



Le Coût du risque ...: l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations

Gilles Hubert, Bruno Ledoux

► To cite this version:

Gilles Hubert, Bruno Ledoux (Dir.). Le Coût du risque ...: l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pp.240, 1999, 978-2-85978-321-1. hal-01180163

HAL Id: hal-01180163

<https://hal.science/hal-01180163v1>

Submitted on 24 Jul 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Sous la direction de
Gilles HUBERT et Bruno LEDOUX

***LE COÛT DU RISQUE...
L'ÉVALUATION
DES IMPACTS
SOCIO-ÉCONOMIQUES***

Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée, notamment dans l'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).

© 1999

ISBN 2-85978-321-0

Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées

28, rue des Saints-Pères
75007 Paris

SOMMAIRE

Avant-propos	1
--------------------	---

ÉTAT DE L'ART ET SAVOIR-FAIRE

Introduction	5
--------------------	---

Chapitre 1 - L'évolution des approches d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations

1. L'expérience française	7
1.1. L'évolution des approches d'évaluation	8
1.2. Les phénomènes physiques considérés	11
1.3. Les impacts examinés	12
1.4. Les approches développées	14
1.5. Les méthodes mises en œuvre	16
1.6. Remarques	16
2. Un regard sur quelques pratiques étrangères	16
2.1. La situation en Angleterre	17
2.2. La situation aux Pays-Bas	19
2.3. La situation en Allemagne	20
2.4. La situation en Amérique du Nord	22
3. Les principaux enseignements d'une analyse du savoir-faire	23
3.1. Similitudes et différences	23
3.2. Confrontation des expériences et transferts de méthodes	24
4. Conclusion	25
Éléments de terminologie	27

Chapitre 2 - Les évaluations *a posteriori*

1. Les expériences disponibles	29
1.1. Un nombre de travaux restreint	30
1.2. Quelques études récentes	31
1.3. L'absence de retour d'expérience	32
2. Réflexions méthodologiques sur les évaluations <i>a posteriori</i>	33
2.1. Les différents modes d'évaluation	34
2.2. Les différents impacts évalués	35
3. Quelques enseignements et résultats significatifs	38
3.1. Les principaux enseignements	38
3.2. Les principaux résultats	39
4. Conclusion	42

Chapitre 3 : L'évaluation de la vulnérabilité et des enjeux

1. Éléments de réflexion sur les concepts d'enjeux et de vulnérabilité	45
1.1. L'analyse de la vulnérabilité	45
1.2. L'appréciation des enjeux	47
1.3. L'exemple de la vulnérabilité des activités	49
1.4. L'analyse des effets des inondations sur l'économie et le développement local	50
2. D'une analyse de la vulnérabilité à une évaluation des enjeux, le cas de la cartographie réglementaire	52
3. L'analyse de la vulnérabilité dans le cadre de la méthode « Inondabilité »	55
4. Conclusion	58

Chapitre 4 - Les évaluations *a priori*

1. L'organisation d'une démarche type	60
2. Les modalités d'analyse et d'évaluation des impacts <i>a priori</i>	63
2.1. Les impacts humains	63
2.2. Les impacts à l'habitat	64
2.3. Les impacts aux activités agricoles	69
2.4. Les impacts aux activités industrielles, artisanales et commerciales	73
2.5. Les impacts aux équipements	78
2.6. Les impacts aux réseaux	79
2.7. Remarques	82
3. L'automatisation du calcul des dommages	83
3.1. Les outils de calcul	84
3.2. Quelques résultats chiffrés	86
4. L'utilisation des résultats d'une évaluation <i>a priori</i>	88
Conclusion	91

EXEMPLE ET ÉTUDES DE CAS

Préambule	109
-----------------	-----

Les évaluations *a posteriori*

L'étude économique des crues du bassin de l'Orb de décembre 1995 et janvier 1996	111
Bernard DARTAU (Conseil général de l'Hérault)	
L'évaluation des impacts économiques et financiers de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988	115
Claire ARNAL, Philippe MAZURE (BRGM)	

L'évaluation de la vulnérabilité et des enjeux

La méthode « Inondabilité »	123
Nicolas GENDREAU (CEMAGREF)	

Les évaluations *a priori*

L'évaluation de l'impact des ouvrages existants et futurs sur les dommages liés aux crues de la Seine et de la Marne en région Ile-de-France	129
Jean-Louis RIZZOLI (IIBRBS)	
L'outil d'aide à la décision développé dans le cadre de l'étude Seine	135
Laurent GAZULL (Stratégis)	

L'évaluation des enjeux et des dommages liés aux inondations de la Loire moyenne	139
Claire DEVAUX-ROS (Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature)	
L'évaluation des dommages des crues de l'Orne dans l'agglomération caennaise	143
Henri DUMAY (BCEOM)	
L'analyse des désordres et des dommages aux réseaux	149
Pierre DESGRANGES (Territoire Conseils Associés)	
L'évaluation des dommages à l'agriculture	153
Yann LAURANS (ASCA)	
L'évaluation des dommages aux activités industrielles, commerciales et artisanales	165
Bruno LEDOUX (BLC)	
L'impact des inondations sur la fiscalité locale	169
Bruno ROUDIER (EDATER)	

EXEMPLES DE PRATIQUES ÉTRANGÈRES

Préambule	175
Evaluating the socio-economic impacts of flooding. The situation in England and Wales	
Edmund PENNING-ROUSELL (Middlesex University)	177
Evaluating the socio-economic impacts of flooding. The situation in the Netherlands	191
Herman WIND (Twente University)	
Evaluating the socio-economic impacts of flooding. The situation in Germany	201
Reinhard SCHMIDTKE (Technical University of Darmstadt)	
L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations.	
La situation en Amérique du Nord	213
Bruno LEDOUX (BLC)	
Bibliographie	221
Liste des participants	229

AVANT-PROPOS

L'inondation est sans conteste le risque naturel qui fait le plus de victimes et de dégâts à travers le monde. En France, 4 % du territoire métropolitain est concerné et deux millions de personnes, environ, sont potentiellement exposés. En moyenne, les dommages annuels sont évalués entre un et deux milliards de francs, ce qui représente 0,4 % du Produit Intérieur Brut. Ces quelques chiffres, que l'on trouve régulièrement dans la littérature consacrée au sujet, montrent l'importance du phénomène.

Une politique de prévention et de protection contre les inondations est issue de choix collectifs et individuels concernant le niveau de risque acceptable pour la société. La connaissance des enjeux liés à l'occupation des sols en zones inondables et des impacts socio-économiques liés à la survenance d'événements catastrophiques occupe une place importante pour la gestion de ce risque. Elle constitue une aide à la prise de décision publique, qu'elle soit de nature préventive (que faut-il faire pour protéger un secteur à risque ?), curative (le coût d'un ouvrage de protection est-il acceptable au regard des bénéfices attendus ?) ou réparatrice (quelles indemnisations verser pour les dommages survenus après une crue ?).

Depuis la fin des années 1960, de nombreuses études et recherches ont été réalisées pour estimer les impacts socio-économiques des inondations. L'ensemble de ces travaux n'a jusqu'à présent fait l'objet d'aucun bilan. Cet ouvrage ambitionne de combler ce manque. Il vise à faire un état des lieux du savoir-faire en matière d'évaluation et une analyse critique des démarches employées. Sur un plan opérationnel, il pose les bases d'une terminologie commune et fournit une aide à la définition d'études à venir et à la conduite d'évaluations.

Toutefois, cet ouvrage ne constitue pas un catalogue des méthodes ni des théories économiques qui sous-tendent les évaluations. Il s'agit plutôt d'un document pratique à destination des maîtres d'ouvrage d'étude et de leurs prestataires de service. À l'aide d'exemples, il met en avant les points forts et les faiblesses des évaluations menées sur le terrain, les difficultés méthodologiques rencontrées, ainsi que les types d'impact pris en considération dans les évaluations. Précisons que les impacts examinés sont essentiellement liés aux effets des inondations sur les biens mobiliers et immobiliers, sur les personnes, sur l'économie locale et les activités (agriculture, commerce, industrie et artisanat), sur les infrastructures et les réseaux. L'évaluation des impacts environnementaux des inondations n'est pas abordée dans le cadre de cet ouvrage.

