

Risque d'inondation : une notion probabiliste complexe pour le citoyen

Nicolas Gendreau ^a, Frédéric Grelot ^a, Rémy Garçon ^b et Daniel Duband ^c

Informer les citoyens sur le risque d'inondation par des messages clairs et compréhensibles est un enjeu social et économique fort mais complexe. Cet article nous en explique les raisons, notamment la difficulté à percevoir et à représenter un phénomène aléatoire, et nous propose quelques actions de formalisation et de pédagogie qui permettent une compréhension par le plus grand nombre d'un message probabiliste complexe.

Les inondations catastrophiques de l'été 2002 nous ont tristement rappelé que la nature reprend toujours ses droits, malgré les actions de l'homme. La République tchèque, l'Allemagne, l'Autriche ont été fortement touchées par de fortes crues avec des dégâts importants. Une partie du patrimoine a été inondé alors que tous pensaient, que bien qu'au bord de la rivière, les bâtiments étaient protégés. Il en est de même avec les événements qui se sont produits dans le Gard en septembre 2002. Les crues ont surpris par leur violence et leur rapidité. Il y a eu de nombreuses victimes et les assurances estiment le montant de leur intervention à plus de 450 M€, pour des dommages bien plus importants, estimés à 1 200 M€.

Il est alors légitime de se demander pourquoi ces catastrophes ont eu lieu et si elles auraient pu être évitées. Cette question se décline en plusieurs points. Nous essayerons ici de voir plus particulièrement ce que l'hydrologie peut apporter comme réponse et pourquoi il est difficile de donner de l'information sur les inondations. Nous nous limiterons à la prévention des inondations, dans une démarche liée aux aménagements et aux politiques d'urbanisme. Les aspects de prévision des inondations et de gestion de crise, avec notamment ses problèmes d'information, ne seront pas abordés ici.

Nous nous attacherons ici à ne pas débattre du contexte réglementaire, ni de la difficulté politique d'informer. Nous nous concentrerons plus particulièrement sur la façon dont il est possible de traduire un message probabiliste complexe pour une compréhension par le plus grand nombre.

Le risque et sa perception

La perception des probabilités

Les inondations ont un caractère aléatoire fort, et leur analyse passe souvent par une description probabiliste. Or, la notion de probabilité est très complexe et elle engendre un certain nombre de biais dans la compréhension des individus. Palmarini (1995) a mis en évidence certaines de ces interprétations qui sont parfois surprenantes. Nous citerons entre autres :

– en contexte incertain, une action ou une décision appellent plus de justifications que le fait de ne rien faire. Ceci n'encourage donc pas de fait les décideurs à intervenir, ou à intervenir sans mise sur la place publique des choix. Ceci explique probablement la faible information disponible localement sur les inondations ;

– pour le tout un chacun, la première règle des probabilités n'est pas respectée. La somme de la probabilité d'un événement et de la probabilité du non-événement ne vaut pas l'unité :

$$\text{Prob}(E) \neq 1 - \text{Prob}(\bar{E})$$

Contact

a. Cemagref,
Département GMA,
BP 44,

92163 Antony Cedex

b. EDF/DTG,

21, avenue de l'Europe,
38040 Grenoble

Cedex 09

c. Société Hydro-
technique de France,
25, rue des Favorites,
75015 Paris

– notre attitude est différente en face d'une certitude et d'un événement aléatoire ; elle diffère également suivant que l'on se trouve en situation de gain (conservateur) ou de perte (aventurier) ;

– il y a une réelle difficulté à appréhender des événements à faible probabilité. Il y a toujours une préférence pour le risque nul.

Ces éléments de la perception et de l'acceptation des probabilités par le tout un chacun est un véritable obstacle à la diffusion d'information en matière de risque d'inondation. En effet, nous pouvons considérer que nous sommes en situation incertaine (quand arrivera la prochaine inondation ?), que nous sommes face à une situation de perte (les inondations créent des dommages) et que nous avons des événements de faible probabilité (la référence est souvent la crue centennale $p = 1/100$ pour une année donnée).

