

Prise de décision en contexte incertain Conférence organisée par la SHF



► Introduction : Daniel LOUDIÈRE (Président de la Société Hydrotechnique de France)

La SHF a été sollicitée pour organiser cette première conférence intitulée « *Prise de décision en contexte incertain* ». Il est clair que l'incertitude fait partie des problèmes de climat. La probabilisation n'est pas simple, et ajouter les modèles météorologiques, hydrauliques et hydrologiques aux résultats quand on parle de territoires inondés peut poser de très grosses difficultés et de très grosses incertitudes. C'est vraiment une complexité supplémentaire que de parler d'incertitude mais c'est aussi incontournable. La SHF s'efforce de faire le lien entre la recherche et les acteurs de terrain, ce qui sera, je pense, bien illustré dans cette conférence, pour réfléchir à la façon dont cette incertitude peut être prise en compte.

1

► Jean-Michel GRÉSILLON (Président du Conseil scientifique du programme « Risque, Décision, Territoire » du MEEM)

L'incertitude est-elle un argument pour oublier le risque ? Regard historique. L'exemple de la Loire.



Les sciences de l'environnement étant extrêmement complexes, la prévision d'un événement critique tel qu'une crue ou une inondation - tout comme sa prédétermination, c'est-à-dire la détermination à priori de sa probabilité d'occurrence - ne peut se faire sans une part d'incertitude qui peut être grande. Je vais donc m'interroger ici sur ce qui a été fait dans le passé à propos de ces incertitudes, tout en suggérant qu'elles ont été parfois (souvent ?) un argument pour oublier le risque.

Comment a-t-on géré cette incertitude dans le passé plus ou moins proche ? A-t-elle été prise en compte pour aller plus loin dans les connaissances ? A-t-elle été négligée, au contraire ? Ou bien

instrumentalisée ? Pour répondre à ces interrogations nous tenterons un survol historique sur les moyens de défense mis en œuvre contre les inondations, dans le cas particulier de la Loire. Dans un premier temps je m'intéresserai aux moyens techniques, les digues essentiellement, puis dans un deuxième temps aux moyens non structurels (réglementaires surtout) pour me demander si, depuis qu'on les utilise, des progrès ont été faits et quelle place l'incertitude occupe dans l'utilisation de ces moyens.

❖ Mesure des vitesses et des débits

La mesure des vitesses et des débits constitue un premier préambule. Il faut bien se rendre compte que jusqu'au milieu du 18^e siècle on sait très peu de chose sur les écoulements en milieu naturel, comme en témoigne cette citation de DU BUAT, un des premiers hydrauliciens :

« Tout ce qui concerne le cours uniforme des eaux qui arrosent la surface de la terre nous est inconnu [...] La cause d'un si grand mal [...] est l'incertitude des principes, la fausseté de la théorie que l'expérience dément, le peu d'observations faites jusqu'à présent... ».

Il réunit ici les incertitudes qui sont de l'ordre des mesures (rares) et des modèles (incertains ou faux). Il avait compris que les connaissances en la matière étaient loin d'être exhaustives. C'est à la même époque que d'autres hydrauliciens, comme Henri de PITOT, mettent au point des méthodes permettant d'explorer des champs de vitesses d'écoulement dans les rivières.

❖ Protection contre les crues de la Loire

Si les connaissances ne sont pas très avancées jusqu'au 18^e siècle, cela n'a pas empêché nos ancêtres de prendre des dispositions de protection contre les inondations, comme nous allons le voir au travers des crues de la Loire. Ce fleuve très étalé, avec une grande plaine alluviale, depuis Orléans jusqu'à la mer, traverse de très grandes surfaces inondables. Jusqu'au Moyen-Âge, cette plaine alluviale subit des inondations que l'on considère comme fertilisantes et bienvenues quand elles ne sont pas trop violentes. Dans le lit majeur du fleuve on utilise des « turcies », cordons de terre mélangée à des fagots de bois, qui sont mises en œuvre à la fois pour ralentir les courants dus aux inondations de façon à protéger les terres contre l'érosion, et pour faciliter le dépôt des limons.

Au 12^e siècle, la question commence à se poser autrement. Les « turcies » ont donné l'habitude de gérer le fleuve de façon tranquillisée, et on commence à construire, en Anjou, des levées de terre, beaucoup plus puissantes, beaucoup plus hautes, et qui s'inscrivent dans une démarche de protection contre les crues et de renoncement aux effets bénéfiques des limons déposés. Les populations se rendent compte qu'elles peuvent s'installer derrière ces édifices, et entrent déjà dans le cycle infernal de l'augmentation conjointe de la protection contre les crues et de la vulnérabilité. Il s'agirait apparemment d'une démarche centralisée, venant de la Seigneurie et des Rois, puisque c'est Henry II Plantagenêt, le futur roi d'Angleterre, qui en aurait donné l'impulsion.

