

Les outils disponibles de la prévention des inondations dommageables

Guy Oberlin

La prévention est ici interprétée comme ce qui permet à la société de réduire les dégâts dus aux inondations dommageables, en intégrant les effets, pervers ou positifs, que cette prévention peut induire, par exemple sur la ressource en eau et les milieux aquatiques. Pour le Janus qu'est l'eau, si les inondations sont un des aspects de sa face négative, les ressources sont un des aspects de sa face positive, et les deux faces sont fortement liées. Cette liaison, piège pervers quand elle est ignorée, pourrait fort bien être exploitée à son avantage par la société, si elle voulait bien y porter l'attention nécessaire, et y affecter des moyens pour la maîtriser.

Parce que les analyses d'inondations dommageables démontrent que les dommages sont essentiellement dûs aux modes d'occupation des sols en lits majeurs (les lits parcourus occasionnellement par des eaux qualifiées d'inondantes), et que ces occupations sont plus ou moins permanentes, la prévention doit prioritairement s'occuper du long terme. Cette note privilégie donc cet objectif à long terme. La prévision à court terme, non dénuée de capacités de réduction des dégâts, et surtout de vies humaines, sera de ce fait plus ou moins négligée ici, ce qui ne préjuge en rien de son intérêt par ailleurs (Givone *et al.*, 1995).

Quelques aspects sociologiques de la prévention : culture et droit

C'est un lieu commun de dire que les inondations ont une connotation largement, sinon exclusivement, négative. Il en est déjà ainsi des crues, même non débordantes. C'est encore le cas des zones

humides, même en dehors de toute période de crue ou d'excès temporaire d'eau.

■ Des comportements parmi d'autres

L'origine de cette confusion entre inondations et inondations réellement dommageables peut être trouvée dans divers traits de notre société. On peut en citer deux, mais il y en a d'autres.

La réduction du champ de la mémoire, soit par réelle inculture, soit comme corollaire de processus de décision de plus en plus menés par le seul court terme ; ceci est assez récent, et apparemment en contradiction avec les potentialités d'information dont dispose la société aujourd'hui, sauf à considérer que trop d'informations peu ou mal interprétées (entre autre par saturation, et par incapacité d'y discerner l'essentiel) puissent conduire aux mêmes impasses que l'absence d'informations.

Les politiques foncières menées, tant par les individus que par les collectivités, dans une perspective qui privilégie les gains à court terme, c'est-à-dire les exploitations des sols localement les plus intensives possibles. Les conséquences à terme sont ignorées, minimisées, ou recouvertes par d'autres priorités, et il en est de même des contraintes « externes », comme l'inondabilité d'une parcelle par exemple !

On peut citer également l'individualisation des prises de décision, y compris collectives quand on passe, par exemple, de l'Etat à la Commune. Cette évolution n'est pas exclusive d'une opposée : faire de plus en plus appel à une collectivité plus large, quand localement et individuellement cela va mal.

Guy Oberlin

Cemagref

3 bis quai Chauveau

CP 220

69336 Lyon Cedex 09

■ *Le cadre juridique actuel de la prévention*

Face à ces réalités de comportement, le législateur a tenté de construire des mesures de prévention, mais jusqu'à présent surtout coercitives. (Gondrand, 1995) : voir encadré.

En réalité, il n'y aura de réduction des dommages, et de réduction des effets pervers de certaines pro-

tections, que si les comportements fonciers changent. Compte tenu de la structure même de la société, largement basée sur la propriété foncière, et sur le droit d'exploiter le sol plus ou moins librement, on comprendra que la prévention des inondations ne pourra être efficace que si elle aborde structurellement cet aspect foncier, et avec un maximum, sinon un luxe, d'arguments convainquants, et pour chacune des longues et nombreuses

Quelques outils juridiques peu ou prou liés aux POS

Les *Plans des Surfaces Submersibles (PSS)*, créés dès 1935, mais peu appliqués (réalisés) en dehors de certains très grands cours d'eau, et souvent peu respectés ; leur présence au POS oblige tout aménageur et exploitant concerné d'en référer à l'administration pour toute nouvelle activité, mais les autorités sont libres de leur décision. Les attendus de cette mesure sont intéressants, et toujours d'actualité : outre la prévention locale, laisser aux cours d'eau de la place pour couler normalement.

L'article du *Code de l'Urbanisme dit R111-3*, créé dès 1961, et destiné à interdire [zone très inondable], ou à soumettre à conditions (mesures de prévention), l'urbanisation des zones à risques, dont les inondables ; peu utilisé, car très contraignant et donc peu populaire, il est structurellement surtout coercitif, et les dispositions constructives en zone intermédiaire y ont été peu développées.

Les *Plans de Prévention des Risques (PPR)*, créés en 1982 et de manière relativement cohérente et complète ; malgré une volonté politique forte, et des moyens de lancement importants, ils ont du mal à s'implanter, pour de multiples raisons : échelle communale inadaptée au phénomène et à sa gestion, trop contraignant et donc trop impopulaire pour une mesure à décision locale (c'est à la commune de demander le PERI...), assiette de prise en charge des coûts confinée au domaine des inondations dommageables locales alors que l'assiette réelle est beaucoup plus vaste (tout le bassin versant, et aspects ressources inclus), manque de maturité vis-à-vis du concept de vulnérabilité analysé de manière déséquilibrée (beaucoup d'analyses de coûts des dégâts, peu de recherches d'interfaçage avec les réalités des phénomènes inondants), etc ; les PERI ont toutefois apporté une avancée significative, en imposant le principe fondamental de désagrégation du risque en ses deux composantes d'aléas (les régimes inondants subis) et de vulnérabilités (les sensibilités à ces aléas), et en portant, sans doute définitivement, le débat de prévention des inondations sur la voie publique ; ils ont également développé de nombreuses dispositions constructives qui restent utiles comme mesures locales de prévention, ou plus exactement de réduction des dommages (DRM, 1990).

Les *Plans d'Exposition aux Risques d'Inondations (PERI)*, initiés en 1994 et pas encore tout à fait définis, veulent tirer les leçons des échecs relatifs des mesures antérieures, dont aucune n'a su freiner les prises de risque en lits majeurs (extraordinaire développement de la vulnérabilité, bien supérieur à la croissance générale, depuis quelques dizaines d'années) ; les PPR devraient d'ailleurs remplacer, et dépasser, les mesures antérieures, ce qui est louable, sinon indispensable, mais évidemment juridiquement complexe ; malgré leur présentation « informative », ils sont prévus pour pouvoir être aussi coercitifs que les précédentes mesures.

Les *documents d'informations sur les inondations*, lancés par la loi de 1987 sur le droit à l'information des citoyens sur les risques qu'ils encourent, se développent plus ou moins parallèlement aux mesures plus contraignantes citées plus haut, et devraient servir les futurs PPR ; on y trouve des *Dossiers Départementaux sur les Risques Majeurs (DDRM)*, des *Documents Communaux de Synthèse* (sur les risques : DCS), des *Documents d'Interventions Communales sur les Risques Majeurs (DICRIM)*, etc, d'ailleurs davantage portés sur la prévision à court terme, l'alerte et la gestion de crise pendant l'événement inondant, que sur la prévention *stricto sensu* ; la complexité même de ce système d'information illustre les difficultés de la société à prendre des mesures efficaces pour prévenir les dommages dus aux inondations.

La *loi dite Barnier de 1995*, dont une des dispositions facilite l'expropriation d'installations en zones à très fort risque (dit certain), et l'indemnisation correspondante, lorsqu'il n'y a pas eu violation flagrante de mesures de prévention antérieures à l'installation.

On cite pour mémoire les mesures d'assurances sur les catastrophes dites naturelles ; bien entendu utiles, sinon indispensables, elles ont eu tendance dans le passé récent, faute de prévention efficace, à être progressivement détournées de leur vocation : au lieu de seulement couvrir les irrégularités des aléas subis, elles sont utilisées pour corriger les effets pervers de prises de risques structurelles et/ou excessives ; ceci retarde d'autant les mesures d'assainissement, et favorise cette prise de risque déraisonnable.

étapes de l'aménagement raisonné du territoire. Il faut aussi que la prévention soit assurée d'une gestion permanente post-décision initiale : beaucoup de bonnes dispositions sont progressivement effacées par le temps, faute de veille vigilante et permanente (Cemagref, 1995).

■ *Et la culture de base ?*

Au-delà, de ces mesures plus ou moins réglementaires, se pose un problème culturel : le fonctionnement normal d'une rivière est trop peu connu, voire oublié. Il en est de même du fonctionnement d'une structure de protection : digue, barrage. Pour ces dernières structures, l'inculture est encore plus forte pour ce qui est de leurs effets pervers, soit sur le risque lui-même (local, mais aussi aval et latéral), soit sur la vulnérabilité (intensifications derrière les digues, par ex.), soit sur les ressources en eaux et sur les milieux aquatiques. On voit même çà et là se développer de véritables spirales « inflationnistes » en vulnérabilités, en particulier au droit ou en aval des structures lourdes (barrages et digues).

Dans un tel contexte, la société est ballotée, et passe alternativement d'un oubli confirmé (quand la dernière inondation est loin), à une fixation subjective (sur l'inondation qui vient de se produire) guère plus efficace, avec en permanence une tendance forte à ignorer ou contourner les règles contraignantes rappelées plus haut.

En résumé succinct, on peut trouver l'origine de ces comportements irrationnels dans la formidable puissance des comportements et réflexes fonciers : défendre à tous prix la valorisation maximale et à court terme de son patrimoine foncier. Les lois ne sont plus respectées et les règles élémentaires de laminage/aggravation des crues ignorées. Pour améliorer cette situation, il paraît nécessaire, d'être plus pédagogique et d'introduire systématiquement des éléments de négociations communs à tous les acteurs.