Cette situation a priori défavorable ne doit pour autant pas arrêter toutes les démarches d'information en matière de risque d'inondation. Il doit nécessairement y avoir une adaptation du discours ainsi qu'un effort pédagogique important.

La perte de mémoire en matière de risque d'inondation

Les personnes sont aujourd'hui beaucoup plus mobiles que par le passé. Nous pouvons noter une certaine perte de mémoire à la fois individuelle mais aussi collective des événements, malgré une connaissance du passé par quelques anciens du village ou de la commune. L'histoire de la rivière et de ses débordements est souvent négligée (en fait de moins en moins maintenant), et à cela trois raisons essentielles :

La première est que l'« ingénieur » a souvent considéré (c'est moins vrai aujourd'hui !) qu'il dispose de la technique qui lui permettra de maîtriser les événements futurs par un certain nombre d'aménagements : endiguements, recalibrages, barrages réservoirs... Cette attitude a prévalu depuis plusieurs décennies (voire plusieurs siècles sur des rivières telles que la Loire) et de nombreux cours d'eau ont été façonnés par l'homme, éventuellement au détriment du milieu.

La seconde est souvent liée à la gestion de l'occupation des sols. En effet, les vieux centres-bourgs sont souvent situés sur les hauteurs. Et les

terrains disponibles pour l'urbanisation se sont trouvés en plaine, en bordure de cours d'eau. La pression foncière a été plus forte que les contraintes du risque d'inondation.

Enfin, la troisième est liée aux aménagements qui ont été réalisés. Ceux-ci ont effectivement permis de contenir les petites crues. Les riverains ont donc oublié que le cours d'eau pouvait déborder et ont estimé qu'il n'y avait plus de problème (de risque). Cette attitude était (est) confortée par le discours technique évoqué précédemment.

Or il s'avère que le risque zéro n'existe pas. Toutes les protections, toutes les décisions d'aménagement sont issues d'un niveau de risque accepté, résultat d'un compromis économique entre des coûts (coûts des inondations, des mesures préventives...) et des avantages (facilité d'implantation, développement d'activités, valeur paysagère...). Ce compromis est rarement fait de façon explicite. Il arrive donc que les niveaux de protection soient dépassés par des événements climatiques et que des zones que nous croyions protégées soient à nouveau inondées. C'est ce qui arrive régulièrement et qui alimente la radio, les journaux télévisés et la presse écrite.

Un phénomène aléatoire

Le fonctionnement des rivières est difficile à caractériser. La pluie, origine de l'eau des rivières, est connue à travers le réseau des pluviogrammes et des radars. Il n'en reste pas moins que la relation qui lie l'eau tombée du ciel à celle qui coule dans les cours d'eau est très complexe. Le signal de débit, qui traduit la quantité d'eau qui passe dans le cours d'eau, est très variable. Il ne semble soumis à aucune loi particulière. Les différents facteurs amont (risque de pluie, géologie, pente, taille des bassins versants, végétation...) se prêtent à une analyse spatiale objective et relativement globale du fait d'une certaine homogénéité de ces grandeurs. Mais les aspects hydrauliques par nature même très locaux compliquent alors énormément le problème.

Un travail des hydrologues consiste donc à extraire du signal de débit des informations pertinentes. Et une des hypothèses fortes qui est posée, et qui se vérifie par la suite, est que la durée entre les crues est aléatoire, de même que leur intensité.

À partir de là, il est possible d'arriver à une description du fonctionnement des crues du cours d'eau en terme probabiliste. Elle se décline dans les termes suivants :

- le débit moyen Q sur une durée δ a en moyenne une probabilité p d'être dépassé chaque année ;
- ou encore, le débit moyen Q sur une durée δ a une période de retour $T = 1/p$.