Aux 13^e et 14^e siècles, constatant l'efficacité de ces premières levées construites en Anjou, il est décidé de les étendre vers Tours et Orléans, à l'est. Ces digues permettent aussi de réduire les divagations du fleuve, de favoriser la navigation, mais également de supporter des routes qui restent hors d'eau en période de crues de la Loire.

A partir du 15^e siècle, les doutes et les soupçons apparaissent. Des crues dévastatrices sont mentionnées, les digues submergées sont complètement érodées, laissant des torrents d'eau dévaster sur leur passage les zones qu'elles protégeaient. Le caractère exceptionnel de ces crues provient-il de la violence des événements ou bien de l'enserrement du fleuve ? La question se pose déjà, puisque, sous Louis XIII, des solutions pour éviter ces surverses commencent à être proposées.

Ainsi les digues sont abaissées sur certains tronçons afin de provoquer un dépassement contrôlé dans les vals. Mais des constructions se trouvant déjà dans ces vals, ce projet rencontre des oppositions. COLBERT, en 1668, utilisant une rhétorique « martiale », en revient à la multiplication et au renforcement des digues : « *afin que, quelque hauteur que les eaux puissent atteindre pendant l'hiver, l'eau ne passe point par-dessus les levées et ne les puisse endommager* ».

Au 18^e siècle, de nouvelles ruptures surviennent en 1709, 1710 et 1711. De nouvelles idées émergent. En 1705, pour rendre les gorges de la Loire navigable, un rétrécissement naturel du fleuve, au niveau de Roanne, a été élargi et on s'interroge sur les effets que cela a pu avoir sur les crues. Des digues de ralentissement des eaux sont alors construits en amont sur la Loire. Déchargeoirs et stockage de l'eau à l'amont, les limites de l'endiguement semblent enfin comprises.

Après une période d'accalmie au début du 19^e siècle, qui permet de se concentrer sur la navigation du fleuve pour faire face à la concurrence apportée par le développement du train, de nouvelles grandes crues surviennent. Elles sont connues : celles de 1846, 1856 et 1866. Napoléon III, sans doute un peu aidé par ses ingénieurs des Ponts et Chaussées, se montre impérial en rédigeant cette fameuse « lettre de Plombières » tout à fait clairvoyante, dans laquelle il dit :

« Le système des digues n'est qu'un palliatif ruineux pour l'Etat, imparfait pour les intérêts à protéger [...] Tout consiste à retarder l'écoulement des eaux. Le moyen d'y parvenir est d'élever dans tous les affluents [...] partout où les cours d'eau sont encaissés, des barrages qui laissent dans leur milieu un étroit passage pour les eaux, les retiennent [...] et forment ainsi en amont des réservoirs qui ne se vident que lentement ».

Il avait donc tout compris de ce que l'on appelle désormais le ralentissement dynamique. Ceci dit seulement quelques travaux ont pu être réalisés dans le domaine des déchargeoirs, et on voit réapparaître des inondations dès le début du 20^e siècle. Un peu plus tard se met en place une institution interdépartementale pour la protection des Vals de Loire, qui œuvre pour que la Loire soit aménagée dans l'intérêt des administrés. Des objectifs économiques et de soutien d'étiage pour l'agriculture mais aussi pour le refroidissement des centrales se combinent. Mais très vite apparaît une opposition entre des intérêts économiques et des problématiques écologiques qui, certains s'en souviennent certainement, provoque un long conflit que l'Etat a eu du mal à arbitrer. Deux des sept barrages qui avaient été prévus sont finalement réalisés (Villerest et Naussac). Pour le moment, la Loire a bien voulu s'en satisfaire.

Les leçons que l'on peut tirer de l'histoire de la lutte contre les crues de la Loire, sont multiples :

- D'une part, la connaissance empirique s'est construite tout au long d'une série d'essais et d'erreurs autour de la construction des levées, de leur surélévation, de leurs ruptures.
- D'autre part les habitants du val de Loire ne sont parvenus à ravir à la Loire ses champs d'expansion des crues qu'au prix de grandes crues dévastatrices qui ont permis de comprendre qu'enserrer le fleuve rend ses crues plus violentes et ses champs d'expansion plus vulnérables.
- Par ailleurs Les décisions techniques, fondées sur des connaissances imprécises, résultent souvent de l'incertitude dans les connaissances et privilégient certains points de vue plutôt que d'autres (digues plutôt que crues fertilisantes, déchargeoirs versus habitants des vals, barrages versus biodiversité etc.