Trois partenaires ont soutenu la réalisation du présent document :

- le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (direction de la prévention des pollutions et des risques, sous-direction des la prévention et des risques majeurs) ;
- l'Agence de l'eau Seine-Normandie ;
- l'Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine.

L'élaboration de ce livre a été menée en deux étapes. Un travail de réflexion préalable a été conduit durant le second semestre 1998. Il a donné lieu à l'établissement d'une bibliographie sur le sujet, l'analyse d'études de cas exemplaires et la rencontre de commanditaires d'études (État, Agences de l'eau, collectivités territoriales...) et de prestataires de services (bureaux d'études, laboratoires de recherche). Il a été complété par une série d'expertises sur les pratiques développées dans trois pays européens (Angleterre, Hollande et Allemagne) et en Amérique du Nord. Cette analyse préliminaire a permis d'organiser, avec l'aide de Ponts Forma-

tion Édition, un séminaire de travail qui s'est tenu les 12 et 13 janvier 1999 à l'École nationale des ponts et chaussées, à Paris. Cette rencontre, construite autour de la présentation d'études de cas, a rassemblé des représentants d'organismes publics et privés ayant mis au point et/ou appliqués des méthodes ainsi que des représentants d'institutions à l'origine des demandes d'évaluation. Elle a été l'occasion de « mesurer » le niveau d'adéquation entre offre et demande d'évaluation, de mettre en avant les acquis et les manques en la matière, tant du point de vue des techniques et des outils mis en œuvre qu'au niveau des données à mobiliser. La richesse des débats durant le séminaire a permis de compléter nos réflexions sur le sujet.

Ce livre, dont la composition reflète la démarche de travail adoptée, est divisé en trois parties auxquelles sont adjointes des annexes.

La première partie constitue un état des lieux des connaissances. L'analyse critique du savoir-faire actuel en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations permet ainsi de mettre en évidence les acquis méthodologiques et les limites des démarches qui sont mises en œuvre sur le terrain.

La deuxième partie rassemble l'ensemble des communications faites au cours du séminaire qui s'est tenu à Paris en janvier 1999.

La troisième partie regroupe les textes complets des expertises réalisées sur les trois pays européens (Angleterre, Hollande et Allemagne) et sur l'Amérique du Nord. Pour les trois premiers pays, les textes sont en langue anglaise.

La bibliographie établie au cours de ce travail, le programme du séminaire et la liste des participants sont placés en annexe.

Pour conclure cet avant-propos, il nous reste à remercier l'ensemble des personnes qui ont soutenu et apporté leur contribution à la réalisation de cet ouvrage.

ÉTAT DE L'ART ET SAVOIR-FAIRE

INTRODUCTION

La première partie de cet ouvrage dresse l'état des lieux des pratiques d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations. Elle est composée de quatre chapitres et d'une conclusion.

Le premier chapitre est consacré à l'évolution des approches d'évaluation depuis la fin des années 1960 à nos jours. Il montre en particulier sur quelle base et comment s'est constitué le savoir-faire en la matière. L'analyse de la situation française est ensuite mise en regard des pratiques de quelques pays étrangers, connus pour leur expérience dans le domaine considéré : l'Angleterre, les Pays-Bas, l'Allemagne et l'Amérique du Nord. Cette confrontation permet de souligner les points communs et les différences les plus significatives en terme de méthodes de travail, d'objectifs et de contenus des évaluations.

Les chapitres suivants présentent les trois grandes familles d'évaluation qui ont été mises en évidence. La classification qui est proposée ici repose sur deux critères interdépendants : la place de l'évaluation par rapport à l'événement d'inondation (avant ou après une inondation) et les objectifs de cette évaluation (établir le bilan socio-économique post-catastrophe, étudier les enjeux et mettre en évidence la vulnérabilité des zones exposées, estimer des dommages potentiels...). Ces différents chapitres sont illustrés à l'aide d'exemples qui, pour la plupart, ont été présentés au cours du séminaire (voir partie 2).

Le chapitre 2 concerne les évaluations dites « a posteriori », c'est-à-dire intervenant à la suite d'inondations vécues. Elles ont pour objet d'analyser les impacts socio-économiques d'une ou plusieurs crues historiques ou d'un événement survenu récemment.

Le chapitre 3 est consacré à l'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité. Ce type de démarche constitue en quelque sorte une alternative à une estimation classique des dommages. Elle peut être menée en amont ou à la place d'un calcul monétaire des impacts socio-économiques.

Le chapitre 4 porte sur les évaluations dites « a priori », qui permettent de simuler les impacts d'événements potentiels. Elles sont réalisées par exemple préalablement à un projet d'aménagement et/ou pour définir une stratégie globale de gestion du risque.

La conclusion de cette première partie s'intéresse au rôle des évaluations socio-économiques en tant qu'élément d'aide à la décision pour la gestion du risque d'inondation. Elle propose des pistes de réflexion pour faire progresser le savoir-faire et renforcer la place de ces évaluations dans un processus d'étude devant déboucher sur des actions concrètes.

Chapitre 1

L'ÉVOLUTION DES APPROCHES D'ÉVALUATION DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES INONDATIONS

Les événements d'inondation produisent des effets très divers sur les sociétés et les milieux naturels. L'évaluation de leurs impacts fournit des éléments d'aide à la décision permettant d'orienter ou de faire évoluer la politique publique de prévention des risques et de protection contre les inondations.

L'objet de ce chapitre est de réaliser un bilan du savoir-faire en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations en France et dans quelques pays étrangers. Cette analyse permet de mettre en évidence la constitution progressive d'un corpus de connaissance, les acquis méthodologiques mais aussi les faiblesses des approches qui sont actuellement mises en œuvre.

L'examen de situation française est complété par un tour d'horizon des pratiques des pays suivants : Angleterre, Pays-Bas, Allemagne et en Amérique du Nord. À l'issue de cette présentation, différents enseignements sont mis en exergue.

Ce premier chapitre constitue un cadre général qui permet d'introduire les chapitres suivants, ainsi que les différentes communications présentées lors du séminaire. Il est également l'occasion de « fixer » le vocabulaire utilisé tout au long de l'ouvrage. À cet effet, les principaux termes employés sont définis à la fin du chapitre (voir encadré).

1. L'EXPÉRIENCE FRANÇAISE

L'expérience française a été analysée à partir d'un travail bibliographique¹ et d'une série d'entretiens auprès de maîtres d'ouvrage (qui commanditent des évaluations) et de bureaux d'études (qui les réalisent). Ce panorama n'est pas totalement exhaustif car il retient surtout les études et les recherches les plus significatives. De fait, tous les organismes publics et privés qui ont travaillé à un moment donné sur ce thème ne sont pas nécessairement cités.

L'analyse de la situation française est présentée de manière chronologique afin de mettre en évidence à la fois l'évolution des approches d'évaluation et les facteurs contextuels qui ont influé sur cette évolution. Elle est suivie d'une série de remarques sur les types d'impacts socio-économiques qui sont pris en considération, sur les approches qui sont développées et sur les méthodes d'évaluation qui sont mises en œuvre.

1. Les ouvrages consultés pour cette analyse sont référencés dans la bibliographie qui figure en annexe.

1.1. L'évolution des approches d'évaluation

En matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations, le corpus de connaissance s'est constitué de façon discontinue à partir de la fin des années 1960. Trois périodes successives peuvent être distinguées.

1.1.1. Un champ d'abord investi par les bureaux d'études

Les premiers travaux majeurs en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations datent de la fin des années 1960 et du début des années 1970. Ils sont le fait d'un bureau d'étude, le BCEOM, où deux économistes engagent des réflexions sur la caractérisation des dommages et développent des méthodologies d'évaluation². Durant cette période apparaît la notion de coût moyen annuel (CMA), utilisée par la suite dans les analyses coûts/avantages³. Les réflexions méthodologiques sont soutenues par le Ministère de l'équipement, à une époque où le concept de rationalisation des choix budgétaires (RCB) est introduit au sein de l'administration⁴.