Les variables utilisées, que ce soit la probabilité p ou le débit Q (figure 1), ne sont pas très explicites pour le public. Les résultats hydrologiques concernant une référence (Q_{100} , Q_{1000} ...) sont difficilement perçus. Ceci est d'autant plus marqué que les résultats des modèles sont souvent entachés d'incertitudes, traduites en terme d'intervalle de confiance. Cette complexité inhérente au problème ne favorise pas la communication. Ce point est d'autant plus vrai que même les spécialistes, qu'ils soient ingénieurs ou scientifiques, n'ont pas toujours les idées claires et entretiennent la confusion : le débit Q correspond-il à un débit de pointe, à un débit moyen, à un débit journalier ?

Ce discours technique et très spécialisé trouve peu d'écho auprès de la population. La notion de probabilité ou de période de retour est difficilement assimilable sans la maîtrise de concepts mathématiques minimaux. Nous aboutissons souvent à des contresens : « Une crue comparable à celle de 1910 se produit en moyenne tous les cent ans et la probabilité d'une telle catastrophe augmente d'année en année », prévient un ingénieur de l'IIBRBS¹ en parlant de la Seine à Paris dans le journal Le Point du 13/09/02 (n° 1565, page 66). Mais est-ce le journaliste qui a mal traduit la pensée de son interlocuteur ou est-ce l'ingénieur qui s'est mal exprimé, voire trompé dans ses propos ?

Un effort est donc nécessaire et il doit être porté dans deux directions. La première est de construire un discours avec des termes clairs, choisis et compréhensibles. La seconde est de faire les efforts pédagogiques nécessaires à la compréhension du plus grand nombre, voire des efforts de recherche en matière de formalisation du discours complexe.

Informer sur le risque d'inondation

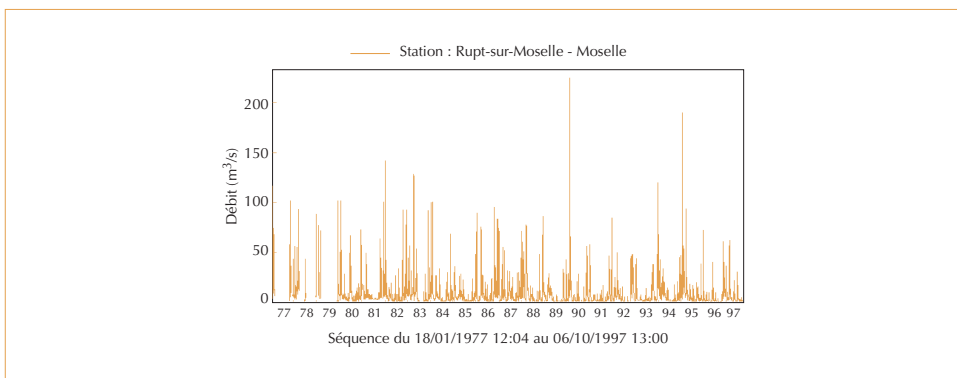
Parler des crues

Un discours uniquement basé sur une approche probabiliste n'est pas satisfaisant pour le tout un chacun. Nous proposons de décrire les inondations à travers la rareté de l'intensité des phénomènes. Deux grandeurs caractérisent les inondations :

- l'intensité des propriétés physiques des crues ;
- l'intensité des conséquences des crues.

L'intensité des conséquences des crues est basée sur les impacts socio-économiques. La description est souvent très parlante et c'est elle que nous retrouvons en général dans les journaux après un événement catastrophique. Cette description a néanmoins un certain nombre d'inconvénients. Les impacts sont décrits dans des grandeurs non directement comparables : impacts humains (morts, blessés, stress), dommages (biens privés, biens publics), impacts sur l'organisation (privés, publics, transports...). Une connaissance précise de ces impacts est de surcroît assez difficile à établir, notamment pour les impacts intangibles. De plus, l'échelle a un caractère local : les impacts, pour une crue d'une intensité physique donnée, seront différents selon le degré de vulnérabilité des territoires concernés. Enfin, il n'y a pas assez de données disponibles aujourd'hui pour pouvoir établir une relation entre les dommages et leur probabilité.