❖ Epoque contemporaine et moyens de lutte non-structurels

Avec les outils réglementaires modernes tels que les PPRI, apparus notamment dans le cadre de la décentralisation, l'incertitude sur le zonage des terres inondées entraîne aussi des conflits importants qui sont liés à des conflits d'intérêt. A Orléans comme à Tours en particulier, les querelles entre l'Etat et les collectivités locales autour de ce zonage ont été très longues. L'incertitude sur ce zonage a été utilisée par les collectivités pour que le développement territorial ne soit pas bloqué, par l'État pour que le risque d'inondation ne soit pas augmenté. Dans les deux cas (Tours et Orléans), mais avec beaucoup de difficultés, un PPRI a fini par être approuvé. Mais la pression économique et démographique, l'ancienneté des grandes crues et la perspective des futures protections ont contribué à ce que les collectivités concernées adoptent un quasi déni du risque. Pendant longtemps l'incertitude a été un argument pour refuser des règles trop strictes.

❖ En conclusion

La connaissance sur les crues, les inondations et les moyens de s'en protéger s'est construite expérimentalement. Elle reste imparfaite et le restera. Il ne s'agit pas de croire que l'on pourra réduire l'incertitude. L'idéal c'est de savoir comment gérer cette incertitude et de faire en sorte qu'elle ne soit pas un prétexte pour négliger le risque.

Mais il faut dire aussi que la minimisation du risque et parfois son déni, ont un sens. On ne doit pas oublier que la protection des biens et des personnes n'est pas la seule préoccupation à considérer. L'homme a besoin d'espace pour son développement (démographique, économique, ...) et la responsabilité devant le risque que ce développement engendre doit être partagée.

Pour mieux gérer l'incertitude, il faut surtout organiser la concertation entre les acteurs. C'est en tout cas la conclusion que je vous propose.

▶ **Éric GAUME (Directeur de département IFFSTAR) et Michel LANG (Hydrologue à l'IRSTEA)**

L'incertitude dans la connaissance de l'aléa et la connaissance des zones inondées



Notre exposé cherche à faire toucher du doigt les niveaux d'incertitude auxquels on est confronté lorsqu'on veut cartographier l'aléa. L'exposé se déroulera en deux parties. La première portera sur la cartographie, réalisée à partir d'un hydrogramme ou de débits. Les outils pour la réaliser, et notamment les outils de modélisation hydrodynamique, existent. Mais il s'agit de s'interroger sur les incertitudes qui entachent ces modélisations. La deuxième partie portera sur la qualification de l'aléa, à savoir l'incertitude liée à l'évaluation des fréquences ou périodes de retours.

❖ Cartographie des inondations

La cartographie des inondations peut se faire par différentes méthodes, mais, de plus en plus, les modèles hydrodynamiques sont incontournables, notamment pour permettre de prendre en compte les aménagements récents des lits mineurs et majeurs des cours d'eau. Ces modèles font face à deux types d'incertitudes :

- L'incertitude hauteur/débit et sur les paramètres dans les modèles qui contrôlent cette relation, qui sont les paramètres de rugosité
- La représentation nécessairement simplifiée dans les modèles de l'écoulement en lit majeur, qui peut nous faire passer à côté de phénomènes importants.

En ce qui concerne la relation hauteur/débit, je voudrais rappeler qu'il a fallu une conférence d'experts pour préciser le débit de la crue du Rhône de 2003. On est passé d'une estimation initiale de $13500\text{m}^3/\text{s}$ à $11500\text{m}^3/\text{s}$. Récemment on s'est intéressé au débit de crue de la Seine en 2010 avec une estimation initiale à $2650\text{m}^3/\text{s}$ au lieu de $2450\text{m}^3/\text{s}$, ce qui, en termes de modélisation, a des conséquences, puisqu'à 2650, avec les modèles actuels, le fleuve déborde à Paris. Je voulais aussi l'illustrer par un exemple tout à fait extrême, celui de la Crue du Tech en 1940. C'est la crue de référence pour le département et le record de France pour la pluviométrie avec 2m d'eau en 4 jours, 1m d'eau localement en 24h et 57 victimes. C'est sur la base de cette crue que sont réalisés les plans de prévention des risques localement. Les débits avaient été estimés par les services locaux sur la base des connaissances des ingénieurs de l'époque, avec un coefficient de rugosité de 30 à 40 et donc très raisonnable, sauf que lorsque l'on regarde les vitesses d'écoulement on est sur du 7 à 15m/s, ce qui pour le coup apparaît très déraisonnable, et des coefficients de froude largement supérieurs à 1. Or il s'avère que les retours d'expériences récents montrent qu'il est très rare de dépasser un froude de 1 en rivière.