■ *Quelques perspectives innovantes, hors inondations stricto sensu*

Une perspective de progrès en inondations passe aussi par les progrès en gestion intégrée des eaux, laquelle ne saurait ignorer les crues inondantes, ne serait-ce que parce qu'elles apportent les principaux volumes d'eaux. Les SDAGE¹ et SAGE² qui doivent lancer, puis coordonner et suivre, cette gestion intégrée, pourraient être une des clés d'une meilleure maîtrise du risque d'inondations. Il faudrait pour cela encore un déblocage législatif (les

coûts liés à une meilleure maîtrise des volumes d'eau, surtout ceux des crues, ne sont pas encore mutualisés sous forme de redevances, comme pour les pollutions et la qualité), et aussi vérifier la réelle mise en œuvre de ces dispositions. On ne s'y appuiera donc pas encore dans cette note, malgré des perspectives réellement intéressantes, et sans doute les seules à être fondamentalement cohérentes et réalistes à terme.

Enfin, il semble que le statut fiscal des zones potentiellement inondables, surtout rurales, devrait être modifié pour favoriser les mesures de prévention dans cette catégorie. Le statut actuel pousserait les propriétaires à développer l'intensification de l'exploitation de ces zones. Une adaptation du statut des friches et jachères de la nouvelle PAC³ (variantes « environnementales ») serait une des pistes concrètes. Malgré cette incitation européenne, on ne pourra sans doute pas faire l'économie d'une réforme nationale du statut de ces zones.

On parle aussi de réformer le Code Rural, qui véhiculerait une subtile mais perverse culture d'évacuation des eaux, au lieu d'une culture de rétention (cf. nouveau concept de Ralentissement Dynamique). Il en serait de même du statut des ouvrages de franchissements hydrauliques des talus longitudinaux, dimensionnés selon une règle « impacts zéro », aussi contraignante qu'inefficace par son manque de prise en compte de la diversité des occupations de sols et des vulnérabilités. Par cette règle simpliste, on manquerait une immense niche de rétention (transitoire) raisonnée des eaux en amont de ces talus, rétention qui pourrait jouer un rôle fondamental en gestion raisonnée des inondations, pour réduire les dommages (au lieu de les réduire toutes, sans discernement).

Pour améliorer la prévention : davantage de réalisme vis-à-vis des phénomènes hydrologiques

Parmi les mesures de fond qui permettraient d'ores et déjà de progresser, et de donner aux mesures coercitives de prévention à la fois plus de poids et moins de cas d'applications (par réduction des problèmes et crises), deux mesures innovantes émergent.

La première concerne le développement des éléments concrets et objectifs de négociations autour des volumes d'eau en excès à l'origine des inondations, et donc entre les terrains concernés (qui « hébergent » transitoirement ces volumes).

1. **SDAGE** : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux.

2. **SAGE** : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux.

3. **PAC** : Nouvelle Politique Agricole Commune de l'Union Européenne.

La deuxième consiste à interfacer objectivement les vulnérabilités avec les aléas inondants, croiser aléas et vulnérabilités, et cartographier le tout à des échelles exploitables par la société, politiques foncières incluses.

Mais avant d'aborder ces mesures concrètes, il convient de s'assurer que la réalité des phénomènes est bien comprise, et bien prise en compte. La prévention, qui demande à être respectée dans le temps, doit être fondamentalement comprise, et ses motifs parfaitement assimilés : une prévention ne tient pas devant les appels incessants des sirènes du court terme, des pièges de l'oubli, ou de l'inévitable effritement de la mémoire, si elle n'est alimentée que par l'événementiel, toujours plus ou moins anecdotique, et vite oublié ou édulcoré.

■ L'importance des volumes d'eaux de crues

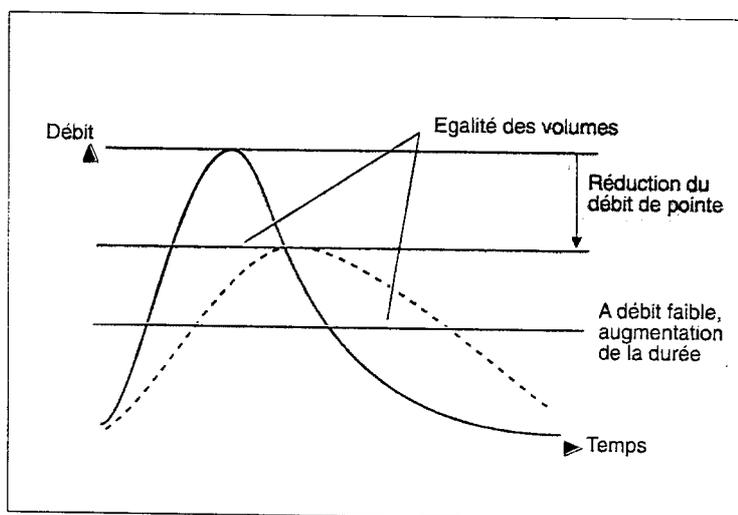
Une première réalité à considérer est la relative énormité des volumes des crues inondantes, par rapport à la taille normale des lits, voire parfois des lits majeurs. Dans la majorité des cas, ceci exige que de vastes surfaces soient transitoirement (de quelques minutes à quelques jours, selon la taille du bassin) sous les eaux. On peut imaginer évacuer ces volumes sans débordements. Ceci exigerait des tailles de lits mineurs en contradiction forte avec les lois hydrauliques, sédimentologiques, et biologiques qui assurent l'équilibre de ces milieux aquatiques et de leurs annexes. Que ces surfaces soient concentrées (cuvettes de barrages) ou diffuses (tout ou partie du linéaire des lits majeurs) est à ce niveau relativement indifférent, sauf à devoir

prendre en compte la croissance continue des débits le long d'un cours d'eau, ce qui fait rapidement diminuer l'efficacité d'une cuvette de barrage quand on s'éloigne vers l'aval. De toutes façons de nombreuses considérations, liées aux effets pervers et irréversibles des barrages, et aux avantages de la diversification, donnent largement l'avantage à la répartition diffuse, qui est une des concrétisations du Ralentissement Dynamique.

■ Des volumes incontournables

Une seconde réalité est liée à la loi fondamentale de conservation de la masse. Hormis quelques cas rares d'échanges nappes-rivières très importants dans le sens rivière vers nappe, et le demeurant sous conditions de fortes crues (nappes phréatiques restant profondes), et hors conditions fortement arides absentes de France (forte évaporation en zones d'épandage), les volumes inondants se conservent pour l'essentiel le long d'un cours d'eau en crues. Ils croissent même en général, par suite des apports latéraux, particulièrement importants en conditions inondantes (développement exceptionnel des surfaces participantes dites saturées, le long des lits). Il en résulte que toute évacuation localement accélérée des crues (lits surcalibrés), localement perçue comme réduisant l'aléa inondant (aux ruptures d'équilibre près : cf. ci-dessus), déplace généralement vers l'aval le problème des excès de volume. Ceci est facile à montrer sur un hydrogramme, ou sur une carte (figure 1 et 2). Même en cas de fortes absorptions par des nappes en amont, les volumes infiltrés finissent par resurgir quelque part en aval (nappes re-affleurant pour des motifs topographiques), où il peut exister des « inondations par débordements de nappes ».

Figure 1. - Représentation temporelle de la loi fondamentale de la conservation des volumes (d'après G. Oberlin et O. Gilard) ▼