Sur le terrain, les questions de rentabilité des aménagements de défense contre les eaux sont à l'ordre du jour. Les études relatives à la lutte contre les inondations sont alors accompagnées d'un important volet économique. Les évaluations des dommages dus aux inondations sont réalisées dans le but de calculer l'optimum économique des ouvrages de protection envisagés en fonction des bénéfices espérés (en terme de réduction des dommages). La plupart d'entre elles sont confiées au BCEOM et sont financées par l'État et les Agences de l'eau (dénommées à l'époque Agences financières de bassin).

Au milieu des années 1970, le tout récent ministère de l'Environnement⁵ décide d'engager un recueil d'information systématique sur les impacts des inondations afin de mettre en place un fichier national sur les dommages. Une circulaire interministérielle, en date du 15 décembre 1976, précise la démarche à suivre qui consiste à demander aux services extérieurs de l'État et aux préfetures de remplir un questionnaire après chaque crue dommageable, puis de le retourner au niveau central pour alimenter le fichier national⁶.

Un bilan du fonctionnement de la procédure est demandé au BCEOM en 1979 qui organise une enquête à l'échelle de vingt départements⁷. Les résultats de cette enquête font apparaître

2. BCEOM (Bureau central d'études outre-mer) - Société française d'ingénierie. Les deux économistes du BCEOM (MM. Siméon et Maîtres) sont à l'origine des premières méthodes d'évaluation développées en France, largement inspirées des pratiques américaines.

3. Le CMA est l'espérance mathématique de la variable aléatoire « coût des dommages dus à un événement d'inondation » lorsque les probabilités sont exprimées en fréquence annuelle de dépassement. Cette notion intégratrice traduit mieux le risque que le coût calculé pour une crue de période de retour donnée. Pourtant ce concept mathématique est fort peu utilisé aujourd'hui en raison semble-t-il de son caractère peu « communicant ».

4. La rationalisation des choix budgétaires est un concept qui vient des États-Unis. Il est introduit en France au milieu des années 1960 au sein de l'administration centrale comme outil d'aide à la décision en matière d'orientation des politiques publiques (suggérer des priorités d'actions fondées sur des données précises et des critères clairement exposés). Lourde à mettre en œuvre, l'approche de RCB est abandonnée vers le milieu des années 1980.

5. La première administration de l'environnement est créée par le décret du 27 janvier 1971. Par transfert de compétence, ce ministère acquiert des responsabilités en matière de police des eaux domaniales et non domaniales à partir de 1976 (en vertu du décret 76-1085 du 29 novembre 1976). De fait, la gestion du risque d'inondation fait rapidement partie de ses attributions.

6. Les informations demandées concernent les caractéristiques de l'inondation ainsi que les dommages identifiés et évalués.

7. L'enquête a porté sur la période hydrologique allant d'avril 1977 à avril 1978. Les vingt départements retenus (répartis dans les régions Aquitaine, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon et Provence - Alpes-Côte d'Azur)

le manque de motivation des administrations sollicitées pour renseigner les questionnaires. En outre, ceux qui sont remplis sont incomplets et difficiles à exploiter (nombreuses données manquantes, erreurs d'évaluation du fait que les renseignements sont recherchés dans des dossiers établis pour d'autres objectifs, absence de normalisation des dossiers constitués). À la suite de ce bilan, le BCEOM propose une réorganisation du dispositif en 1983 puis une informatisation du fichier national en 1985. À partir de cette date, la démarche est abandonnée.

La volonté du ministère de l'Environnement d'organiser un retour d'expérience est donc éphémère. En outre, l'institution du régime de catastrophes naturelles en 1982, introduisant l'obligation d'inclure dans les contrats d'assurance une garantie des dommages occasionnés par les risques majeurs, n'est pas utilisée pour impliquer les compagnies d'assurance dans un recueil systématique d'information sur les dommages et une mise à disposition de ces informations. Les assureurs demeurent cantonnés dans un rôle de gestionnaire des contrats d'assurance. Le recueil de données statistiques sur les sinistres, organisé dès 1982 par l'APSAID⁸ auprès de ses membres, illustre bien cet état de fait. Les rapports annuels établis par cette assemblée sont confidentiels et leur contenu est difficilement exploitable pour une évaluation des impacts des inondations. Il s'avère en effet impossible de mettre en relation directement un montant de dommages avec les paramètres physiques de l'inondation, car les données sont trop agrégées et ne sont pas présentées par type de risque majeur.

Durant la décennie 1980, une nouvelle problématique d'évaluation apparaît en relation avec la loi du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles. Le développement de la politique réglementaire de prévention des risques naturels introduit en effet le concept de vulnérabilité dans la démarche d'établissement des Plans d'exposition au risque (PER). Au moment de l'élaboration des PER, il est demandé aux services instructeurs de réaliser une étude de la vulnérabilité, afin de justifier le zonage du document et de préciser pourquoi les mesures de prévention proposées sont adéquates.

Différentes études et recherches sont menées entre 1985 et 1987 pour alimenter les réflexions à ce sujet. Orientées vers l'estimation économique des dommages, elles influencent largement la définition donnée à la vulnérabilité qui se traduit alors par « une mesure des dommages dus aux inondations ». En 1988, une méthode d'évaluation est mise au point avec l'aide du bureau d'étude SAGERI. Diffusée auprès des services instructeurs, elle est destinée à aider ces derniers dans la réalisation des analyses de vulnérabilité. Un bilan concernant la mise en œuvre de telles études au niveau des PER est réalisé sur la période 1984-1994. Il montre que, malgré l'existence d'une méthode spécifique, les services instructeurs négligent la réalisation des études de vulnérabilité, quand ils ne rejettent pas complètement ce volet lors de l'élaboration des documents réglementaires (Ledoux B., 1995).

1.1.2. Une incursion très progressive des chercheurs

Au cours de la période qui vient de s'écouler, la majeure partie des avancées méthodologiques concernant l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations est le fait de bureaux d'études privés. Les organismes publics de recherches n'investissent réellement ce domaine qu'à partir des années 1985-1990. Cette incursion des chercheurs, issus des sciences de l'ingénieur et non de l'économie, est très progressive et le nombre d'équipe de recherche reste limité.

ont connu durant cette période des inondations importantes, dont le montant a été estimé à 756 millions de francs (BCEOM, 1979).

8. Assemblée plénière des sociétés d'assurance contre les incendies et les risques divers. Cet organisme porte aujourd'hui le nom d'Assemblée plénière des sociétés d'assurances dommages (APSAD).

L'une d'entre elles se constitue au CERGRENE⁹. Ses premiers travaux (1985), réalisés tout d'abord pour apporter des éléments d'appréciation des dommages pour les études de vulnérabilité des PER, se sont ensuite développés dans le but d'élaborer un modèle simplifié d'évaluation des dommages (à partir de 1988). Un important travail de recueil de données concernant les dommages subis lors d'événements catastrophiques est organisé à cette occasion. Il va permettre d'une part, de construire des fonctions de dommages concernant les ménages et les activités (industrielles, commerciales et agricoles) et d'autre part, d'élaborer un modèle d'évaluation. Mis au point sur le bassin de la Loire, le modèle CIFLUPED¹⁰ permet d'évaluer les dommages à l'échelle d'une partie de vallée (de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres) et d'estimer les incertitudes associées au calcul des dommages.

Ces travaux vont se développer tout d'abord dans le cadre d'un programme de recherche national sur l'analyse économique des inondations par débordement de cours d'eau, lancé par le ministère de l'Environnement (entre 1988 et 1990), puis au travers de deux programmes de recherche européens (entre 1992 et 1996) associant 9 équipes issues de 7 pays européens¹¹.