(slide 4) En prenant l'exemple d'un épisode de crue survenu dans les Pyrénées orientales, l'Aiguat de 1940, on constate que pour le coefficient de Gaukler-Manning il existe des décalages très importants entre les estimations de l'Aiguat, les valeurs qui ont servi à établir les guides méthodologiques qu'utilisent les ingénieurs et enfin les valeurs utilisées par les ingénieurs sur les crues exceptionnelles. Ce décalage a une influence sur les vitesses. De la même manière, si on prend les vitesses qui ont servi à calculer le coefficient de Gaukler-Manning, on constate qu'elles sont totalement différentes de celles observées sur les crues exceptionnelles.

(slide 5) Vous voyez à présent la révision des courbes de tarage : les points rouges sont les jaugeages, et les deux courbes extrapolées initialement. Au final vous voyez que les deux courbes correspondent très bien aux débits jaugés, donc les débits mesurés ne permettent pas de conditionner fortement les débits exceptionnels. Au final on a donc divisé par deux les estimations de débit, ce qui est énorme. Les PPR ont été calibrés sur les anciennes valeurs, et il y a du coup certainement tout un travail de modélisation à reprendre.

❖ La représentation simplifiée des processus

Slide 6 : Une fois de plus sur l'Aiguat de 1940, les deux pointes de crues sont mal positionnées car le modèle avait des vitesses trop importantes. Les pointes réelles sont représentées par des flèches bleues. Il se trouve que la vitesse maximale de crue se situe juste à l'aval entre les deux pointes, au moment où on devrait normalement avoir la décrue. Que s'est-il passé ? Slide 7 : vous avez une voie ferrée qui barre le lit majeur. Au début de la crue il y a un débordement, et il va se créer une retenue d'eau importante, 4 millions de m³, qui va s'accumuler derrière la voie ferrée, jusqu'à 22h. Et entre 22h et minuit, la voie ferrée se rompt, et ces 4 millions de m³ vont se déverser, provoquant une inondation très temporaire, 30 minutes, des bas quartiers de la ville d'Elne. On ne peut donc pas prévoir ni comprendre l'inondation de la ville d'Elne sans prendre en considération le rôle de la voie ferrée.

La représentation des écoulements dépendra donc de ce qu'on a pris en compte dans le modèle.

❖ Estimation de l'aléa hydrologique de référence

Cet aléa est utilisé pour la cartographie et les incertitudes associées et peut faire l'objet de plusieurs approches :

- **Approche par maximisation** en recherchant la crue la plus forte possible sur un secteur donné. On peut par exemple raisonner sur la crue historique, auquel cas on va s'interroger sur la crue de référence historique qu'il faut retenir, s'il faut rejouer la crue ancienne dans les conditions actuelles. Ensuite se pose le problème du traitement homogène d'un bassin à un autre, du fait qu'il n'y a pas forcément eu de crue historique importante sur tous les bassins, ou qu'elle n'a pas été gardée en mémoire. On peut également raisonner sur les crues géomorphologiques, en exploitant les traces de sédiments que l'on peut retrouver dans la plaine d'inondation. Cela pose à la fois la question de la variabilité climatique, puisque le climat, depuis 2000, a évolué, et de l'impact des aménagements humains sur la plaine d'inondations. Ces approches sont intéressantes car elles nous donnent directement des résultats sur les crues extrêmes. Par contre elles donnent moins d'informations sur l'aléa fréquent et moyen, alors qu'implanter un lotissement dans les limites de la crue décennale peut poser des problèmes. En outre, il y a encore assez peu d'exemples d'analyses de l'incertitude pour ces approches par maximisation.
- **Approche probabiliste**, dans laquelle on va associer à un débit donné une probabilité. Par exemple, la crue centennale est la crue qui a une chance sur cent d'être dépassée chaque année. De façon classique, on cale une distribution sur les observations et on extrapole au-delà. Il y a plusieurs sources d'incertitudes dans cette approche. Tout d'abord les débits de crues, puisqu'on ne mesure généralement que les hauteurs, et on reconstitue les débits à l'aide d'une courbe de tarage. Vous avez là un exemple où on voit que les jaugeages ne sont disponibles que pour les hauteurs faibles à moyennes (slide 17). On a donc une forte extrapolation et des incertitudes en extrapolation. La deuxième source d'incertitude est celle liée à l'échantillonnage. De façon classique (slide 18), vous avez deux graphiques, et on voit que la largeur de l'intervalle de confiance augmente avec la période de retour. Ce qui est intéressant, c'est de voir que suivant la loi de probabilité que l'on a choisi, l'intervalle de confiance va être nettement différent. Cela nous ramène à un troisième niveau d'incertitude, qui est celui qui est lié au choix de la loi de probabilité. Un autre exemple pour illustrer ce sujet, celui d'un projet ANR ExtraFlo (slide 18), où on a comparé les principales méthodes utilisées en France. On voit que l'on a des estimations nettement différentes, ici sur les exemples du Gardon. Les premières sont liées avec un ajustement de débit local. On obtient des résultats un peu plus forts quand on exploite tous les records de crue à l'échelle d'une région, et des estimations encore plus fortes quand elles sont basées sur des informations pluviométriques. Et là, ce qui est intéressant, avec une information historique sur deux siècles et demi, on a plutôt tendance à donner raison aux approches basées sur les pluies. C'est un travail qui a été fait sur un grand nombre de bassins et qui a conduit effectivement à recommander de ne pas extrapoler trop loin pour les approches qui n'exploitent qu'une série locale de débit. Le dernier niveau d'incertitude est celui lié au changement climatique. Ce que l'on peut dire, c'est qu'on n'a pas à ce jour d'augmentation significative du nombre de crues ou de l'intensité des crues. En France, on voit par contre apparaître une répartition spatiale, avec au 20^e siècle une tendance plutôt à la hausse de l'intensité des crues sur la moitié Nord de la France, et plutôt à la baisse sur la moitié Sud. Ces approches probabilistes donnent de bonnes estimations pour l'aléa fréquent et moyen car pas mal d'informations sont disponibles. Par contre, pour l'aléa extrême, l'estimation reste encore incertaine, même si des progrès récents ont été apportés via des approches par simulation de longues séries.