1. IIBRBS – Institution interdépartementale des barrages-réservoirs du bassin de la Seine. www.iibrbs.fr



◀ Figure 1 – Variation du débit d'un cours d'eau.

L'intensité des propriétés physiques des crues est basée sur la hauteur d'eau, le débit, la durée de submersion, voire les vitesses d'écoulement. Cette description permet de préciser les caractéristiques physiques de l'événement et d'en donner une représentation cartographique. Le caractère local des crues peut alors être dépassé si l'intensité physique de la crue est affectée d'une probabilité. Les données acquises sur les cours d'eau permettent l'établissement de cette relation.

Au final, nous privilégierons la rareté des crues en utilisant une description basée sur la fréquence du débit de pointe des événements. Nous favorisons donc une description des caractéristiques physiques des crues au détriment des conséquences. Cela est dû au fait que nous disposons d'informations fournies sur les débits, ce qui n'est pas le cas pour les dommages. De plus, la connaissance de l'intensité physique de crues historiques nous permet d'avoir une échelle de crue stable dans le temps alors que les dommages dépendent de l'évolution de l'occupation des sols. Enfin, le fait de privilégier l'intensité physique permet d'appréhender la notion de risque, liée aux interactions qui existent entre la vulnérabilité des biens et la rareté des inondations.

La représentation du phénomène aléatoire

Dans le cadre d'enquêtes que nous avons réalisées auprès de personnes concernées par les inondations, nous avons été amenés à leur décrire le fonctionnement de la rivière, et notamment son caractère aléatoire. Nous avons pour cela formalisé les probabilités d'occurrence des crues à l'aide d'une urne colorée. Nous avons choisi de regrouper les événements en cinq classes :

- la première classe concerne les événements suffisamment faibles pour ne pas devoir occasionner de conséquences dès lors que la gestion de l'occupation du sol n'a pas été faite inconsidérément ;
- la dernière classe concerne les événements contre lesquels il peut paraître *a priori* présomptueux ou non réaliste de s'en protéger ;
- les trois autres classes concernent les événements intermédiaires pour lesquelles l'opportunité de s'en protéger est discutée.

Nous considérons qu'une personne est susceptible de connaître un événement si elle a 50 % de chance de connaître cet événement sur une durée donnée. Nous entendons ici par événement une crue caractérisée par son débit de pointe. Nous définissons les classes de la façon suivante.

– **Classe 5** – Au cours des 100 prochaines années, il y a 1 chance sur 2 qu'une crue de cette classe ait lieu. Ces crues sont exceptionnelles, d'intensité immense et peuvent être à l'origine de grandes catastrophes.

– **Classe 4** – Au cours des 50 prochaines années, il y a 1 chance sur 2 qu'une crue de cette classe ou supérieure ait lieu. Ces crues sont très rares, d'intensité considérable et peuvent être à l'origine de catastrophes.

– **Classe 3** – Au cours des 20 prochaines années, il y a 1 chance sur 2 qu'une crue de cette classe ou supérieure ait lieu. Ces crues sont rares, d'intensité importante et peuvent être à l'origine de sinistres.

– **Classe 2** – Au cours des 5 prochaines années, il y a 1 chance sur 2 qu'une crue de cette classe ou supérieure ait lieu. Ces crues sont peu fréquentes, d'intensité modérée et peuvent être à l'origine de perturbations.

– **Classe 1** – Il y a de fortes chances pour qu'une crue de cette classe ait prochainement lieu. Ces crues sont fréquentes, d'intensité faible et peuvent être à l'origine de désagréments.

Si nous supposons que les crues suivent une loi de poisson, nous avons (tableau 1) une définition des classes en fonction de la période de retour du débit de pointe de l'événement.