À peu près dans le même temps (1991-1992) une autre équipe de recherche est constituée au CEMAGREF¹² de Lyon. Ses travaux conduisent à l'élaboration de la méthode Inondabilité¹³. Intégrant les avancées des modèles dans le domaine de l'hydrologie et de l'hydraulique des crues, cette méthode permet le croisement entre aléa et vulnérabilité afin de définir un risque d'inondation acceptable. Contrairement aux approches classiques, elle ne passe pas par une évaluation socio-économique des dommages. La vulnérabilité aux inondations est en effet définie à partir de paramètres physiques (fréquence, durée et hauteur). Ces travaux de recherche vont par la suite s'inscrire dans un programme européen (FLOODAWARE) regroupant 11 partenaires issus de 7 pays, entre 1994 et 1998. Dans le cadre de ce programme, le CEMAGREF s'est associé à un laboratoire d'économie de l'Université de Bourgogne, le LA-TEC¹⁴, afin d'étudier les possibilités de quantifier économiquement la vulnérabilité dans la méthode « Inondabilité ».

1.1.3. Une implication grandissante des collectivités territoriales

Si jusqu'à présent les principaux travaux en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations ont été initiés par les administrations (État central et services extérieurs, Agences de l'eau), on assiste vers le milieu des années 90 à l'émergence de demandes nouvelles en provenance des collectivités territoriales impliquées dans la gestion des bassins versants hydrographiques. C'est particulièrement le cas des bassins de la Seine et de la Loire, et plus récemment des bassins du Rhône et de la Meuse, pour lesquels des programmes pluriannuels d'études ont été engagés. Ces programmes traduisent une volonté d'intégrer

9. Centre d'enseignement et de recherche pour la gestion des ressources naturelles et l'environnement. Ce laboratoire commun à l'ENPC, à l'ENGREF et à l'Université Paris – Val-de-Marne, est devenu le CERREVE depuis mars 1999 (Centre d'enseignement et de recherche sur l'eau, la ville et l'environnement).

10. Coût des dommages des Inondations FLUViales, Procédure d'Estimation par une Démarche intégrant les sources d'Erreurs. Voir également le chapitre 4.

11. Ces travaux de recherche (EUROFLOOD I et II) ont donné lieu à la publication de deux ouvrages synthétiques reprenant l'ensemble des contributions des différents chercheurs impliqués :

– Penning-Rowsell E. and Fordham M. (edited by), *Flood across Europe. Flood hazard assessment, modelling and management*, Middlesex University Press, 1994, 214 pages.

– Penning-Rowsell E. (edited by), *Improving flood hazard management across Europe*, Middlesex University Press, 1996, non paginé.

12. Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement.

13. La méthode est présentée au chapitre 3. Cette présentation est complétée par la communication de Nicolas Gendreau qui figure en deuxième partie.

14. Laboratoire d'analyse et de techniques économiques, UMR 5601 CNRS.

l'évaluation des impacts des inondations dans une problématique plus large d'aménagement et de gestion de bassins versants. Des efforts particuliers sont faits en matière de conduite des projets :

- les différents partenaires concernés sont associés en amont du projet (établissements publics d'aménagement, services de l'État, Agences de l'eau...) ;
- des cahiers des charges d'étude très précis sont élaborés ;
- un groupe de pilotage, chargé de suivre les différentes étapes de l'évaluation, est mis en place ;
- une mission d'assistance à la maîtrise d'ouvrage est définie et confiée à des experts.

Tout en utilisant les connaissances déjà acquises dans le domaine considéré, ces projets récents tendent à élargir le champ de l'évaluation (par exemple, en étudiant l'impact des inondations sur le développement et l'économie locale) et à mettre en œuvre de nouvelles démarches plus qualitatives (par exemple, en cherchant à mobiliser les différentes sources d'informations disponibles localement et en ayant recours au « dire d'experts »). En outre, ils donnent lieu à la mise en place d'outils d'aide à la décision, permettant de représenter les phénomènes physiques et leurs impacts.

Pour terminer ce tour d'horizon, il convient également de mentionner la réalisation ponctuelle d'études post-catastrophes. Certaines d'entre elles ont été l'occasion de mettre en œuvre des démarches d'évaluation intéressantes (voir les cas de l'Orb et de Nîmes, présentés au niveau du chapitre 2). Soulignons enfin que, depuis une dizaine d'années, des missions d'enquêtes sont diligentées par le gouvernement à la suite des principales catastrophes naturelles pour établir des bilans des dommages et tirer les enseignements de ces sinistres en matière de gestion des risques¹⁵. Toutefois, les rapports de mission contiennent des informations trop globales pour être utilisables directement dans le cadre d'une évaluation des impacts socio-économiques.

1.2. Les phénomènes physiques considérés

En regard des phénomènes physiques considérés dans les évaluations, on notera que la majorité des travaux porte sur les impacts des inondations par débordement de cours d'eau (pour l'essentiel des crues de plaine, pour quelques-unes des crues torrentielles). Les études concernant les dommages dus aux inondations par ruissellement de surface et dysfonctionnement des réseaux d'assainissement sont rares et celles ayant trait aux inondations maritimes des plaines côtières sont inexistantes.

Si le territoire métropolitain est peu concerné par ce dernier phénomène (à l'exception de certaines zones estuariennes où l'influence de la marée peut se conjuguer avec une crue de rivière), il n'en va pas de même pour ce qui concerne les inondations liées à l'assainissement pluvial urbain. Dues à des pluies d'orage, ces inondations sont très fréquentes et bien localisées dans l'espace. Leurs impacts sont généralement de faible ampleur, mais le caractère récurrent du phénomène peut à terme entraîner des coûts de dommages non négligeables¹⁶. De

15. Ces enquêtes sont confiées à la Mission d'inspection spécialisée de l'environnement (MISE) qui est chargée d'inspecter les activités exercées en matière d'environnement par les services extérieurs de l'État, ainsi que par les organismes dont le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement assure la tutelle. Elle peut être chargée également d'enquêtes et d'études relevant de ses compétences, qui peuvent lui être confiées par le Conseil général des ponts et chaussées (dont elle dépend directement), par le Conseil général des mines ou par le Conseil général du génie rural, des eaux et des forêts.

16. Une recherche sur ce thème a été effectuée entre 1993 et 1996 par le CERGNE. Des enquêtes de terrain, réalisées sur trois sites (6 villes du département de Seine-Saint-Denis, l'agglomération lyonnaise et la ville de

fait, l'évaluation des dommages dus à ces événements sera amenée à se développer, en particulier pour aider les collectivités locales à définir des stratégies de gestion des eaux pluviales mieux adaptées à la vulnérabilité des citoyens face au risque.

Compte tenu de leurs caractéristiques physiques, les crues lentes de plaine rendent possible une « modélisation » des impacts en fonction de l'aléa et permettent le développement d'outils de calcul. C'est pourquoi la majorité des évaluations concernent ce phénomène. En revanche, les crues torrentielles étant plus délicates à modéliser sur le plan hydraulique, leurs impacts ont été moins étudiés. En outre, les facteurs physiques de l'aléa qui déterminent l'importance des dommages sont différents dans les deux cas. On peut en effet noter :

- un rôle significatif de la hauteur d'eau et de la durée de submersion dans le cas des crues de plaine ;
- un rôle majeur de la vitesse du courant et du transport de matériaux dans le cas des crues torrentielles.

La progression du savoir-faire en matière d'évaluation est donc dépendante de l'avancée des connaissances en hydrologie/hydraulique et non directement liée à l'ampleur des impacts.

1.3. Les impacts examinés

Jusqu'à présent, les approches socio-économiques se sont essentiellement focalisées sur l'évaluation des dommages tangibles directs et indirects. Les investigations concernant l'évaluation des impacts indirects restent faibles et les dommages intangibles sont quant à eux quasiment absents des évaluations. À l'heure actuelle, ce sont les dommages directs à l'habitat et à l'agriculture qui semblent les mieux connus. Les dommages aux activités (industrielles, artisanales et commerciales) ainsi qu'aux équipements et aux réseaux demeurent encore mal connus.