Il y a enfin des cas de figure qui sont plus difficiles à traiter. Il s'agit par exemple des crues rapides en bassin non jaugé, des crues en secteur urbain, des phénomènes de ruissellement en versant, des ruptures de digues, ruptures d'ouvrages, submersions marines, remontées de nappes. Il peut y avoir en plus des phénomènes aggravant comme les embâcles, débâcles, transports solides. Il existe des approches simplifiées qui sont moins abouties mais qui sont très utiles pour essayer de repérer les zones potentielles de danger. Pour ce type d'aléa on voit encore très peu d'analyses d'incertitudes.

❖ Comment exploite-t-on ces informations sur les incertitudes ?

En général on peut les afficher, les mentionner, mais elles ne sont pas utilisées dans la prise de décision ou le zonage final. Il existe un certain nombre de cas où on peut adopter une approche un peu pragmatique. En fait si on constate que les incertitudes dépassent le niveau usuel, on va prendre une marge de sécurité. On peut citer le cas des installations nucléaires où on raisonne sur la borne supérieure de l'intervalle de confiance. On peut noter au passage que le choix de cet intervalle de confiance à 70-95% reste encore assez subjectif.

On peut mentionner la possibilité d'avoir une approche économique. L'incertitude à un coût, du fait d'une marge de sécurité que l'on retient en situation d'incertitude, et si on est capable d'introduire une fonction de coût qui modélise à la fois les dommages évités et le coût de l'ouvrage, on peut essayer de prendre une décision qui intègre ces incertitudes.

Pour finir, je mentionne une approche qui commence à être utilisée, est basée sur la distribution prédictive, dans laquelle on envisage la possibilité de se tromper, et pour laquelle on obtient une courbe qui donne des valeurs plus fortes. Il s'agit d'une approche plus poussée pour exploiter les incertitudes dans l'aléa hydrologique.

❖ Pour conclure

Il y a toute une diversité de sources d'incertitudes. Historiquement on s'était plutôt focalisé sur les incertitudes d'échantillonnage, maintenant on commence à traiter également les incertitudes liées aux données. Par contre, celles liées aux modèles restent encore très difficiles à représenter. On peut noter des progrès récents dans la propagation des incertitudes par des techniques de simulation, qui permettent d'envisager les différents niveaux d'incertitude. Il y a le cas de tout ce qui n'est pas directement lié aux débordements de cours d'eau, qui est beaucoup plus difficile à traiter, et sur lequel on est amené à faire des hypothèses et raisonner sur des scénarii.

En ce qui concerne la cartographie des zones inondables, il y a aujourd'hui assez peu d'exemples où l'on exploite les sources d'incertitudes. On peut émettre un petit bémol, c'est-à-dire que selon la configuration de la plaine d'inondation, l'impact des incertitudes hydrologique pourra être important ou pas sur la cartographie finale.