Classe 1 :	1 an ≤	T	≤ 7 ans
Classe 2 :	7 ans <	T	≤ 29 ans
Classe 3 :	29 ans <	T	≤ 72 ans
Classe 4 :	72 ans <	T	≤ 144 ans
Classe 5 :	144 ans <	T	

▲ Tableau 1 – Définition des classes en fonction de la période de retour du débit de pointe.

Durée d'observation	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
5 ans	0,50	0,35	0,05	0,05	0,05
20 ans	0,05	0,45	0,25	0,10	0,15
50 ans	0,00	0,20	0,30	0,20	0,30
100 ans	0,00	0,05	0,20	0,25	0,50

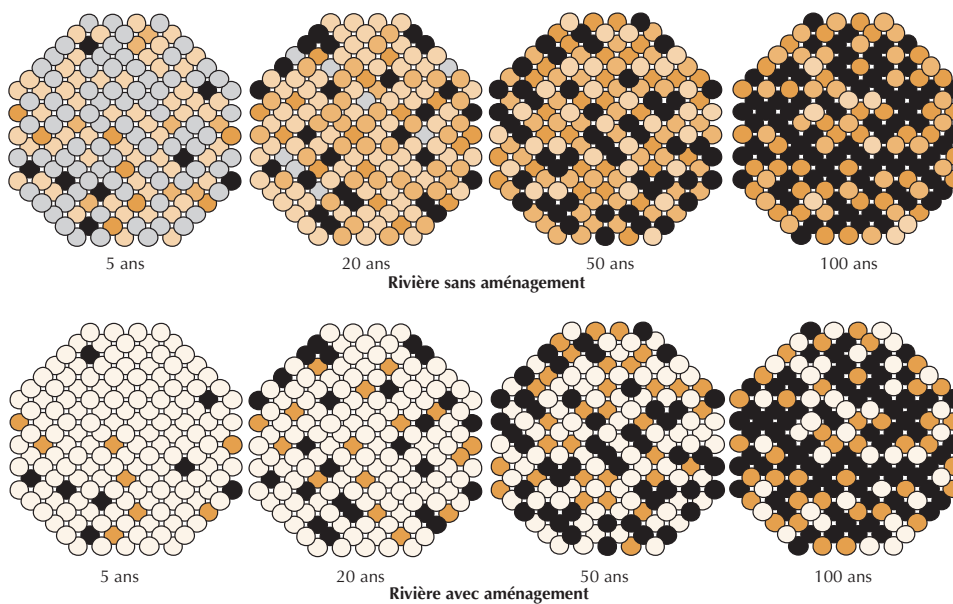
▲ Tableau 2 – Probabilité des classes de crues en fonction de la durée d'observation.

Nous pouvons aussi décrire (tableau 2) la probabilité d'occurrence d'un événement dans une classe suivant la durée d'observation.

Nous représentons maintenant le fonctionnement de cours d'eau par une répartition de ces probabilités dans une urne (figure 2). Les différentes couleurs des boules indiquent l'intensité de la plus forte inondation. La présence d'un aménagement

a pour effet de supprimer les inondations qui se situent en-deçà du seuil de l'aménagement

La représentation sur différentes périodes d'observation montre que la probabilité de connaître un événement de classe 5 augmente avec la durée et qu'il reste toujours des boules noires, éventuellement en quantité non négligeable même après un aménagement.



◀ Figure 2 – Représentation du caractère aléatoire des crues sur les périodes d'observation de 5, 20, 50 et 100 ans.