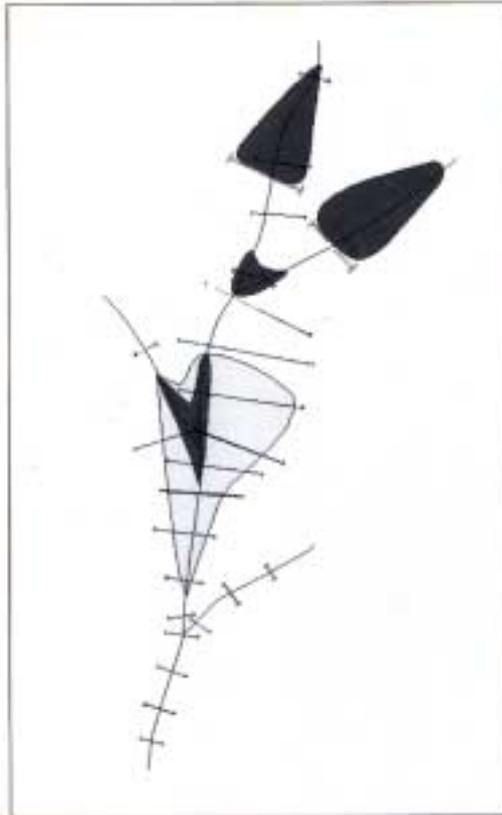


■ Quand tout est presque saturé

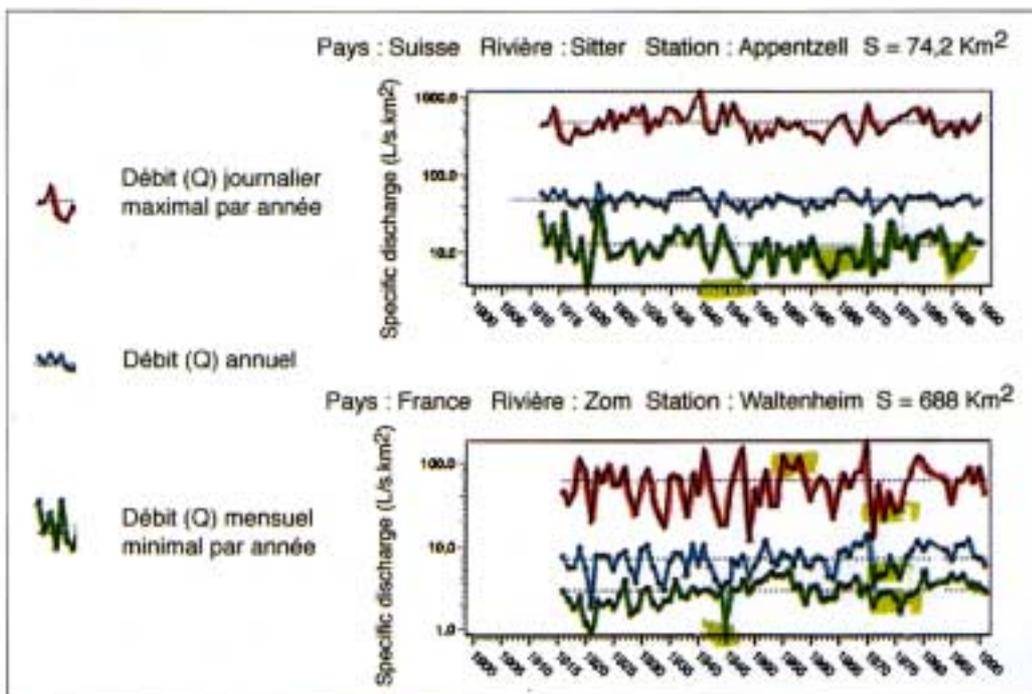
Une troisième réalité est liée aux effets de la saturation des bassins versants sous fortes conditions pluviométriques. Quelles que soient les couvertures de sols et les petits aménagements hydrauliques amont (versants), et même sous forêts dense et sur sols à forte rétention, les versants finissent par se saturer. Certes, la vitesse d'écoulement des eaux, et les transports solides ou chimiques associés, seront modérés sur des sols bien recouverts, perméables et rugueux, par rapport à des sols lisses, nus ou imperméabilisés. Mais les volumes ne seront pas très différents si tout est saturé. De plus, s'agissant des modifications du régime hydrologique des crues induites par des modifications dans

les bassins versants (leurs sols, leurs versants), il faut également rappeler une réalité forte : ces influences peuvent être importantes en conditions d'écoulement moyen et de crues faibles, mais elles s'effacent le plus souvent en conditions de crues fortes (saturations... cf. ci-dessus). A ceci s'ajoute une réalité spatiale : le pourcentage de surfaces modifiées dans un bassin décroît fortement lorsque la taille du bassin croît. En outre, les effets hydrologiques se neutralisent en partie par eux-mêmes vers l'aval (diffusion hydraulique auto-développée en aval d'une accélération).

Il résulte de tout ceci que, en moyenne, les régimes hydrologiques sont relativement stables, au moins pour les crues fortes, et dans les bassins moyens à grands (figure 3). Cette réalité principale n'admet actuellement qu'une exception : lorsque les modifications concernent non plus les seuls versants et les petits bassins, mais la propagation des volumes dans les cours d'eau moyens à grands. Certains aménagements des lits et vallées, telles les modifications significatives des débitances des lits mineurs, et en corollaire des zones de parcours/stockage des eaux en lits majeurs peuvent avoir des effets significatifs, en aval, et sur grands bassins. Si des aménagements de ralentissements volontaires se généralisaient demain sur l'ensemble



◀ Figure 2. - Représentation spatiale de la loi fondamentale de la conservation des volumes (d'après G. Oberlin et O. Gilard)



◀ Figure 3 - La relative stabilité des régimes hydrologiques, même en bassins plutôt anthropisés. (d'après des travaux du Groupe AMHY de FRIEND ébauchés à l'échelle européenne)

des sols, versants et petits bassins amont d'un grand cours d'eau, l'effet de cumul pourrait alors faire se conserver les modifications jusqu'en aval, et s'ajouter à, ou compenser celui des aménagements hydrauliques manipulant localement de gros volumes.

On peut traduire cette réalité un peu complexe en disant que les régimes hydrologiques des fortes crues sont plutôt stables, mais que les régimes hydrauliques, surtout en lits majeurs sont plutôt sensibles aux aménagements des lits, locaux et amont.

■ **Stabilité des régimes et irrégularité des événements**

Une quatrième réalité forte est celle de la compatibilité et de la cohérence entre une forte irrégularité inter-annuelle des événements, et cette relative stabilité des régimes des crues citée plus haut. Le sens commun, le plus souvent soutenu par l'information des médias, affirme le contraire, et il n'est d'inondations provoquant des dégâts dommageables où quelqu'un ne se gausse de telle crue supposée centennale qui se produit pour la seconde fois en quelques années, quand ce n'est pas de la seconde décennale de la même année !

A l'origine de ces malentendus il y a d'abord une profonde incompréhension du processus d'épicentrage : les crues se produisent avec une certaine indépendance spatiale, malgré des dépendances spatiales, et des persistances temporelles, liées aux échelles et conditions synoptiques des épisodes pluvieux. Il est donc normal que des crues millennales se produisent en France plusieurs fois par an ; mais en des endroits quelconques, c'est-à-dire partout... ce qui inclut d'éventuelles répétitions locales !

Il y a ensuite un biais dans les informations diffusées : pendant que l'on parle de la seconde crue décennale de l'année sur la rivière A, on ne parle pas de la rivière B qui entame son 3^e siècle sans crue centennale ! Or, toutes les analyses confortent les régimes tels qu'ils sont estimés aujourd'hui, et malgré de larges incertitudes, et certains biais (sous-estimation des précipitations locales, entre autres), ils sont d'ores et déjà largement exploitables par la société, et surtout utiles pour progresser en prévention des inondations. Auraient-ils, à titre d'exemple caricatural, encore une erreur de l'ordre de 50 %, ils seraient déjà très efficaces si la société fait encore des erreurs de 500 % dans sa prise en compte des inondations.

Les conséquences pour la société de ces irrégularités interannuelles, même en régime stable et connu, se résolvent très bien *via* les procédures d'assurance et de mutualisation des risques : elles sont faites pour cela. La seule précaution à prendre est d'équilibrer ces systèmes sur une assiette suffisamment large pour assurer leur stabilité (minimiser les irrégularités interannuelles). On peut également mieux mesurer les prises de risques, qui sont localement extraordinairement diversifiées. Si le premier point est assez correctement assuré, dans le système actuel dit de catastrophes naturelles, le second point est actuellement complètement défaillant, et cette lacune est très certainement perverse, et à l'origine de beaucoup des difficultés et blocages actuels.

Quelques outils disponibles favorables à la prévention, via une culture du risque et le respect des réalités

Dans ce qui suit, on présentera quelques outils scientifiques et techniques disponibles. Ils sont susceptibles de servir l'émergence d'une réelle culture de prévention des inondations dommageables. En effet, pour affronter efficacement les réflexes fonciers encore actuels, une prévention doit être fondée sur des réalités solides. Alors seulement, elle peut faire progressivement prendre en compte par la société les aspects risques et ressources des eaux de crues, de telle sorte que progressent simultanément la réduction des dommages et les bénéfices que les ressources en eaux, et leurs milieux aquatiques, peuvent tirer des épisodes de crues. Une fois ces réalités présentent dans l'esprit des riverains et des décideurs, la mise en œuvre des mesures réglementaires peut devenir efficace et respectée.

Une option fondamentale est à la base de ce qui suit : selon la définition fondamentale diffusée par la Délégation aux Risques Majeurs (DRM) lors du lancement des Plans d'Exposition aux Risques d'Inondations (PERI) en 1982, un risque devrait être le résultat d'un croisement entre un aléa et une vulnérabilité, et non réduit au seul aléa.

■ **L'interface avec les demandes sociales**

La clé est donc ici une définition convenable de la vulnérabilité aux inondations. On supposera que la demande sociale est liée à cette vulnérabilité, laquelle sera donc plus ou moins subjective ou

raisonnée, selon le degré d'intégration de ces deux aspects. A l'origine, la vulnérabilité avait surtout été définie à partir des dégâts matériels recensables (dédommagements payés, estimations des dégâts, etc). C'est l'époque des travaux du bureau BCEOM (avant les PERI), de la SAGERI (post-PERI) et plus récemment du Cergrene, ce dernier introduisant à juste titre des éléments non directs, tels les dommages, voire avantages, induits ailleurs que sur les parcelles inondées concernées, ou subjectifs tels que « gêne », pressium doloris, pertes « affectives » irrécupérables, etc, recensés dans la thèse de J.-P. Torterotot (1995), et dans le cadre du projet européen EUROFLOOD.