- Lionel BERTHET (Chef du service Hydrométrie, prévision des étiages et des crues, DREAL Centre Val de Loire) et BARBARA HERDNER (Cheffe du service interministériel de défense et de protection civiles du Cher)

Prévision des crues et des inondations, ses incertitudes et le déclenchement de l'alerte

Un site du réseau développement-durable.gouv.fr

Information nationale Informations locales

Actualisation le mardi 10 janvier 2017 à 09h54
Prochaine carte publiée au plus tard le mardi 10 janvier 2017 à 16h00

Etat maximum de la vigilance crues métropolitaine :

- Rouge** : Risque de crue majeure. Menace directe et généralisée de la sécurité des personnes et des biens.
- Orange** : Risque de crue génératrice de débordements importants susceptibles d'avoir un impact significatif sur la vie collective et la sécurité des biens et des personnes.
- Jaune** : Risque de crue génératrice de débordements et de dommages localisés ou de montée rapide et dangereuse des eaux, nécessitant une vigilance particulière notamment dans le cas d'activités exposées et/ou saisonnières.
- Vert** : Pas de vigilance particulière requise.

Trouceaux de cours d'eau en vigilance crues :

Toutes les heures mentionnées sont des heures légales.
Cliquez sur une zone de la carte pour afficher les informations locales.

Carte de vigilance de Météo-France :

Carte n° : 19812017_10

Ecran d'accueil du site vigicrues.gouv.fr

Nous allons à présent changer radicalement d'échelle temporelle, puisque nous allons voir ce qu'il se passe quand il s'agit de prendre des décisions pour les jours ou quelques heures qui viennent en cas d'événement de crue, et c'est pourquoi nous allons faire la présentation à deux, un côté prévisionniste, moi-même, et un côté gestionnaire de crise, Mme HERDNER.

SCHAPI et les SPC élaborent deux fois par jour une information de vigilance aux crues, diffusée via *Vigicrues*. Cette information est construite non seulement à partir de nos observations sur le terrain, mais également à partir de modèles. Ces outils de prévision présentent un certain nombre de limites : d'abord tout modèle reste une représentation simplifiée de la nature ; ils se basent sur les informations de nos capteurs, mais ces derniers sont bien évidemment en nombre limité ; et enfin ils doivent tenir compte de certains facteurs incertains au moment de la prévision, le premier d'entre eux étant l'incertitude sur les pluies à venir. De ce fait, les incertitudes sur les prévisions ne sont pas négligeables. Les évaluer et les quantifier a bien sûr un intérêt pour les scientifiques et les modélisateurs. Il s'agit de mieux comprendre l'hydrologie du terrain, d'améliorer nos modèles. Au-delà, le but de la présentation d'aujourd'hui est de s'interroger avec vous sur l'intérêt que peut avoir la quantification de cette incertitude en temps réel, d'une part pour les prévisionnistes, mais aussi pour les utilisateurs de ces prévisions, au premier rang desquels les gestionnaires de crise.

En 2012, il a été décidé de se pencher sur la question en publiant sur *Vigicrues* de manière plus systématique des prévisions, et en les accompagnant d'une estimation de l'incertitude qui leur est associée. Pour ce faire, deux groupes de travail ont été organisés :

- Un premier composé de membres du comité scientifique et technique du SCHAPI, devenu depuis le CODORST, qui a travaillé sur des questions scientifiques dont celles de méthodologie d'estimation des incertitudes et de leur représentation.
- Un deuxième, composé de prévisionnistes du SCHAPI et des services de prévision, qui a travaillé sur des questions plus opérationnelles, en allant voir dans un premier temps comment nos homologues dans d'autres pays traitaient le sujet, en identifiant les prérequis

nécessaires pour atteindre l'objectif, et enfin en testant les méthodologies afin de préparer les outils opérationnels.

L'apport de la recherche a été déterminant pour atteindre cet objectif. Il y a bien sûr depuis longtemps de nombreux travaux académiques sur la nature même des incertitudes, leurs origines, la quantification et la réduction. Plus récemment, des travaux pour l'estimation quantitative en temps réel ont été menés dans différents pays, et notamment en France, avec un travail à l'IRSTEA, qui a été mené par François BOURGIN. Ce travail a permis de mettre au point un outil d'estimation automatique des incertitudes, qui prend en entrée une prévision déterministe, c'est-à-dire le type de prévisions que nous avons dans nos services. Cet outil fournit **un abaque** qui donne une estimation de l'incertitude en conditions opérationnelles.

Au-delà de ce travail de recherche, le passage à l'opérationnel a consisté à préparer les équipes, à les sensibiliser, à faire des exercices permettant de se mettre en situation. Il a également consisté à travailler avec les gestionnaires de crise, de manière à présenter la nouvelle information, à en définir le contenu et la forme et à se mettre d'accord sur la manière dont nous allons la transmettre. Enfin, il a été nécessaire de mettre au point un outil qui permettait aux prévisionnistes d'exprimer leur analyse de la situation, et d'aller au-delà d'une simple validation ou rejet des prévisions et d'indiquer le fond de son analyse.