- 1 Classe des événements FRÉQUENTS. Il y a 5 % de chances que le pire événement soit une crue fréquente, d'intensité faible.
- 2 Classe des événements PEU FRÉQUENTS. Il y a 45 % de chances que le pire événement soit une crue peu fréquente, d'intensité modérée.
- 3 Classe des événements RARES. Il y a 25 % de chances que le pire événement soit une crue rare, d'intensité importante.
- 4 Classe des événements TRÈS RARES. Il y a 10 % de chances que le pire événement soit une crue très rare, d'intensité considérable.
- 5 Classe des événements EXCEPTIONNELS. Il y a 15 % de chances que le pire événement soit une crue exceptionnelle, d'intensité immense.
- La protection est efficace contre les crues RARES

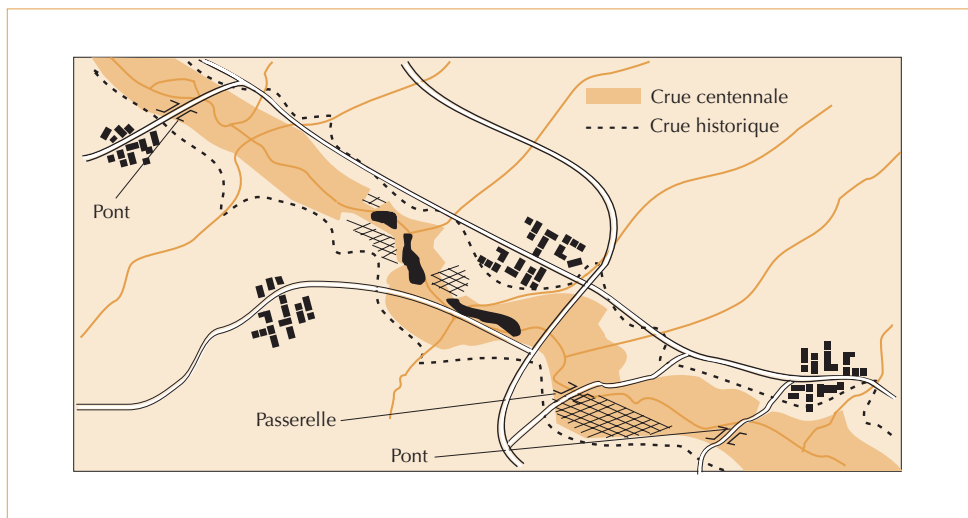
La cartographie des inondations

La représentation spatiale est fondamentale dans la diffusion des résultats. En effet, par essence même, toutes les informations liées au risque d'inondation sont géoréférencées. Les résultats de l'expertise ou de la modélisation ont une traduction cartographique. Or, il s'avère que les cartes sont souvent très succinctes (carte 1). En effet, les informations représentées concernent au plus la

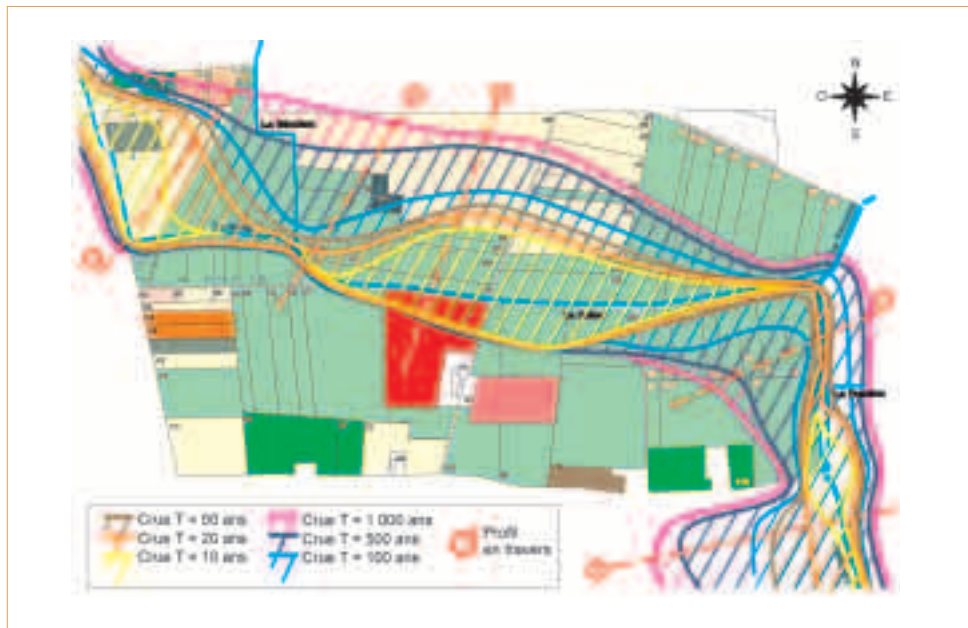
crue de référence prise en compte pour la réglementation ou l'aménagement (en général la crue centennale) et la crue historique, c'est-à-dire la plus grande crue connue localement depuis un à deux siècles.