Mais quelle que soit la qualité de ces analyses, et les tentatives de synthèse qui ont été faites (par ex. départementalisation de ratios d'endommagements par la DRM), il manquait un chaînon important : un interfaçage objectif et rigoureux avec les aléas, ou des éléments d'aléas. Faute de cela, le croisement cité entre aléa et vulnérabilité est resté très subjectif dans les PERI. C'est là qu'est intervenu le Cemagref, qui a proposé de définir l'interface, côté hydrologie/hydraulique, par des aléas élémentaires d'eaux inondantes : durée d^4 , profondeur p^5 , vitesse V^6 et fréquence F^7 des eaux inondantes au lieu considéré. On choisit des « valeurs maximales supportables » pour ces aléas, d'une part, pour des raisons économiques (surprotections trop chères), mais surtout pour des questions d'équité (surprotection là, sous-protection induite ailleurs) et d'effets pervers potentiels sur les ressources (évacuation de la ressource vers l'aval, forte perturbation du milieu aquatique). Ces phénomènes sont induits par les aménagements qui résulteront de l'éventuelle satisfaction ultérieure, aménagements induits par l'analyse d'inondabilité, de ces demandes de protection. On définit ainsi des couples « durée-fréquence », ou « vitesse-fréquence », ou « profondeur-fréquence », ou des triplets (quadruplets) qui en sont des combinaisons. Par exemple pas plus de p en profondeur d'eaux inondantes, pour une fréquence maximale, exprimée généralement en période moyenne de retour T . Le choix de ces paramètres physiques de la vulnérabilité, notés d^{*4} , p^{*5} , V^{*6} et F^{*7} (pour les différencier des d , p , V et F des vrais aléas du régime hydraulique subi), dérive soit des pratiques antérieures, soit de vœux ou normes actuels ou futurs, soit de considérations subjectives, soit de coûts supportables, soit d'optimums de ratios de type « réduction de coûts/coûts prévention », etc. Les estimations monétarisées sont

très délicates à manipuler car de nombreux coûts externes ne sont pas intégrables, voire pas monétarisables. Et le tout serait encore plus complexe si on introduisait, conformément à la réalité (y compris juridique : les SDAGE (s)), les coûts/bénéfices induits sur les ressources en eaux, et sur la qualité des milieux, par ces niveaux de vulnérabilités (s'ils étaient satisfaits...) (Desbos, 1995).

Compte tenu de la diversité spatiale des vulnérabilités, et des diverses manières dont elles peuvent être estimées selon ces variables d^* , p^* et autres aléas*, il est indispensable qu'elles soient localement synthétisables en une variable représentative unique. Celle-ci doit être cartographiable sans ambiguïté, pour caractériser rigoureusement et univoquement la vulnérabilité de tout lieu (parcelle). C'est par exemple ce qui est fait dans le modèle INONDABILITE : par sa variable dite Taux d'Objectif minimal de Protection⁸ (TOP), les doublets, triplets et quadruplets d'aléas* locaux maximaux acceptables précédents sont transformés, *via* un modèle synthétique du régime local des crues dit QdF⁹ (voir ci-dessous), en un « débit » équivalent siglé QIEO¹⁰ : débit Q Instantané maximal, Équivalent à l'Objectif de protection local requis (figure 4). Le TOP est tout simplement la période moyenne de retour T de ce débit QIEO. L'origine de ce choix (débit instantané équivalent) est liée à la manière de cartographier synthétiquement les aléas subis (le régime des débits inondants) par le débit « juste inondant » du lieu concerné (cf. la variable TAL¹¹ définie au dessous). Lorsque les définitions locales des aléas* sont multiples, soit structurellement (un bâti, ou un verger, ont des vulnérabilités différentes selon p), soit en phase d'essai de cette méthodologie (on peut ne pas savoir comment choisir la « meilleure » définition de la vulnérabilité, ou ses critères les plus pertinents), et puisque la modération d'exigence de sécurité est la règle (cf. les contraintes générales amont/aval), on retiendra localement, sans guère de risque d'effet pervers (sécuritaire), le TOP le plus exigeant, c'est-à-dire le plus grand.

■ Les modèles de synthèse en hydrologie

Mais que sont ces modèles synthétiques dits QdF qui seraient capables de transformer en un scalaire local unique les approches plus ou moins heuristiques proposées en vulnérabilités ?

Quand on examine une chronique de débits, on est d'abord frappé par son aspect chaotique, tant inter-

4. **d** : Durée (locale), d^* : durée maximale acceptable (élément physique d'interprétation de la vulnérabilité)

5. **p** : Profondeur (locale); p^* : profondeur maximale acceptable (élément physique d'interprétation de la vulnérabilité).

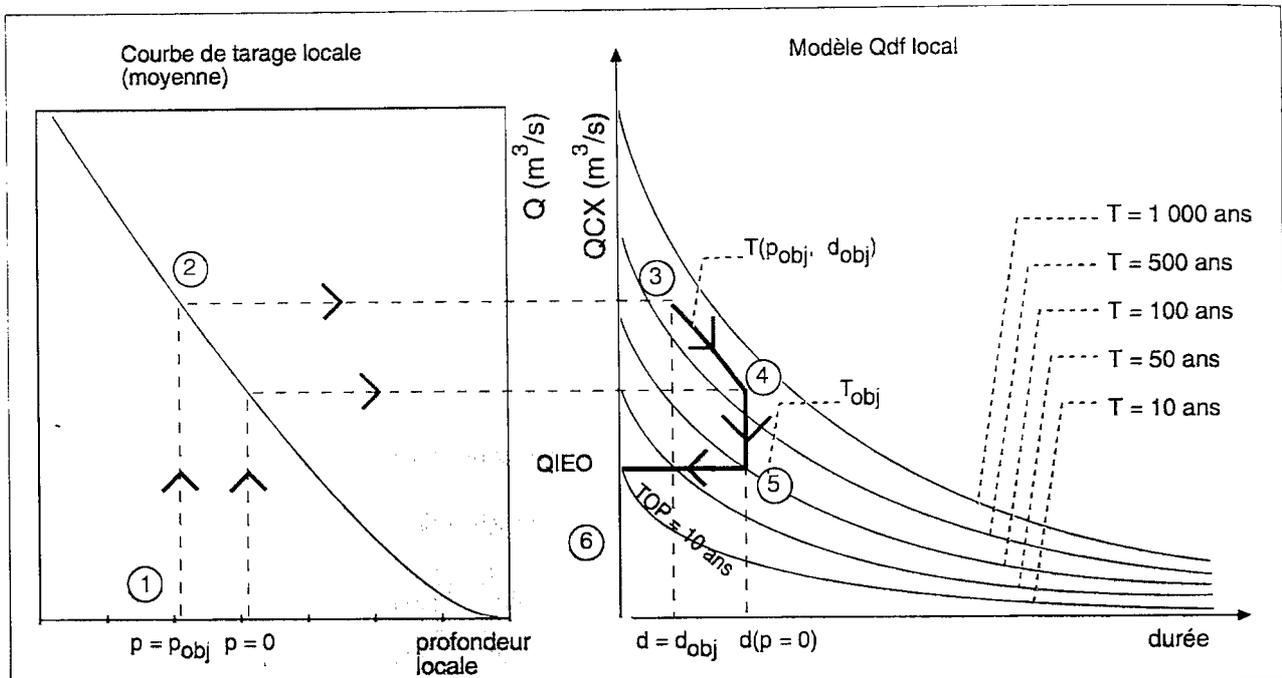
6. **V** : Vitesse locale de l'eau inondante; V^* : Vitesse maximale acceptable (élément physique d'interprétation de la vulnérabilité).

7. **F** : Fréquence au non-dépassement; F^* : Fréquence maximale acceptable (élément mathématique d'interprétation de la vulnérabilité); $F1$: Fréquence ou dépassement, $F1 = 1-F$; N.B. : F croît, et $F1$ décroît, avec l'exigence de protection.

8. **TOP** : Taux d'Objectif minimal de Protection; norme quantifiée et cartographiable représentant synthétiquement la vulnérabilité (la sensibilité) aux inondations telle qu'elle résulte d'approches socio-économiques, ou réglementaires, ou de normes/recommandations, etc...; construit à partir de valeurs-seuils, supposées supportables (selon calculs économiques ou autres choix : cf ci-dessus), des aléas élémentaires inondants (cf TAL : F , d , p , V , pour l'instant).

9. **QdF** : Modèle hydrologique de synthèse, représentatif des régimes, en Débits Q , durées d et Fréquence F .

10. **QIEO** : Débit Q Instantané Équivalent à l'Objectif de protection minimale demandé.



▲ Figure 4. - Illustration de la transformation d'un triplet de demande minimale de protection (p^*, d^*, F^* ; «*» noté « obj. » ici) en la variable locale unique et cartographiable TOP, grâce à un modèle de synthèse QdF en débit-seuils (d'après O. Gilard).

11. **TAL** : Taux d'Aléa ; norme quantifiée et cartographiable représentant synthétiquement les aléas inondants (à ce jour : Fréquences F , durées d , profondeurs p , et dans les cas favorables vitesses V , des eaux inondantes) d'un lieu donné.

12 **AGREGEE** : Modèle synthétique récent d'estimation des crues rares à partir de la connaissance des crues observables (ou simulables), des observations historiques, des rapports entre les volumes et les seuils (de débits), et des fortes pluies (extension et généralisation du modèle dit du GRADEX), connu de plus longue date.

annuel qu'intra-annuel. On peut filtrer fortement ce signal par extraction de variables socialement sensibles, les extrêmes, en seuils et en volumes, sur toutes durées continues. On peut alors résumer ces chroniques par des courbes dites « débits Q - durées d , fréquences F » qui ont des propriétés tout à fait remarquables. Elles sont beaucoup plus simples, cohérentes entre elles (entre seuils et volumes, entre durées successives, etc), et, surtout, lorsqu'on les norme par des variables bien choisies représentatives des conditions locales du régime des crues, elles présentent d'étonnantes propriétés de validité spatiale, donc de représentativité du régime des crues le long d'un cours d'eau, ou dans un grand bassin. Des modèles (adimensionnels) ont donc été calés sur ces courbes normées, des recherches ont été menées pour connaître localement les paramètres locaux cités, et tout ceci a été appliqué à la connaissance probabiliste des crues, c'est-à-dire non plus aux seuls événements ou chroniques datées en t (temps courant), mais aux « quantiles » caractérisés par T , période moyenne de retour. On est ainsi capable, moyennant une panoplie très réduite de tels modèles, de caractériser en « durée-Fréquence » à peu près n'importe quel débit, et donc régime, de crues, même si les erreurs sont encore importantes lorsqu'il y a localement des lacunes de connaissances.