Ainsi, sur le futur site *Vigicrues*, en complément des informations qui s'y trouvent déjà, vous trouverez un affichage des prévisions avec incertitude, sous forme résumée, de manière à ce qu'elle soit d'une part compréhensible, mais surtout utilisable par les destinataires de l'information.

L'enjeu est finalement de donner un sens clair et de le partager entre les producteurs, les prévisionnistes, et les utilisateurs, dont les gestionnaires de crise.

❖ Est-ce une source de complication ? Si oui, en vaut-elle le coup ?

Du point de vue du prévisionniste, l'incertitude n'est pas nouvelle. Ce qui est nouveau par contre, c'est le passage de l'implicite et du qualitatif, où on parle par exemple de « petite » ou « grande » incertitude, vers l'explicite et le quantitatif. Ce passage est forcément source de difficulté au démarrage, mais c'est aussi une formidable possibilité de clarification du dialogue entre nous et les destinataires de l'information, puisque tout le monde ne met pas la même chose derrière le mot « petite » incertitude ou « grande » incertitude. Quand on commence à donner des chiffres, l'information est beaucoup plus simple à transmettre.

Bien sûr, c'est dans un premier temps une source de complication, comme n'importe quelle évolution, puisqu'il s'agit pour les équipes de prendre en main de nouveaux outils, introduits au sein de l'ensemble de la chaîne de production qui va de la sortie des modèles déterministes jusqu'à la publication sur *Vigicrues*, c'est-à-dire les deux outils que je vous ai présenté rapidement.

Pour expliquer le **point de vue du gestionnaire de crise**, nous allons à présent vous parler des événements de mai-juin. Pour le département du Cher, l'évènement commence le 31 mai et va se prolonger dans le temps. Ce qui est intéressant, ce n'est finalement pas de constater que des rivières vont toutes successivement être en crue au niveau du réseau surveillé, mais plutôt le fait d'avoir tenté de construire la gestion de crise la plus adaptée possible : en fonction de ce que nous vivons, nous nous réorganisons et réadaptions au fur et à mesure la gestion de crise. Des réunions de veille se tiennent le 31 mai afin d'apporter de l'aide aux communes dans le nord et l'ouest du département. Dès le 1^{er} juin à 8h du matin, le Centre Opérationnel Départemental (COD) s'organise. Notre vécu de la crise nous amène le 2 juin au soir à renforcer le lien avec les communes, pour augmenter la qualité et la quantité des remontées de terrain qui apparaissent comme tout à fait

essentielles. Enfin, à partir du 5 juin, le vécu du COD devient moins soutenu, mais qui se poursuivra avec la mise en place d'une cellule de veille. Pour la clarté des débats, il faut savoir que la décrue généralisée dans le Cher n'intervient que le 10 juin au soir, avec le passage au vert de la dernière rivière, l'Yèvre. La gestion de la post-crise se poursuivra jusqu'en juillet.

Le COD a plutôt bien vécu les informations neuves du Service de Prévision des Crues (SPC), car il a eu la chance d'avoir avec lui la Direction départementale des Territoires (DDT) au sein desquelles des agents ont été formés *Référent départemental Inondation* (RDI). Ces derniers ont pu exploiter ces informations en « background » pour apporter à Madame la Préfète, directrice des opérations de secours en COD, les informations pertinentes pour prendre les décisions de la manière la plus sereine possible. Et c'est tant mieux parce qu'en crise, il peut exister parfois une certaine tension.

Cet outil a donc été utilisé efficacement en background, mais les remontées de terrain ont également joué un rôle fondamental. Le 2 juin, il y avait 40 cm d'écart à la station de Saint-Doulchard, station très importante car située sur l'Yèvre, rivière qui traverse tout le département et notamment les deux villes principales Bourges et Vierzon. Et ces 40 cm d'écart changent tout car le COD s'interroge le 2 juin au soir : faut évacuer une partie de la ville de Vierzon, avec une fourchette de 0 à 2500 personnes ? A un moment donné, si le COD avait suivi les premières prévisions des modèles, avant que la crue n'arrive, la cellule de crise aurait évacué 650 habitants. Le maire, sur le terrain, s'y est opposé. *In fine* ; les remontées de terrain (et les prévisions suivantes) ont permis de ne pas procéder à des évacuations.