De plus, les résultats des modèles hydrauliques sont entachés d'erreurs liées aux incertitudes hydrologiques, de calage du modèle et de choix de représentation topographique essentiellement.

► Carte 1 –
Cartographie de la
crue centennale.



► Carte 2 –
Cartographie de
différentes crues.



L'information ainsi cartographiée est très partielle. En effet, elle ne rend pas compte du fait que les inondations sont plus ou moins fortes, et surtout qu'elles peuvent aller au-delà des limites prises en compte dans les décisions d'aménagement et d'urbanisme. Entre autre, il est à notre sens, important de montrer le continuum qui existe entre les inondations et que même très rare, une inondation « catastrophique » peut se produire. Il serait alors plus pédagogique et surtout plus responsable vis-à-vis du riverain et du citoyen de produire des cartes qui représentent l'ensemble du fonctionnement du cours d'eau. La représentation des différentes limites de crue attachées à différentes fréquences répond à cet objectif (carte 2).

En utilisant l'ensemble de la gamme des crues, il est possible de montrer qu'il reste un risque résiduel à tout aménagement. Malgré les solutions adoptées pour limiter les débordements ou les décisions prises d'urbaniser au-delà de la limite de la crue de projet (centennale en général), les riverains sont toujours susceptibles de subir une inondation.

Conclusion

Le risque est par essence même virtuel. En effet, il n'existe pas en tant que tel, pas plus d'ailleurs que la crue dite centennale ou millénale. Le risque ne se décline qu'en terme de catastrophe. Il est alors particulièrement difficile de prendre conscience des situations à risque, et notamment en matière d'inondation pour lequel il existe une croyance collective que les aménagements, entre autre, permettent de maîtriser la situation.

Or il s'avère qu'il reste toujours un risque résiduel, rarement affiché, souvent tu. Il est indispensable qu'un minimum d'information soit donné au citoyen, du moins au riverain. En effet, le citoyen

peut légitimement demander la nature des choix politiques qui définissent par défaut ou volontairement le niveau de risque choisi. De même, le riverain est en droit de connaître le risque auquel il est exposé.

Outre les considérations politiques délicates de mise sur la place publique de ces éléments, il n'en reste pas moins que l'information à donner est complexe. D'une part les événements sont aléatoires et font nécessairement l'objet d'une description probabiliste. D'autre part, quelles que soient les mesures prises, il existe toujours un risque résiduel et des catastrophes se produiront inévitablement. La représentation d'une urne représentant les probabilités d'occurrence de crue permet de montrer le caractère aléatoire des phénomènes et le risque résiduel : quelles que soient les solutions, il reste des boules noires... (figure 2, page 21).

Mais la nature vient encore compliquer ce discours. En effet, le fonctionnement des cours d'eau n'est malheureusement pas statique. De nouveaux événements peuvent amener les hydrologues à revoir les estimations de probabilités. Et donc à définir des niveaux de crue décennale, centennale, millénale différents (à la hausse ou à la baisse). Des aménagements à l'amont du lieu considéré (zone d'expansion, endiguement...) peuvent de même changer la relation entre les probabilités et les crues. Enfin, des considérations sur l'évolution globale du climat peuvent elles aussi apporter leur lot de modifications sur la distribution des crues.