Pour les pluies, les modèles IdF (I, pour Intensité des pluies) sont connus dans leurs principes de longue date. Leur régionalisation est en cours, et bien qu'encore suspectés de biais (sous-estimation des pluies rares), ils sont opérationnels, et déjà suffisamment précis pour rendre service à la société, y compris pour les inondations rares et extrêmes.

Quand on passe du temps courant t à la probabilité en T , et qu'on exploite ceci pour les inondations, on est obligé d'estimer aussi les débits Q (et les pluies P) pour des T plus ou moins rares, souvent hors de portée des observations ou des modèles hydrologiques pluie-débits ($Q(P)$) courants. Là aussi, des outils de synthèse existent à présent. Ainsi le modèle dit AGREGEE¹² peut aussi être interprété au sens commun de son sigle : une agrégation de sous-modèles, chacun adapté à un domaine où il est pertinent, et le tout également adaptable aux us et coutumes de l'utilisateur, ce qui en fait un modèle particulièrement œcuménique, et de ce fait assez bien accueilli un peu partout. Grâce à de tels outils, les modèles de synthèses QdF sont également disponibles dans le domaine des crues rares et extrêmes. Le difficile mais nécessaire passage des débit-volumes (variables de base) aux débits-seuils et aux débits de pointe (à la base des vulnérabilités, mais aussi des hydrogrammes de si-

mulation des inondations : cf. ci-dessous), est également à la portée de modèles de synthèse de type AGREGEE (compositions de lois non normales, partiellement et variablement liées).

On retiendra que la méthodologie d'une couverture totale en connaissance des crues d'un bassin (cours principal, affluents, surfaces participantes latérales diffuses, et ce à toutes échelles, etc) est d'ores et déjà disponible grâce aux modèles hydrologiques de synthèse. Leurs incertitudes sont encore plus ou moins grandes selon les bassins et les régimes, mais leurs résultats sont déjà assez pertinents pour initier des usages opérationnels et à objectifs socio-économiques, en particulier en prévention des inondations (Galéa, Prudhomme, 1995).

■ Les outils hydrauliques

Si l'on veut être capable d'analyser la satisfaction ou la non-satisfaction des demandes raisonnées et minimales de protection, *via* cette vulnérabilité exprimée selon les aléas* élémentaires introduits ci-dessus, il faut être capable de connaître les divers aléas réels subis en tous points de la zone inondée concernée. Cette connaissance fine et diversifiée des aléas inondants passe en principe par une modélisation hydraulique, seule capable de simuler toute crue, c'est-à-dire toute probabilité T. Les crues observées et les événements historiques passés servent à caler et à vérifier ces modèles. On peut à la rigueur se contenter de ces aléas historiques, mais on aura du mal à leur affecter des probabilités T réalistes, et on sera plus ou moins incapable de simuler des scénarios futurs, ou des aménagements hydrauliques, ou des modifications sur les bassins versants, ou encore des variantes d'occupations de sols.

Pour que ces connaissances passent bien dans la culture des nombreuses personnes concernées, soient assez solides pour fonder des décisions toujours difficiles, et puissent être mises à jour en continu il est utile, sinon nécessaire, de disposer de bons Modèles Numériques de Terrain (MNT), c'est-à-dire d'une topographie suffisante en précision. Les technologies d'aujourd'hui le permettent, et à des coûts raisonnables, surtout si on considère l'assiette réelle d'amortissement de ces coûts : souvent bien plus large que celle, apparente, du commanditaire local et conjoncturel d'une telle analyse (par ex. le syndicat des travaux hydrauliques). Outre une précision adaptée aux besoins,

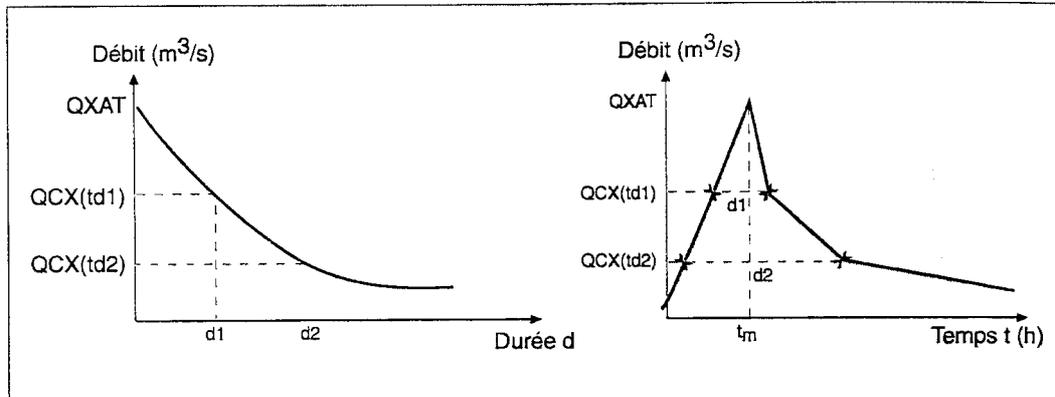
on dispose en même temps de l'outil de cartographie requis pour les aléas, les vulnérabilités (en aléas* et/ou en TOP), et les futurs affichages (des risques) et aménagements (éventuels) induits. Des MNT spécifiques de la problématique de prévention des inondations sont d'ores et déjà disponibles (Farissier, 1993).

Les noyaux de ces modèles (équations hydrauliques de type St-Venant *et al.*) ont déjà de fortes potentialités, par exemple d'estimation des profondeurs et champs de vitesses V en lits majeurs (Giammarco *et al.*, 1994), (Paquier *et al.*, 1995) ; mais il reste des progrès importants à faire, en particulier en validation des vitesses locales ainsi estimées. En outre, lorsque les propagations locales en lits majeurs sont significativement « en retard » par rapport à la propagation générale de la crue, et de plus non pas simplement décalées, l'interprétation de ces vitesses locales V en termes d'aléas élémentaires (cf. ci-dessus) ou de vulnérabilités (cf. ci-dessus) devient délicate : leur représentativité par un débit équivalent (comme le QIEO déjà cité), pour les accrocher au régime (et donc aux fréquences) demande encore à être confirmée, bien qu'elle soit déjà connue comme convenable pour l'aléa de profondeur p, et excellente pour l'aléa de durée d (Paquier, 1994).

Ces modèles hydrauliques, *a priori* transitoires, sont alimentés par des hydrogrammes représentatifs du régime des crues. Dans le modèle INONDABILITE, on utilise des opérateurs synthétiques dits HSMF¹³ (Hydrogramme Synthétique Mono-Fréquence), construits avec des débit-seuils, mais cohérents avec les débit-volumes (figure 5). Pour pouvoir interpréter les sorties (résultats) de ces modèles de manière à la fois réaliste et claire en probabilité T, il faut les alimenter de manière très structurée en débits amont et latéraux, et résoudre les problèmes de dérives en fréquence éventuellement ainsi introduits (approches dites par compositions mono-fréquences), ou disposer d'une connaissance suffisante du régime du cours principal concerné (approches dites par différences). On comprendra que les modèles synthétiques cités se prêtent à ces résolutions, à défaut d'éliminer ces problèmes d'emblée.

Dans la méthodologie INONDABILITE, parce que les vulnérabilités élémentaires sont synthétisées sous la forme d'un débit instantané équivalent (QIEO) et de sa probabilité (TOP, en fait une période moyenne de retour de ce QIEO), assimilable à un

13 **HSMF** : Hydrogramme Synthétique Mono-Fréquence, opérateur représentatif du régime des crues qui, bien que non assimilable à un hydrogramme réel, permet la cartographie des aléas inondants (d, p, éventuellement V) en les caractérisant localement en Fréquence F en n'importe quel point du lit (majeur).



▲ Figure 5. – Un opérateur représentatif du régime des crues qui autorise une cartographie des aléas selon leur fréquence propre : l'Hydrogramme Synthétique Mono-Fréquence HSMF, dérivé d'un modèle de synthèse QdF en débit-seuils (d'après O. Gilard).

maximum de crue, les aléas subis seront également synthétisés localement sous la forme simple d'un débit instantané : celui « juste inondant » du lieu, également assimilable à un maximum de crue. La période moyenne de retour de chacun de ces « débits juste inondants » est siglée TAL (comme Taux d'ALéa ; ancien sigle TRIN, abandonné car moins pédagogique), et cartographiée comme élément de synthèse des aléas pour tout point de la zone inondable. Ceci suppose, de même d'ailleurs que la traduction en TOP des vulnérabilités exploitant les aléas élémentaires V (vitesse) et p (profondeur), qu'en tout point de cote z au moins une loi de tarage locale $Q(z)$ ou $Q(p)$ (p et z sont strictement liés) adaptée soit connue. On retient en principe celle des cotes maximales à débit donné, car il peut y en avoir plusieurs à cause de phénomènes transitoires, nombreux pendant une crue. Si V est réellement utilisé, il faut en outre connaître les relations locales $V(z)$ ou $V(p)$, parfois complexes comme déjà indiqué plus haut. Toutes ces tâches sont facilitées s'il y a mise en œuvre d'un modèle hydraulique, et moins commode en cas de limitations aux seules observations locales de crues passées.

On voit donc que, moyennant un effort de mise en œuvre d'un modèle hydraulique performant (transitoire, à deux dimensions, « 2D », si réellement nécessaire et que le champ des vitesses peut être validé, avec un MNT spécifique et détaillé, etc), les aléas inondants subis peuvent être correctement estimés et représentés. A défaut de modèle hydraulique, les observations d'inondations passées peuvent partiellement initier (mais pas achever, ni nuancer, ni adapter) une connaissance des aléas déjà exploitable en

prévention. Mais un modèle hydraulique transitoire en 2D reste un objectif souhaité dans tous les cas et qui devrait se développer (le marché de l'eau en a largement les moyens).