L'émergence d'approches dites « qualitatives »¹⁷ a cependant permis d'élargir les problématiques d'évaluation, en s'intéressant notamment à l'impact des inondations sur le développement local, sur l'évolution de l'occupation des sols, sur les marchés fonciers et les transferts financiers (à l'intérieur des zones inondables, au niveau communal et intercommunal, voire régional).

Les effets des inondations sur l'environnement n'ont pas été pour l'instant intégrés aux démarches d'évaluation. La prise en considération de ces impacts intangibles renvoie à la délicate question de l'attribution d'une « valeur monétaire » ou d'une « valeur économique » à l'environnement, qui est l'objet de vifs débats. Les méthodes d'évaluation sont peu nombreuses (la principale étant la méthode d'évaluation contingente). Elles entrent dans le champ de la recherche et sont principalement développées par des économistes de l'environnement, qui portent un regard distant sur les problématiques d'estimation des impacts des inondations.

Compte tenu de l'apparition des questions de développement durable et de gestion intégrée des hydrosystèmes, la prise en compte des impacts environnementaux des inondations dans les évaluations prendra très certainement de l'importance dans les années à venir. Notons à cet égard que, depuis la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, l'évaluation économique de la politique

Marseille) ont permis d'estimer le montant des dommages à l'habitat (biens mobiliers et immobiliers). Il apparaît ainsi, quelle que soit la hauteur d'eau, que la moyenne du coût des dommages est de 15 000 francs par maison individuelle avec sous-sol et de 30 000 francs par maison individuelle sans sous-sol. (Hubert G., 1997).

17. On parle d'approche « quantitative » lorsqu'il s'agit d'évaluer les dommages. Par opposition, l'approche « qualitative » désigne une démarche qui ne passe pas nécessairement par une évaluation des dommages. Ce qui ne signifie pas pour autant que les indicateurs utilisés pour mesurer les impacts soient uniquement d'ordre qualitatif.

de préservation ou de reconquête des zones inondables est progressivement considérée par les pouvoirs publics comme l'un des éléments de décision de la gestion du risque.

Dans leur grande majorité, les évaluations socio-économiques considèrent la notion d'impact sous l'angle des effets négatifs, c'est-à-dire des dommages. L'élargissement de l'évaluation à la prise en compte des effets positifs des inondations se fait progressivement grâce à l'introduction de dimensions telles que le développement local (effets des inondations sur les transferts d'activité vers des entreprises situées hors des zones sinistrées, sur les gains financiers liés aux prêts bancaires et aides exceptionnelles pour réparations et reconstructions...) ¹⁸ et l'environnement (effets bénéfiques des inondations sur les écosystèmes, sur la recharge des nappes alluviales...).

Afin de clarifier la notion d'impact et plus précisément celle de dommage, **les deux tableaux suivants** présentent quelques exemples, en fonction des différentes « cibles » prises en considération dans les évaluations.

- Dommages tangibles (effets pouvant faire l'objet d'une évaluation monétaire)

Cible	Dommage direct	Dommage indirect
Habitat/Ménage	Dégradation ou destruction des biens immobiliers et mobiliers.	Coût de nettoyage/séchage. Coût de relogement.
Activités industrielles, artisanales et commerciales	Dégradation ou destruction des biens immobiliers et mobiliers, de l'outil de travail, des stocks...	Chômage technique. Perte d'exploitation. Coût de nettoyage/séchage.
Activités agricoles	Dégradation ou destruction du siège d'exploitation. Destruction des cultures et pertes de fonds. Destruction du cheptel	Perte d'exploitation. Coût de nettoyage/séchage.
Activités de services et équipements publics	Dégradation ou destruction des biens immobiliers et mobiliers.	Coût de nettoyage/séchage. Coût de l'organisation des secours. Coût de l'interruption des services.
Réseaux et infrastructures	Dégradation ou destruction du patrimoine.	Coût de l'interruption de fonctionnement.
Développement local		Détérioration des finances locales. Baisse du prix du foncier et de l'immobilier.
Environnement		
Patrimoine culturel, historique...	Dégradation ou destruction du patrimoine.	Coût de nettoyage/séchage.

- Dommages intangibles (effets difficilement monétarisables en l'état actuel des connaissances)

Cible	Dommage direct	Dommage indirect
Habitat/Ménage	Pertes de vies humaines.	Effets psychologiques. Effets sur la santé à long terme.
Activités industrielles, artisanales et commerciales	Pertes de vies humaines.	Effets psychologiques sur les employés et les responsables.
Activités agricoles	Pertes de vies humaines.	Effets psychologiques sur l'exploitant.
Activités de services et équipements publics		Inconvénients subis par les usagers.
Réseaux et infrastructures		Inconvénients subis par les usagers.
Développement local		Inconvénients subis par les citoyens et la société.
Environnement		Évolution des milieux naturels dans le temps.
Patrimoine culturel, historique...	Pertes de biens irremplaçables	

18. Voir à ce sujet l'étude menée sur le cas de Nîmes présentée dans le chapitre 2.

1.4. Les approches développées

Historiquement, les approches d'évaluation se sont construites autour de la notion de dommages (le risque d'inondation étant évalué sur la base d'un coût de dommage associé à la survenance d'un événement aléatoire). Compte tenu des difficultés rencontrées pour identifier et quantifier l'ensemble des dommages dus aux inondations, elles ont progressivement évolué vers des démarches plus qualitatives en considérant les notions d'enjeux et de vulnérabilité. Cette évolution très récente permet d'établir une typologie des approches d'évaluation en distinguant trois catégories de démarches : l'évaluation des dommages *a posteriori*, l'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité, l'évaluation des dommages *a priori*.

L'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité a pour but de cerner la dimension socio-économique du risque sans passer par l'élaboration de fonctions de coûts. Il s'agit d'une démarche qualitative qui se traduit par la recherche d'indicateurs d'impacts (indicateurs qualitatifs ou quantitatifs selon les types d'impacts considérés) associés aux enjeux ou à la vulnérabilité. De la même manière que pour l'évaluation des dommages on peut distinguer les enjeux directs et indirects. Leur évaluation peut faire appel à des techniques d'enquête, de recueil de données existantes et à des méthodes issues de l'économie. L'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité peut être menée en amont d'une évaluation des dommages (comme étape préalable) ou à sa place (lorsque l'évaluation des dommages ne se justifie pas).

