2838 | **ISSN numérique** en cours
Imprimé par le service de reprographie de l'AFD

Pour consulter les autres publications de la collection Rapports techniques :
<https://www.afd.fr/fr/collection/rapports-techniques>