Pour assurer les futures mises à jour, tous ces modèles (hydrauliques, MNT, QdF, *et al.*) devraient être implantés localement, par exemple dans une structure de gestion du cours d'eau concerné : présentement un Syndicat, ou le SEMA¹⁴ de la DIREN¹⁵, ou une Direction Départementale ; plus tard dans un service de la CLE¹⁶ du futur SAGE ?

■ Les cartes

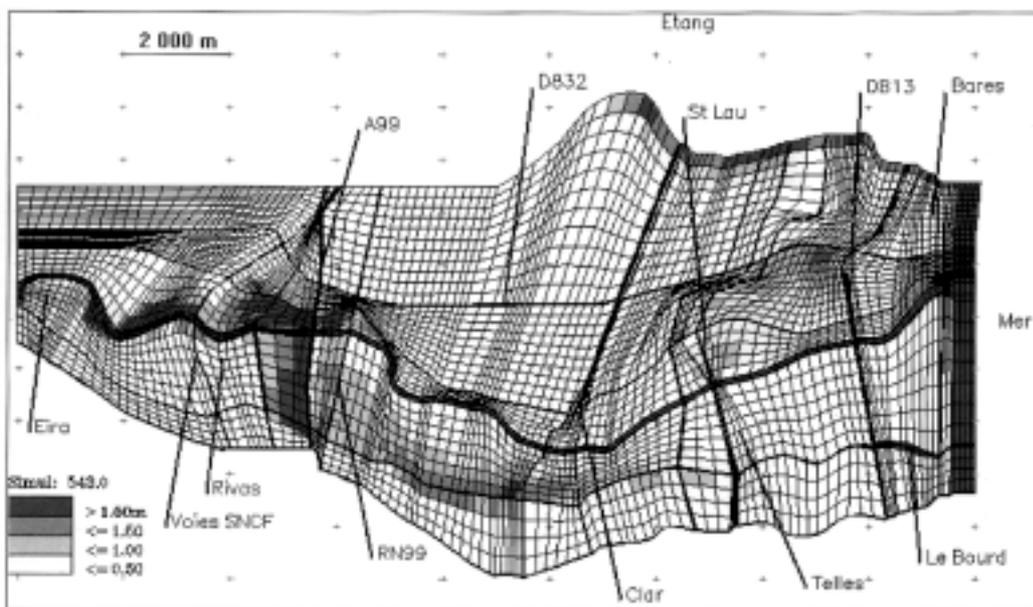
On a déjà montré ci-dessus les efforts à faire pour cartographier, avec la précision nécessaire. Celle-ci peut être variable avec l'objectif et les données/moyens disponibles, mais il y a rapidement une perte de pertinence au sens de la prévention, si l'échelle des cartes est insuffisamment précise, et il y a un risque fort de contestation si l'échelle de la carte est trop fine par rapport à l'incertitude des résultats affichés. Il faut donc choisir l'échelle optimale avec soin, et ceci dépend des données et connaissances localement disponibles.

Les meilleurs *fonds topographiques* sont les cartes dérivées des MNT spécialisés cités plus haut, et générés à partir de sections en travers sélectionnées sur des critères hydrauliques, et interpolés de manière également « hydraulique ». Les résultats sont bien meilleurs que l'interprétation d'une topographie indifférenciée, type « interpolation de semis de points ». Les deux peuvent évidemment se compléter. La restitution cartographique des aléas inondants est très lisible avec de tels MNT (figure 6).

14. **SEMA** : Service d'Eau et des Milieux Aquatiques (d'une DIREN).

15. **DIREN** : Direction Régionale de l'ENvironnement.

16. **CLE** : Commission Locale de l'Eau (pour un SAGE).



▲ Figure 6. – Exemples de cartographie des aléas inondants, tels que sortis d'un modèle transitoire 1D ou 2D, construit sur un MNT spécifique, et alimenté en Hydrogrammes Synthétiques Mono-Fréquence HSMF. (d'après A. Paquier et P. Farissier).

L'échelle la plus recommandée est de l'ordre de quelque (s) millièmes (s), le 1/1000^e (le foncier est souvent représenté au 1/500^e) semblant être à ce jour le plus précis réellement testé. Au 1/5 000^e, c'est parfois encore assez précis. Au 1/10 000^e, c'est toujours utile en aménagement et en planification, mais la pertinence pour le foncier (parcelles petites et moyennes) devient limite. Le 1/25 000^e ne sert pratiquement qu'en planification intercommunale, sinon régionale. Dans certains cas, on renonce à cartographier en plan, et on se contente de caractériser le linéaire du cours d'eau (toutes échelles), en différenciant RD et RG (Rive Droite et Gauche), et en définissant très grossièrement et globalement les aléas en lits majeurs en fonction des seules fréquences des débits dits de plein bord (juste débordant), souvent fortement variables le long du cours, et différenciés entre RD et RG. Il existe pour ce dernier cas une procédure dégénérée d'INONDABILITE dite « DIMensionnement MInimal (optimal) des LIts MIneurs », et siglée DIMILIMI¹⁷.

Les cartes d'aléas peuvent être synthétiques (dans INONDABILITE, représenter le TAL local, en tout lieu), ou désagrégées/interprétées par aléa élémentaire

pour représenter les profondeurs, les vitesses, etc, des eaux inondantes. La représentation des étendues maximales inondées selon les fréquences (toutes plages, de la 1^{ère} inondante à la plus rare modélisable : au moins la millennale) est équivalente à la carte des TAL (par définition des TAL, cf. ci-dessus). Il est conseillé d'utiliser des couleurs bleues pour ces représentations d'aléas. Une carte d'aléas est toujours à dater, car elle est très liée à un état donné du réseau hydrographique (secondairement, à celui du régime des crues). On peut rajouter aux cartes d'aléas des cartes représentant des crues historiques connues, mais il faut rappeler que ce peut être un piège (cf. ci-dessus). La bonne utilisation, objective et équilibrée, des crues historiques est dans l'estimation des crues rares (par ex. AGREGEE les exploite bien), dans le calage des modèles hydrauliques, dans l'illustration pédagogique, etc, mais c'est généralement une erreur de prendre les historiques comme critère de définition des aléas, quelle que soit la réalité psychologique réelle qu'elles puissent représenter pour la société : une crue historique est très rarement représentative du régime des crues, et ne représente qu'un jeu de fréquences pour chacun de ses débits. Par exemple la ville de Vaison la Romaine et les riverains de l'Ouvèze feraient une erreur... historique,

17. **DIMILIMI** : Version dégradée (très simplifiée) du modèle INONDABILITE, dans les cas où on se contente de comparer le seuil de débordement d'une section de lit mineur (les deux rives, droite RD et gauche RG, étant différenciées), pris comme TAL, à la vulnérabilité la plus élevée de la (demi) section (RD ou RG) du lit majeur prise comme TOP. Peut être améliorée en ne se limitant pas au mineur, en travaillant sur le Delta = TOP-TAL, et en caractérisant la section par le Delta le plus négatif (risque local le plus fort), la réduction de ce dernier (au risque maximal acceptable) permettant aussi d'en dériver une débitance minimale du mineur de cette section. Adapté aux petites échelles ne permettant pas la cartographie en plan (2D) mais seulement en linéaire (1D) le long du cours d'eau.

18. **Delta** : Ecart local entre TAL et TOP, caractérisant (en écart de fréquence, transformable en hauteur d'eau) la marge relative de protection, ou le déficit relatif de protection, que donne le TAL local par rapport au risque maximal acceptable (TOP).

en aménageant leur lit majeur vis-à-vis de la seule crue historique du 22/09/92 : cette crue n'était pas du tout représentative du régime de l'Ouvèze (entre autres, relativement modeste en volume pour les durées supérieures à quelques heures).

Les *cartes de vulnérabilités* peuvent être synthétiques (dans INONDABILITE, représenter le TOP local, en tout lieu), ou éventuellement désagrégées en aléas élémentaires maximaux acceptables, mais c'est difficile. Il est par exemple structurellement difficile de représenter la durée de manière explicite en fréquence, ou cela peut prêter à confusion. On recommande donc très fortement, en vulnérabilité, la seule carte des TOP d'INONDABILITE. Cela n'empêche nullement d'avoir en annexe des cartes d'occupations des sols, etc. Les couleurs jaunes sont recommandées. Des essais ont été faits pour représenter directement les doublets ou triplets des aléas maximaux acceptables (*), avant leur transformation en TOP par les QdF, mais c'est plus ou moins illisible et inutile.