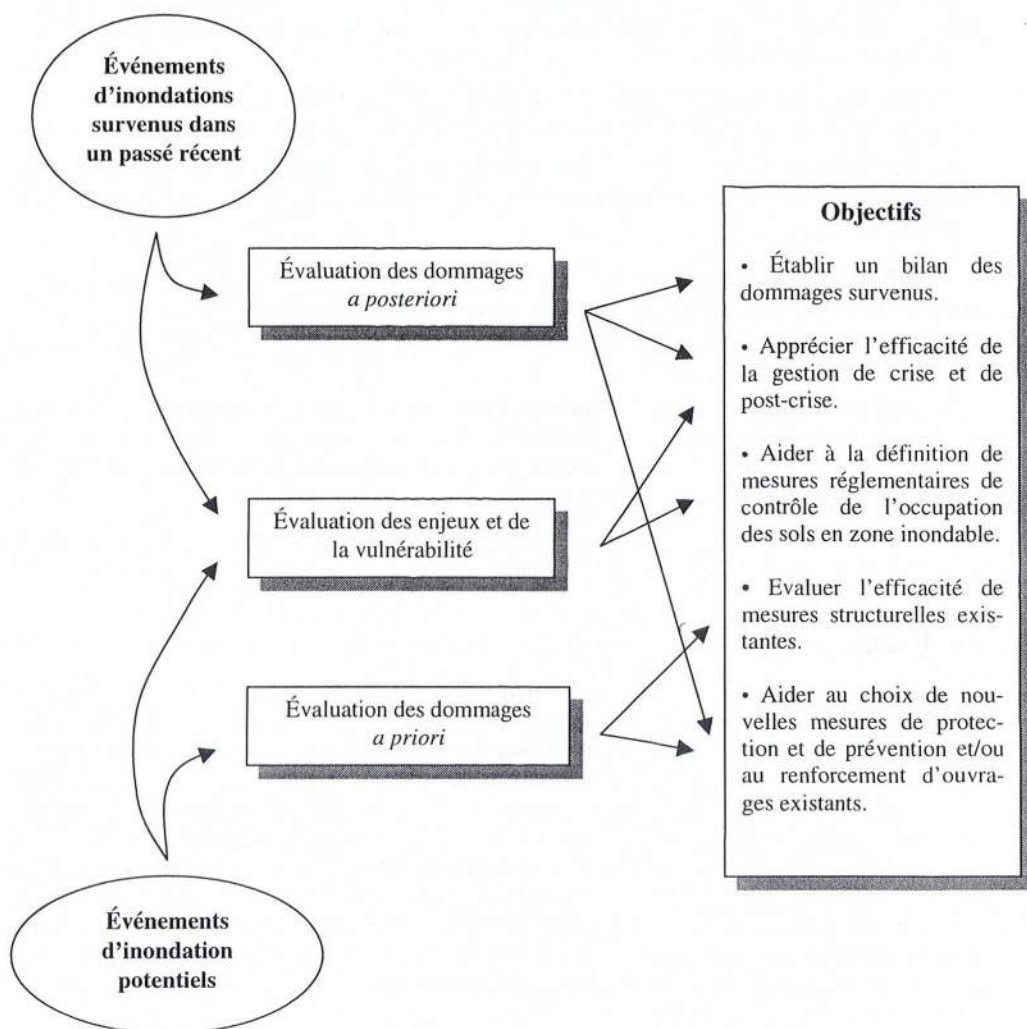
L'évaluation des dommages s'inscrit, quant à elle, dans une logique d'analyse coûts-avantages afin de pouvoir comparer les coûts associés à des mesures de gestion du risque (mesures structurelles et non structurelles) par rapport aux bénéfices que l'on peut en attendre. Le bénéfice est ici compris comme le coût marginal des dommages associé à la mise en œuvre d'une action de protection (dommages évités et/ou dommages résiduels). L'idée sous-jacente à cette évaluation est qu'il existe un niveau de contrôle au-delà duquel tout effort supplémentaire devient trop coûteux compte tenu des gains de réduction des conséquences négatives (phénomène de rendement décroissant). Deux familles d'approches peuvent être identifiées : l'évaluation *a posteriori* et l'évaluation *a priori*.

- L'évaluation *a posteriori* se donne pour objectif d'estimer les dommages causés par des inondations qui se sont déjà produites ou par un événement particulier à caractère exceptionnel. Dans le premier cas, le calcul des dommages se base sur les coûts estimés des inondations qui se sont succédé dans le passé. Si on a une série d'événements assez importants, on peut ainsi définir le coût moyen annuel (CMA).

- L'évaluation *a priori* consiste à réaliser une estimation des dommages potentiels compte tenu de l'existence d'un risque et de son occurrence. Elle est réalisée généralement dans l'objectif d'estimer l'intérêt économique d'actions futures de prévention ou de protection. On peut également exprimer un coût moyen annuel qui est alors l'intégrale de la fonction qui relie un coût à la fréquence annuelle de dépassement de l'inondation maximale potentielle (cela suppose qu'à une inondation de fréquence donnée correspond un coût unique de dommage). Ces évaluations donnent lieu généralement à l'élaboration de fonctions de dommages ou à l'utilisation de fonctions déjà existantes. Préalablement à de telles évaluations, il est nécessaire de disposer d'une bonne connaissance de l'aléa hydraulique (puisque les fonctions de dommages croisent la valeur des biens avec les caractéristiques de la crue). La connaissance de l'aléa constitue donc une première source d'approximation dans l'estimation des impacts potentiels, qui est fonction de la précision des outils et des méthodes de calcul utilisés.

On notera que les évaluations *a posteriori* et *a priori* ne s'intéressent pas uniquement aux dommages. C'est ainsi que les évaluations *a posteriori* sont l'occasion pour porter un regard sur la façon dont ont été organisés les secours au moment de l'événement et mobilisés les

aides financières à la suite de la catastrophe. Elles s'attachent également à l'analyse du comportement des personnes sinistrées, des réponses apportées individuellement pour réduire l'impact des dommages et des modalités d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles. De même, les évaluations *a priori* simulent parfois l'impact d'événements potentiels sur les finances et le développement local (augmentation du niveau d'endettement des collectivités, baisse des recettes fiscales, impact sur le marché foncier et immobilier...). En fait les approches d'évaluation ne constituent pas des « systèmes fermés ». Elles sont complémentaires et leur contenu n'est pas figé. Comme le montre la figure ci-après, il y a en outre une relation entre l'événement d'inondation pris comme référence (inondations survenues récemment ou crues anciennes), l'approche considérée et les objectifs poursuivis.



1.5. Les méthodes mises en œuvre

Les méthodes d'évaluation des dommages peuvent être classées en deux grandes familles, selon le niveau de description des impacts considérés. Elles donnent lieu à l'emploi de techniques d'évaluation différentes.

Les méthodes « déterministes » nécessitent une description précise des impacts. Elles sont généralement utilisées pour identifier, analyser et évaluer **les impacts tangibles** (c'est-à-dire ceux causés aux biens et services marchands). L'objectif recherché est d'établir une relation entre ces impacts et divers paramètres relatifs à la submersion (hauteur d'eau, durée de submersion, fréquence, vitesse). Les corrélations qui sont établies conduisent à l'élaboration de fonction de coût des dommages. Selon la façon dont sont établies ses relations, on distingue deux classes de méthodes :

- les méthodes élaborant des fonctions de dommages à partir de l'exploitation de résultats d'enquêtes sur les coûts réels subis ou à partir de bilans d'indemnisations ;
- les méthodes élaborant des fonctions de dommages par simulation des coûts à partir d'expertises ou à partir d'enquêtes sur les coûts potentiels qui se produiraient en cas d'inondation.

Les méthodes « conceptuelles » ne passent pas par une description précise des impacts. Elles sont généralement utilisées pour évaluer **les impacts intangibles** (c'est-à-dire ceux causés aux biens et services non marchands). Elles font appel à des techniques utilisées en économie de l'environnement telles que :

- l'évaluation contingente qui est fondée sur l'idée que les individus sont prêts à payer pour acquérir un bien ou un service (consentement à payer pour être protégé) ou sont prêts à renoncer à un bien ou un service en contrepartie d'une certaine somme d'argent (consentement à accepter le risque et à renoncer d'être protégé) ;
- la méthode des prix hédonistes qui repose sur l'hypothèse d'un lien entre le prix d'un bien et ses différentes caractéristiques (une habitation située en zone inondable par exemple).

1.6. Remarques

L'analyse de la situation française en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations fait apparaître une quantité importante de travaux (études et recherches) réalisés par un nombre relativement restreint de bureaux d'étude ou de laboratoires de recherches. Le savoir-faire qui s'est constitué progressivement est encore mal valorisé car aucun bilan critique approfondi n'a été réalisé jusqu'à présent et le retour d'expérience n'est pas organisé de façon à capitaliser les connaissances et à faire progresser les approches. En outre, il est souvent difficile de juger de la qualité des évaluations car, à l'exception des travaux les plus récents, beaucoup d'études n'apportent pas d'information sur les choix méthodologiques opérés (en particulier sur l'origine des fonctions de coût employées) et les difficultés rencontrées. Nombre d'auteurs ne portent pas de regard critique sur les résultats obtenus. Très peu font mention des incertitudes associées à l'estimation monétaires des impacts évalués ou présentent des fourchettes d'estimation.