Il me paraissait également important de vous parler de ce que l'on ne peut pas anticiper. Il y a des rivières qui, au-delà du 19^e siècle, n'ont pas connu de crues. La ville de Bourges était connue comme « la ville aux 7 rivières » au Moyen Âge. Certaines ont disparu, mais d'autres existent toujours. L'une d'entre elle, la Rampenne, ne pose habituellement aucun problème et se jette dans l'Auron et le lac d'Auron. Or le 3 juin, alors que nous allions lever la cellule de crise dans la nuit, la Rampenne est sortie de son lit en 10 minutes, pour arriver devant la salle de commande de l'usine électrique de Bourges, qui dessert la moitié de la ville ainsi que quatre communes alentour. La Rampenne a réussi à casser le mur de la salle de commande de l'usine, ce que personne n'avait anticipé. Il a donc fallu gérer cette situation à chaud, sans aucun modèle ni aucune carte. Au-delà des rivières surveillées et pour lesquelles il est possible de s'appuyer sur les SPC, au-delà des cartes d'aléa fournies par ces mêmes services, au-delà des fourchettes dont nous avons parlé, les incertitudes font donc partie intégrante de la gestion de crise. Un second exemple est celui de Vierzon, où nous avons dû gérer une inondation le 4 juin, non directement due à ce que le COD avait anticipé, mais probablement à des petits ruisseaux. Ils ont provoqué une inondation de la Zone d'Activité qu'il a donc fallu évacuer d'urgence.

❖ En conclusion

Quels enseignements tirer de ces événements ? Je souhaite tout d'abord insister sur le fait qu'il s'agit d'un exemple de transfert réussi de la sphère académique vers la sphère opérationnelle, rendu possible par une très forte collaboration et des échanges soutenus entre les services tant centraux que déconcentrés du ministère et les instituts de recherche, et ce pendant plusieurs années.

Par ailleurs, l'information transmise est extrêmement résumée, tout simplement pour qu'elle soit lisible et utilisable rapidement dans un contexte de gestion de crise. Cet outil a été utilisé pour la première fois en situation réelle en juin. Cet événement nous a permis de constater qu'il a été jugé utile, voire très utile, par l'ensemble des départements qui y ont eu accès. Mais il ne faut pas oublier toutes les autres sources d'information, et notamment celles qui viennent des observations du terrain.

► Synthèse des échanges avec la salle

Les échanges avec la salle permettent de préciser que l'estimation de la période de retour est une source non négligeable d'incertitude. Ce constat est renforcé par la problématique du changement climatique, qui ajoute de l'incompréhension. Pour ce qui est de la préparation de la société à l'incertitude, il est noté que les travaux actuels vont dans ce sens. Ce n'est cependant pas forcément la priorité. Il s'agit en effet de s'assurer en premier lieu que les obligations réglementaires (réalisation des PCS) sont bien respectées afin que les dispositifs existants, tel que le plan familial de mise en sûreté, soient mis en œuvre le plus efficacement possible. Enfin, l'importance des remontées de terrains dans la prise de décision est soulignée. Sur des secteurs comme Vierzon (cf. intervention de Barbara HERDNER), la présence d'une multitude de petits affluents rend nécessaire les informations de terrains en plus des prévisions. Par ailleurs, la décision d'évacuer est difficile à prendre parce qu'elle risque de mettre la population dans une situation anxiogène et nécessite parfois la mise en œuvre de certains dispositifs (hélicoptère, etc.). En outre, une population évacuée à tort une fois risque de ne pas accepter de l'être la fois suivante.

► Conclusion : Daniel LOUDIÈRE (Président de la Société Hydrotechnique de France)

Je retiens de ces interventions que communiquer sur l'incertitude en cas de crise, même au niveau de la préfecture, ce n'est pas simple. Il est donc facile d'imaginer que communiquer avec d'autres acteurs à l'extérieur de la sphère publique est encore plus compliqué.

Je souhaite apporter deux réflexions à ce qui vient d'être dit. La première porte sur la réalité ou la réalisation du phénomène redouté. Il faut être très prudent sur l'interprétation. Beaucoup de discussions ont eu lieu en Guadeloupe sur le risque sismique à une autre époque, à l'occasion desquelles beaucoup de choses fausses ont été dites. Dans un phénomène aléatoire avec toutes les incertitudes dont on a parlé, le principe de précaution peut être pris de façon justifiée même s'il n'y a pas eu de confirmation comme redouté.

La seconde c'est que le Schapi, et ça a été dit, va aller avec les SPC vers des informations de plus en plus opérationnelle, mais il est clair que lorsqu'on va vers de cartes, toutes les incertitudes dont on a parlé se cumulent et, il faudra bien que le public et les élus l'admettent, le risque d'erreur est présent. Les décideurs et acteurs du terrain devront en tenir compte.