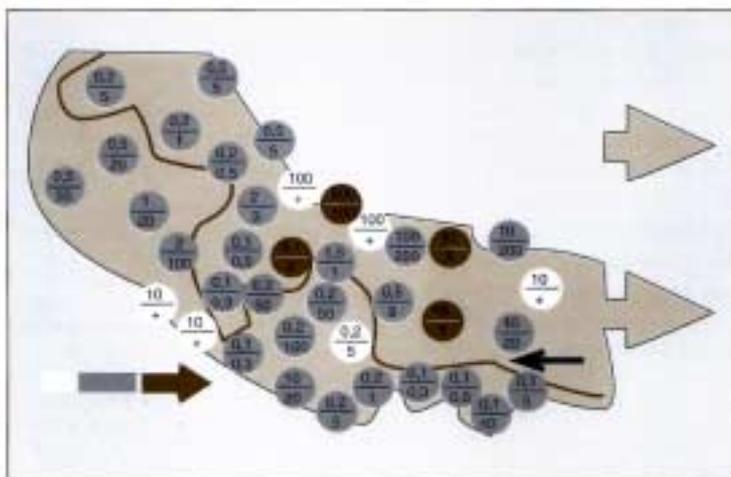
Les cartes de risques, résultant du croisement des précédentes, exploitent généralement les couleurs vertes (risque acceptable) et rouges (risque inacceptable), avec diverses nuances. Dans INONDABILITE, on peut opérer fréquence par fréquence,

mais on peut aussi se contenter (conseillé) de la carte de synthèse qui affiche localement (et donc cartographie) la « mesure » de l'écart local entre les représentations synthétiques des vulnérabilités et aléas : $\Delta = \text{TOP} - \text{TAL}$ (figure 7). Quantifié d'abord par des périodes moyennes de retour (ans), ce qui peut suffire à donner une mesure symbolique de la sur-sécurité, ou de la sous-sécurité, relatives du lieu (par rapport au risque maximal acceptable), il est conseillé de traduire ce Delta en volumes d'eau. On rappelle en effet que, les TOP et TAL étant liés à un débit (respectivement, le QIEO et le débit juste inondant du lieu), et une courbe de tarage locale adaptée $Q(z)$ ou $Q(p)$ étant disponible, les TAL et TOP peuvent être représentés par des niveaux (p ou z , p éventuellement négatif), et comme tout est continûment cartographié, l'intégration de la différence de niveau liée à Delta donne des volumes, en excès (sous-sécurité) ou en « creux » relatif (sur-sécurité par rapport au risque acceptable), cœur de la négociation de gestion/aménagement qui suivra le diagnostic fait (voir « notes » P. Givone et O. Gilard).

On notera, pour la bonne pédagogie de la prévention, les capacités remarquables de la boîte à outils INONDABILITE pour illustrer l'évolution du risque quand on parcourt l'échelle des fréquences, depuis la première crue inondante jusqu'à la crue extrême simulée. Le jeu des couleurs est tellement parlant, qu'il est prévu d'élaborer un *outil multimédias à fin pédagogique*. De même, la rigueur et l'objectivité des concepts, variables et résultats sont suffisamment complets et cohérents pour envisager une *version « aménageurs » sous montage vidéo interactif* (sur écrans de calculateurs), pour les décisions opérationnelles et les choix d'aménagements (occupations sols, travaux hydrauliques, etc). (Oberlin, 1994). Enfin, les qualités remarquées du couple « simplicité-richesse » des affichages d'INONDABILITE ne sont pas le fruit d'un heureux hasard, mais le résultat d'une sélection rigoureuse de niveaux de modélisation bien adaptés aux objectifs poursuivis (figure 8).

Cette liste d'outils de prévention n'est évidemment pas exhaustive. Elle a été en partie sélectionnée dans une optique INONDABILITE : pour le modèle *stricto sensu*, mais aussi pour les concepts qu'il utilise et qu'il n'est pas le seul à utiliser. On peut relever par ailleurs et à titre d'exemple, dans le projet siglé AFORMIS et surtout dans le travail

Figure 7. – Exemple de carte de synthèse issue d'INONDABILITE (rappel : TRIN = TAL). La négociation qui va conduire à la réduction des risques jusqu'à un niveau acceptable et plus équitable se fera entre les gestionnaires des parcelles rouges et vertes : déplacements de volumes d'eaux par aménagements hydrauliques (modification des aléas), ou modification des vulnérabilités/occupations des sols. (d'après M. Lang et LHF). ▼



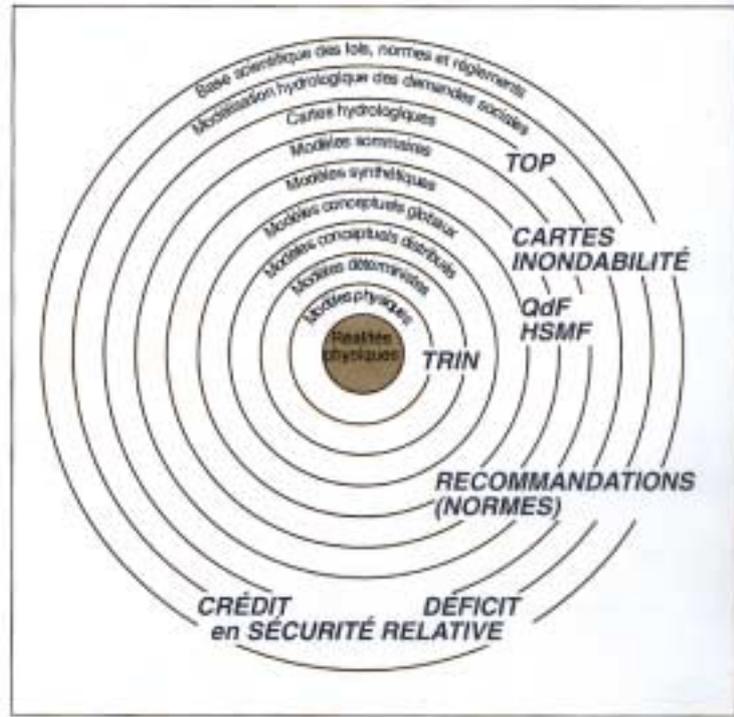
personnel d'un des participants (Consuegra, 1992), des approches qui ont des parentés avec celles exposées ici. Bien qu'AFORISM soit d'abord dédié prévision (à court terme), il contient des éléments de gestion des volumes en cours de crise inondante qui peuvent contribuer à une culture, et à des outils, de prévention. Il a toutefois un degré de complexité, et donc un coût et des incertitudes de mise en œuvre, qui le rendent moins adapté à une méthodologie de référence, ce qui est une des ambitions d'INONDABILITE en maîtrise des crues et en gestion quantitative des eaux continentales.

Dialectique prévention/prévision : synergie ou neutralisation ?

Si les comportements étaient suffisamment rationnels, et la culture suffisamment développée vis-à-vis des réalités des crues inondantes, prévention et prévision se complèteraient harmonieusement, voire développeraient de réelles synergies :

- exploitation commune des données et connaissances, pour caler les modèles et procédures respectifs ;
- compréhension meilleure, et surtout plus rapide (et lors d'une inondation, toute minute compte...), des messages de prévision et d'alerte, lorsque la cartographie des risques, avec ses annexes désagrégées (cartes des vulnérabilités et des aléas, elles-mêmes éventuellement désagrégées) est disponible, voire connue et assimilée ;
- expériences de prévision alimentant régulièrement les connaissances nécessaires en prévention, et permettant une mise à jour et un progrès constant de cette dernière...

Malheureusement, la réalité est très loin de ce schéma idéal. De plus, la crise (un événement inondant), de par sa dimension spectaculaire et médiatique, alimente directement, et régulièrement, le besoin de prévision à court terme, et ceci gêne les diagnostics rationnels et « à froid » qui montreraient, sans hésitation possible, que la clé de réduction de ces crises est d'abord dans une réelle prévention. Les besoins fondamentaux en prévention sont donc non seulement peu servis par la prévision, mais encore parfois même neutralisés : puisque des efforts sont (exagérément) faits en prévision, et que les moyens sont bien sûrs limités, comme partout, les besoins en prévention sont plus ou moins marginalisés (Gilard *et al.*, 1993).



Pour progresser, il faut peut-être montrer l'exemple du risque d'incendie. Si personne ne met en question l'existence et la nécessité de disposer de pompiers pour assurer les secours et la gestion de crises, il ne viendrait pas non plus l'idée de contrer la réalité suivante : les progrès réalisés en réduction des dégâts dus aux feux sont, pour l'essentiel, liés à la prévention. Qu'il s'agisse de l'éducation (culture...) des personnes, des dispositions architecturales, du développement de matériaux ininflammables, des interdictions d'allumer des feux sous fort vent ou dans une raffinerie ou dans une grange, de la réduction de l'usage des matériaux combustibles, etc, la prévention est omniprésente, et relativement comprise et respectée.

Le présent exposé a essayé, par un choix de présentation d'outils de prévention clairs et aisés d'interprétation, d'apporter sa contribution au rétablissement d'un meilleur équilibre entre prévention et prévision, et à une meilleure crédibilité de la prévention. En corollaire, mais aussi pour ne pas allonger ce texte, la prévision ne sera pas traitée ici. Elle est d'ailleurs pour l'essentiel assez bien connue, utilisée et respectée, en synergie avec une autre prévision également bien rentrée dans notre

▲ Figure 8. - Choix des niveaux de modélisation, pour les sous-modèles d'INONDABILITE, dans la panoplie disponible en hydrologie (rappel : TRIN = TAL). (d'après G. Oberlin et E. Lama-Desbos)

culture : la prévision météorologique. Cette dernière possède en outre quelques-unes des clés de la prévision à court terme des crues, en particulier par son volet de prévision des pluies.

Ceci posé et rappelé, une piste de progrès sera de mener conjointement des opérations de prévision et de prévention. En France, une tentative a été annoncée sur le bassin de l'Ardèche dans le cadre des projets sous le XI^e Plan Etat-Région Rhône-Alpes (programme sur les risques naturels). Pour l'instant stoppée (seul le volet prévision a été retenu : cf. syndrome cité plus haut), elle pourrait démarrer rapidement si elle était soutenue par un maître d'ouvrage motivé. En Europe, on a déjà cité AFORISM, un projet soutenu dans le cadre du programme Climat et Environnement de la Commission Européenne (Recherches) et qui, bien que ciblé prévision, a fait une place aux aspects de prévention et de cartographie des risques.