Informé sur le comportement des cours d'eau, et notamment de ses extrêmes reste un enjeu fort de société. C'est une tâche ardue mais qui nécessite une vraie formalisation et un vrai effort pédagogique. Ce n'est que grâce à ces actions que nous pourrions plus facilement comprendre, et par-là accepter les catastrophes qui surviendront, et réagir en acteur averti. □

Résumé

Les crues et les inondations ont un caractère aléatoire qui rend complexe la prise de décision et la communication au citoyen. La description probabiliste du fonctionnement d'un cours d'eau rend le discours difficile, y compris parfois par les spécialistes et engendre souvent des contresens. Or, les enjeux économiques et sociaux des inondations nécessitent des messages clairs et compréhensibles par tous. Nous nous attacherons à identifier quelques freins à la perception objective du risque d'inondation, et nous apporterons quelques pistes de construction d'une représentation des phénomènes. Nous proposerons notamment une formalisation à travers l'image d'une urne colorée en fonction des probabilités d'occurrence des inondations.

Abstract

Floods and inundations are hazardous phenomena that make difficult decisions and communication towards citizens. The stochastic description of the river behaviour is difficult to explain, even sometimes for experts. At the end, people usually misunderstand the flood risk notions. Meanwhile, clear messages are necessary due to social and economic stakes. We try to identify some obstacles to objective flood risk perception and we propose some ways to build a representation of hazardous phenomena. We propose a formalisation through the image of coloured balls, function of floods probabilities.

Bibliographie

- Commisariat Général au Plan, 1997, *La prévention des risques naturels*, Rapport d'évaluation, 2.
- SHF, *Eau et économie*, congrès SHF, 24-26 septembre 2002, Paris.
- SHF, *Crues de la normale à l'extrême : précipitations-infiltrations-ruissellements-entraînements*, congrès SHF, 10 et 11 mars 1999, Lyon.
- SHF, *La gestion de risques liés aux inondations rapides et lentes*, congrès SHF, 29 et 30 septembre 1999, Paris.
- DAUGE Y., *Rapport sur les politiques publiques de prévention des inondations en France métropolitaine et outre-mer*, Rapport parlementaire, 1999.
- GENDREAU, N., 1998, *Protection objectives in flood risk prevention*, Proceedings of the British Hydrological Society International conference, Exeter, UK, p. 145-154.
- GIVONE, P., 1998, Risques naturels et transcription cartographique, *Ingénierie-EAT*, numéro spécial Risques naturels.
- GREBOT, B., LE COZ, J., NOEL, N., 2002, *L'implication de la population dans la gestion des inondations : le cas du Mans*, Rapport de TGE, ENGREF, 38 p.
- GRELOT, F., 1999, *Éléments de réflexion pour une intégration économique et opérationnelle de la perception du risque*, Mémoire de DEA SDMR, ENS Cachan.
- GRELOT, F., GUILLAUME, B., 2003, « Flood-scale »: a procedure to elicit public values in flood risk management, Proceedings of the second International Conference on Water Resources Management, Las Palmas, Gran Canaria, p. 389-400.
- GRELOT, F., GUILLAUME, B., ACHARD, V., GENDREAU, N., 2003, Participation du public à la gestion préventive des inondations : utilisation d'une échelle de crue et de la méthode d'évaluation contingente, *Ingénierie-EAT*, numéro spécial Risques naturels, à paraître.
- GRELOT, F., GUILLAUME, B., GENDREAU, N., 2002, Gestion préventive des inondations: quels outils économiques pour l'aide à la décision?, *Ingénierie-EAT*, numéro 29, p. 27-36.
- GRELOT, F., GUILLAUME, B., GENDREAU, N., 2003, Évaluations économiques de la réduction du risque d'inondation, *La Houille Blanche*, numéro 3.
- PALMARINI, M.-P., 1995, *La réforme du jugement ou comment ne plus se tromper*, Ed. Odile Jacob, 263 p.