2. UN REGARD SUR LES PRATIQUES ÉTRANGÈRES

En matière d'évaluation des impacts socio-économique des inondations, il est de coutume de considérer que la France accuse un retard par rapport à l'étranger. Pour apporter quelques éléments de réponse à cette affirmation, un éclairage sur les pratiques développées dans quel-

ques pays étrangers est proposé ici. Quatre pays étrangers ont été sélectionnés pour leur savoir-faire : l'Angleterre, les Pays-Bas, l'Allemagne et l'Amérique du Nord. Dans le dernier cas, l'analyse est issue d'un travail bibliographique. Pour les trois autres pays, une expertise a été demandée à des chercheurs spécialisés dans le domaine considéré¹⁹ :

– en Angleterre : le professeur E. Penning-Rowsell. Flood Hazard Research Centre, Middlesex University ;

– aux Pays-Bas : le professeur H. G. Wind. Faculty of Technology and Management, School of Civil Engineering, University of Twente ;

– en Allemagne : le professeur R.F. Schmidtke. Institute for Hydraulic Engineering and Water Management, Technical University Darmstadt.

Cette partie synthétise la contribution de trois chercheurs européens et l'analyse de la bibliographie américaine sur le thème²⁰.

2.1. La situation en Angleterre

L'Angleterre se distingue des autres pays étudiés par l'importance des recherches entreprises et le niveau de développement des méthodes d'évaluation des dommages dus aux inondations. Dans ce pays, on s'intéresse en effet à ces questions depuis plus de 25 ans de manière continue. Les autres pays européens, mais aussi les États-Unis, font fréquemment référence aux travaux anglais qui, pour l'essentiel, sont l'œuvre du *Flood Hazard Research Centre* (FHRC), même si deux autres équipes travaillent plus ponctuellement sur ce sujet.

C'est dans les années 1960 que les premières investigations en matière d'estimation des dommages débutent en Angleterre. Une esquisse de méthode est mise au point pour estimer l'intérêt des aménagements en matière de lutte contre les crues (the worthwhile test). Les approches développées à cette époque sont relativement sommaires²¹. Cependant, elles marquent l'introduction de l'analyse économique dans la gestion du risque d'inondation.

L'importance de l'évaluation des impacts économique des inondations va s'amplifier au cours des années 70. Les pouvoirs publics (en particulier le ministère de l'Environnement et celui de l'Agriculture) vont progressivement imposer la réalisation d'études coûts/bénéfices préalablement à chaque projet de lutte contre les inondations fluviales et contre les phénomènes d'érosion côtière (condition *sine qua non* à l'attribution de subventions).

De plus en plus systématiques, les études économiques deviennent ainsi une composante essentielle du processus de décision. Leur réalisation est financée par le gouvernement (soit environ 3 millions de francs par an). Au fur et à mesure que les exigences des pouvoirs publics évoluent, les évaluations s'affinent. Ainsi, dès les années 80, des critères de développement durable sont introduits dans les choix d'investissement publics relatifs aux travaux de protection contre les inondations.

19. Un cahier des charges, établi par les auteurs de l'ouvrage, a été fourni aux experts sollicités. Il précisait les attendus de l'analyse, à savoir : définir le rôle des approches d'évaluation dans la gestion des risques d'inondation, décrire l'état de développement et le niveau de satisfaction des méthodes disponibles et enfin, souligner les perspectives de recherche dans le domaine.

20. Les contributions complètes des experts (en langue anglaise) ainsi que l'analyse bibliographique américaine sont reportées dans la troisième partie de l'ouvrage.

21. À titre illustratif, on notera que lors des projets de travaux d'aménagement de la Tamise, il avait été retenu un taux d'endommagement identique pour tous les biens (égal à 10 % de la valeur totale des biens considérés).

Les connaissances acquises dans le domaine de l'évaluation des dommages permettent la publication de guides de référence officiels que doivent utiliser les bureaux d'étude participant à la mise en œuvre de projets donnant lieu à des analyses coûts/avantages. Le *Blue manual*²² est publié en 1977. Dix ans après, le *Red Manual*²³ est édité.

Dès le départ, les organismes de recherche investissent le champ de l'évaluation des dommages. C'est particulièrement le cas du FHRC qui regroupe des économistes, des sociologues et des géographes. L'essentiel de ses recherches est financé par le ministère de l'Agriculture. Ce soutien financier permet au FHRC d'organiser un retour d'expérience systématique après sinistres. Disposant d'un nombre important de données, il peut ainsi construire des fonctions de dommages performantes et diversifiées.

Les bureaux d'étude sont peu présents dans le développement des méthodes car ils mettent en œuvre le contenu des guides cités précédemment. En revanche, ils sont impliqués dans l'évolution de la modélisation hydraulique et la mise en œuvre des systèmes d'information géographique (SIG), utilisés pour le calcul automatique des dommages.

Tous les types de dommages semblent avoir été étudiés par les Anglais, soit à travers des approches quantitatives (construction de fonctions de dommages), soit via des démarches plus qualitatives (exemple de la *Bootstrapping method*²⁴).

Les réflexions sur l'élaboration de fonctions de dommages ont été poussées très loin sur trois thématiques : habitat, activité et agriculture. Concernant la caractérisation des enjeux liés au logement, les chercheurs anglais ont établi une typologie fine de l'habitat considérant 21 catégories type en croisant trois critères : la nature du logement, la date de construction et la catégorie socioprofessionnelle des occupants. Ils ont élaboré des fonctions de dommages pour chacun de ces types, qui relient un ou plusieurs paramètres caractéristiques de l'aléa (hauteur d'eau et durée de submersion) et le montant des dommages. Ils ont fait un exercice similaire au niveau des activités.

Sur un plan méthodologique, le FHRC a expérimenté de nouvelles méthodes de travail (testée en France dans le cadre des études sur la Seine et la Loire) qui consistent à élaborer des fonctions de coût directement avec les propriétaires de logement et les responsables d'activités. Les résultats ainsi obtenus sont croisés avec l'approche classique de façon à affiner les fonctions de dommages.

Les démarches plus qualitatives et les analyses de vulnérabilité sont peu développées. Les analyses de type multicritère ne sont pas employées dans le cadre de l'évaluation des impacts des inondations. De même, les évaluations réalisées à partir de données d'assurances, basées sur le remboursement des pertes subies, sont peu utilisées en Grande-Bretagne.

22. Penning-Rowsell E., Chatterton J., The benefits of flood alleviation. À manual of assessment techniques, Gower technical press, 1977, 297 pages.

23. Parker D., Green C., Thompson P., *Urban flood protection benefits. A project appraisal guide*, Gower technical press, 1987, 284 pages.

24. Développée pour l'évaluation des dommages à la santé et les pertes de biens irremplaçables, cette méthode crée une relation entre ces types d'impacts et des pertes tangibles. Par enquête directe auprès de personnes sinistrées, on procède tout d'abord à une évaluation monétaire du coût des dommages tangibles qu'ils ont subis, puis on demande aux individus de leur attribuer une note de sévérité. On leur demande ensuite de définir également une note de sévérité aux impacts intangibles qu'ils pourraient subir. Le chercheur estime alors qu'un impact intangible ayant la même note de sévérité qu'un impact tangible a la même valeur monétaire.

2.2. La situation aux Pays-Bas

La situation hollandaise est relativement proche de celle de la France en terme de connaissances acquises dans le domaine de l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations.

Aux Pays-Bas, les évaluations économiques voient le jour à la suite de la catastrophe de 1953, qui a fait près de 2 000 morts. Elles sont conduites dans le cadre d'une commission de travail (Delta Committee), mise en place par le ministère des Transports et des Voies navigables. Ce comité a pour mission de réfléchir à un nouveau système de défense contre les inondations provenant de la mer et des cours d'eau.

Sur la base des arguments économiques résultant des études menées à l'époque, des crues de référence contre lesquelles il convient de se protéger sont proposées. Les périodes de retour considérées sont impressionnantes : 10 000 ans pour les inondations maritimes et 3 000 ans pour les crues du Rhin.

Les conclusions de ces premières études ont été par la suite largement contestées, en raison d'une non prise en compte des effets des travaux envisagés sur l'environnement et sur les populations riveraines. En outre, les chercheurs en économie, impliqués dans le *Delta Committee* ont attiré l'attention des décideurs sur l'importance des dommages indirects et des pertes intangibles (préjudices humains et désorganisation des activités économiques), tout en reconnaissant leur incapacité à les évaluer, faute de méthode disponible.