Conclusions, et conséquences sur les ressources en eau et les milieux aquatiques

Pour le spécialiste des cours d'eau, qu'il soit hydrologue, hydraulicien, aménageur, hydrobiologiste ou... pêcheur, le comportement de la société (en général) vis-à-vis de l'exploitation des sols des lits majeurs est tout à fait incompréhensible. Pour le riverain, propriétaire, ou exploitant, ou promoteur délégué, c'est le comportement de la rivière qui paraît incompréhensible. Or, un riverain peut être hydrologue, ou hydraulicien, ou aménageur, ou... pêcheur. Alors d'où vient l'apparente contradiction ? Sans nul doute de la force des réflexes de gestion foncière, fondamentalement individualistes, et donc structurellement inadaptés à la réelle prise en compte de contraintes de type environnemental.

La puissance publique a essayé, depuis des décennies, de légiférer ou réglementer, pour imposer ces prises en compte environnementales aux particuliers et aux petites collectivités. Leur relatif échec est patent. Pour progresser, il faut donc d'abord développer une culture scientifique convaincante sur les réalités des inondations et de leurs dégâts, puis reformuler les règles contraignantes, sans doute indispensables, en tenant compte à la fois des réalités et du niveau culturel des utilisateurs concernés. Mais ce n'est sans doute pas suffisant, car la gestion foncière reste un des moteurs du dévelop-

pement, et plus simplement de la vie et de la survie, même sans ambition d'expansion. Pour tenir compte de cela, même dans un contexte de prévention retrouvée et de culture redéveloppée, il faut aussi mêler la prévention à cette gestion foncière, et pourquoi pas en termes marchands, comme pour la majorité des aspects économiques du foncier. On aura compris, à l'issue de cette note et de la présentation de certains outils de prévention, qu'il peut exister une sorte de marché foncier du risque d'inondations :

- volumes de crues en excès, et terrains d'accueil de ces volumes, à négocier entre riverains et collectivités ;
- aménagements à faire, y compris d'augmentation des inondations là où c'est acceptable, et négociable (et négocié !) ;
- assurances et mutualisations à développer, y compris en risques fréquents (hors catastrophes exceptionnelles), pour les zones d'épandages maintenues ou développées ;
- entre collectivités plutôt urbaines et collectivités plutôt rurales, avec en prime une des rares perspectives de contribuer à équilibrer les termes des échanges entre ces deux catégories ;
- etc.

Tout ceci n'est pas utopique : il existe des collectivités territoriales qui ont développé des mesures de ce genre, sans soutiens, ni de l'Etat, ni de la loi, en toute responsabilité et autonomie (par exemple sur la Haute Dives, en Basse Normandie). Mais cet aspect de négociabilité, et sans doute d'obligation de négocier (pour dépasser les blocages liés aux interdits), est à la fois innovant et vaste : il fait donc l'objet d'une réflexion spécifique (cf. « notes » Givone et Gilard).

Un autre aspect, non approfondi ici, mais qu'il faut au moins citer, est le lien fort entre la gestion des crues (inondantes), celle des ressources, et celle des milieux aquatiques en général. Les recommandations d'épandage maximal (au regard d'aléas supportables, définis par réalisme et pour l'équité entre riverains) et diversifié (par opposition aux concentrations dans les seules cuvettes de barrages-écrêteurs), issues de la plupart des mesures de prévention (mais tout particulièrement des analyses de type INONDABILITE), et qui induisent en corollaire une débitance plutôt modérée, voire réduite, des lits mineurs, sont à l'évidence très favorables aux ressources en eaux et aux milieux

aquatiques. Il est hors de propos ici de lister ces avantages, mais ils sont si forts qu'il est proposé, dans les futures règles de gestion intégrée des eaux telles qu'elles émergent des SDAGE (s) et de leurs futurs SAGE (s), de fonder la gestion quantitative sur ces épandages maximaux de crues, en lits plus ou moins naturels. Ceci a conduit au concept de « Ralentissement Dynamique » des eaux continentales dans leurs milieux, concept de gestion à vocation plus ou moins généralisable. En fédérant ainsi tous les besoins dans cette espèce de « règle d'or » universelle, on donnerait à la gestion intégrée des ressources, et des risques associés dont l'inondation, le point omega et l'objectif fédéra-

teur qui seront sans doute nécessaires pour rassembler tous les intervenants, pour passer des intentions aux actes, et pour respecter dans le temps les décisions prises (Oberlin, 1994).

Les exemples déjà cités de préventions réussies, souvent plus ou moins indépendants des textes réglementaires, mais plutôt liés à une solidarité forte et réaliste de bassin, montrent que les outils de prévention ont plutôt l'avenir devant eux. Ce sera bon pour la réduction des inondations dommageables, mais ce pourrait donc aussi être bon pour les ressources en eaux et pour leurs milieux aquatiques. □

Résumé

La prévention des inondations dommageables dispose de longue date de nombreux outils, essentiellement réglementaires. Ils semblent peu employés, ou peu efficaces. Pour expliquer cette situation, on avance d'abord l'hypothèse de lacunes en compréhension des phénomènes, et de lacunes en éléments de négociations. Cette situation résulte aussi du fait que la prévention opère dans un domaine socio-économiquement très dur, puisqu'il touche aux réflexes fonciers. Pour progresser et sortir des impasses actuelles, on présente d'abord l'intérêt des nouvelles modélisations de synthèses des connaissances en hydrologie, et des outils performants de l'hydraulique, pour mieux informer tout le monde et en permanence. On présente ensuite les nouveaux concepts qui autorisent tout à la fois l'expression diversifiée des demandes, leurs traitements objectifs vis-à-vis des aléas inondants, et la cartographie synthétique de l'ensemble qui pousse et soutient la négociation. Ces nouvelles approches pourraient faire faire un saut qualitatif à la prévention. En outre, leur liaison structurelle avec la gestion des volumes des crues, rapprocherait la prévention des inondations dommageables de la gestion intégrée des eaux continentales, marché d'avenir possédant une assise économique considérable.

Abstract

For a long time there have been damaging flood prevention measures, mainly statutory. They appear to be little used or ineffective. One explanation is the lack of understanding of the events involved and lack of tools to be used in negotiations. This situation also obtains because preventive measures are applied in a very difficult socio-economic situation where land-ownership issues are involved. To make progress and resolve the current deadlock, it is important to use new models for analysing hydrological information and powerful hydraulic equipment to keep everyone continuously informed. New concepts are then derived which permit requirements to be expressed in various ways and to be treated objectively with regard to the flood hazards. They also enable all the interlocking considerations to be drawn together to help and support negotiations. These new approaches could make a qualitative step forward in prevention. Moreover, as they are linked structurally with flood volumes management, this would move flood damage prevention nearer to integrated continental water management, a goal for the future which is of considerable economic interest.

Bibliographie

- AFORISM, 1995. Project, final report. UE/CE/DG XII XII (Recherche), Programme Climat et Environnement (EPOCH), Climatologie et Risques Naturels.
- Cemagref, 1995. Programme Fédérateur sur les Risques, 1er rapport d'étape. *Rapport* au Ministère de l'Environnement (voir en particulier l'opération 1.4 dans l'action 1., et les opérations 2.1 et 2.5 dans l'action 2.).
- CONSUEGRA, D., 1992. Concept de gestion des eaux de surface : aspects méthodologiques et application au bassin versant de la Versoye en Suisse, *Thèse* de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- DESBOS, E., 1995. Qualification de la vulnérabilité du territoire face aux inondations, *Rapport* de DEA en Techniques urbaines, Cemagref et Insa Lyon.
- DRM, 1990. Les études préliminaires à la cartographie réglementaire des risques naturels majeurs, Editions de la Documentation Française.
- EUROFLOOD, 1994. Project final report (phase 1). UE/CE/DG XII (Recherche), Programme Climat et Environnement, Climatologie et Risques Naturels.
- FARISSIER, P., 1993. Etude d'un modèle cartographique adapté à la simulation des écoulements en rivières, *Thèse* de l'Université de Lyon.
- GALÉA, G., PRUDHOMME, C., 1995. Notions de base, concepts et philosophie de la recherche à l'origine des modèles de synthèse QdF, *Note interne*, Cemagref Lyon, soumise à Sciences de l'Eau.
- GIAMMARCO, P.-D., *et al.*, 1994. Combining a 2-D Flood Plain Model with GIS for Flood Delineation and Damage Assessment, *Colloque* « Modelling of flood propagation over initially dry areas », Milan juin 1994, Université de Bologne et EPF Lausanne (IATE, IGR).
- GILARD, O., *et al.*, 1993. Les crues de septembre 1992 dans le sud de la France : réflexions autour de la gestion des inondations, Conference on coastal and river engineering, Loughborough University, UK.
- GIVONE, P., *et al.*, 1995. La prise en compte du risque d'inondation, *Ingénieries-EAT*, n° 2.
- GONDRAND, P., 1995. Typologie des cartes utilisées en gestion du risque d'inondations, *Mémoire* d'Ingénierie en Environnement, Lyon III.
- OBERLIN, G., 1994. Contribution à une gestion intégrée des eaux continentales, une protection raisonnée et négociée contre les inondations, Journées du Palais d'Iéna, Académie des Sciences (CADAS), et Conseil Economique et Social.
- OBERLIN, G., *et al.*, 1993. Une méthode globale pour la gestion rationnelle des zones inondables : le programme INONDABILITÉ, *Sècheresses*, n° 4-3, pp 171-176.
- PAQUIER, A., 1994. La simulation des crues rapides, XXIII^{ème} Journées de la SHE, Nîmes.
- PAQUIER, A., *et al.*, 1995. Etude des inondations dans le bief aval de l'Agly, *rapport d'étude* CNARBRL et DDE 64, décembre 1995, Cemagref Lyon.
- TORTEROTOT, J.-P., 1993. Le coût des dommages dus aux inondations : estimations et analyse des incertitudes, *Thèse* de l'ENPC Paris.