Une nouvelle commission de travail est créée en 1977 afin de mener des investigations complémentaires concernant les aspects économiques, le nombre de victimes potentielles et les effets sur l'environnement des endiguements proposés. L'ampleur des travaux de protection contre les inondations fluviales est alors revue à la baisse. Pour lutter contre les crues du Rhin, la période de retour de l'événement contre lequel il faut se prémunir est ramenée à 1 250 ans.

Alors que les travaux d'endiguement du Rhin ont commencé, une troisième commission est mise en place en 1992, sous la pression du public qui considère que les questions environnementales et patrimoniales (aspects culturels en particulier) ne sont pas suffisamment prises en compte. Les réflexions de ce nouveau comité vont permettre de définir précisément les fonctions des digues (protection des populations, de l'environnement, du paysage et de l'héritage culturel) et vont provoquer la mise en œuvre d'une loi sur la protection contre les inondations.

Les réflexions menées entre le milieu des années 1950 et les années 1990 vont surtout permettre de faire progresser les connaissances concernant l'évaluation des périodes de retour de crues et l'évaluation des probabilités de rupture de digues²⁵. En revanche, le domaine économique constitue le « parent pauvre » des études et recherche réalisées durant cette période.

Les fonctions de dommages et d'endommagement qui sont disponibles en Hollande ont été élaborées à partir du retour d'expérience de la crue de 1953. Les chercheurs en économie ont saisi l'opportunité des grandes crues de 1993 sur la Meuse pour remettre à jour et compléter ces fonctions de coûts (qui relient la hauteur d'eau au montant des dommages unitaires – une maison, un entrepôt...). Cependant, les inondations de 1995 ayant touché les mêmes secteurs, ont montré que les courbes disponibles présentaient « une large bande d'incertitude ». Le décalage non négligeable qui a été mis en évidence pose le problème de la validité statistique des fonctions élaborées à partir du retour d'expérience. Les chercheurs impliqués avancent

25. Des guides techniques auxquels doivent se référer les bureaux d'études sont publiés.

l'hypothèse que les différences constatées entre ces deux événements historiques récents sont vraisemblablement dues au mode de gestion de la crise²⁶.

Le développement des approches d'évaluation et de quantification des dommages constitue aujourd'hui un objectif de recherche appliquée (quatre équipes travaillent sur le sujet grâce à des programmes de recherches financés par le gouvernement). Les pistes qui sont poursuivies concernent l'évaluation des dommages directs et indirects, des pertes financières indirectes, des dommages intangibles et l'introduction des méthodes contingentes dans les évaluations. Les évaluations économiques sont développées dans le cadre des analyses coûts/avantages et des analyses multicritères. En revanche, les démarches ne donnant pas lieu à une évaluation monétaire ne sont pas étudiées. De même, il est peu fait appel aux données provenant des assurances dans l'estimation des impacts économiques.

2.3. La situation en Allemagne

En Allemagne, l'évaluation des impacts socio-économiques est devenue une composante des décisions de projet au début des années 1970. Une loi relative à la révision des budgets du gouvernement fédéral et des Länders, votée en 1972, a introduit l'obligation de réaliser une analyse économique à l'occasion des projets d'infrastructures publiques. À l'instigation des différents ministères en charge de la gestion de l'eau, cette analyse s'est étendue au domaine des inondations dès cette époque.

Les méthodologies d'évaluation des dommages dus aux inondations, fortement influencées par les expériences anglaises et américaines, se sont développées dans un contexte de restriction budgétaire. Focalisées sur l'analyse coûts/bénéfices, les premières évaluations ont été réalisées dans le but de définir des stratégies de gestion du risque d'inondation (hiérarchisation des actions de lutte contre les inondations). Par la suite, des approches permettant de minimiser les conflits entre les objectifs économiques et écologiques ont été mises au point, pour répondre aux préoccupations de développement durable des zones inondables.

En Allemagne, les analyses des impacts socio-économiques des inondations jouent un rôle important dans la gestion de ce risque. Aujourd'hui, de telles évaluations sont conduites principalement dans trois domaines :

- la protection contre les inondations côtières (optimiser la planification des projets, analyser la vulnérabilité face aux inondations en regard des impacts dus au changement climatique) ;
- la protection contre les inondations sur les grands fleuves (Rhin, Danube) ;
- la planification, à une échelle locale, de l'implantation des activités économiques.

Les investigations majeures en matière d'évaluation sont le fait de « joint ventures » entre des universités et des bureaux d'études. Actuellement, 5 universités et 3 bureaux d'études travaillent dans ces domaines. Par ailleurs, les analyses coûts/bénéfices constituent un marché particulier qui mobilise une dizaine de bureaux d'études.

26. Cette conclusion se retrouve également dans un article consacré aux dommages des crues de Cologne (en Allemagne) survenues récemment. Il apparaît que sur un même territoire le montant de dommages à l'habitat a été estimé à 110 millions de Marks pour la crue de 1993 et à 85 millions de Marks pour celle de 1995, pourtant plus importante. L'auteur de l'article met cela au compte du comportement des habitants ayant acquis une certaine culture du risque suite à l'événement de 1993. Cette remarque tend à démontrer que les fonctions de dommage et d'endommagement devraient introduire un certain nombre de nuances en relation avec la manière dont la crise est gérée.

Deux groupes de travail nationaux, jouant un rôle fondamental dans ce champ de recherche appliquée, doivent également être mentionnés.

Le premier groupe, nommé *Project Planning and Assessment Procedures*, dépend de la *German Association for Water Ressources and Land Improvement*. En 1985, il a publié un guide méthodologique consacré à l'évaluation économique des politiques de lutte contre les inondations. Depuis, il s'intéresse au développement des approches multicritères intégrant des composantes non monétaires, avec un lien fort vis-à-vis des impacts environnementaux.

Le second groupe de travail, intitulé *Cost-Benefit in Water Management*, existe depuis 1974. Il s'inscrit dans un cadre de coopération entre les 16 ministères fédéraux responsables de la gestion de l'eau et de la réglementation en la matière. Dans le domaine de l'évaluation des impacts des inondations, ce groupe a défini des normes de référence pour le recueil des données, développé une base de données et mis au point des procédures permettant de générer des fonctions d'endommagement pour une large palette de type d'occupation des sols. Il prépare la publication d'un guide méthodologique sur l'analyse des dommages.

En Allemagne, on distingue deux types de méthode d'évaluation économique du risque d'inondation, en fonction de l'échelle d'investigation considérée :

- l'analyse microéconomique qui s'intéresse à la planification locale ;
- l'approche à moyenne échelle qui est appliquée aux linéaires des fleuves, aux bassins versants hydrographiques et aux plaines côtières.

Entre les deux approches, il existe des différences concernant les sources d'information utilisées, les modes de traitement des données et la précision des résultats.

Elles ont cependant en commun de déterminer les conséquences d'inondation au regard :

- de la santé des sinistrés (non exprimée en termes monétaires) ;
- des dommages aux activités, aux collectivités et aux biens des individus ;
- des conséquences culturelles et environnementales (non exprimées en termes monétaires) ;
- des coûts des mesures de secours.

L'analyse microéconomique utilise trois types de données différentes : l'occupation des sols, le calcul des paramètres hydrauliques et les dommages potentiels en fonction des modes d'occupation des sols.

L'approche à moyenne échelle, pour laquelle une démarche unité par unité (logement, entreprise, etc.) ne peut être mise en œuvre, consiste à exploiter des sources de données statistiques existantes et à les adapter à la problématique du calcul des impacts de l'inondation.

En Allemagne, le retour d'expérience joue un rôle très important dans les démarches d'évaluation des impacts, tout particulièrement dans la constitution de bases de données sur les dommages. La première tentative de constituer une telle base de données à l'échelle nationale date des années 70. Elle est considérée comme un échec relatif, notamment parce que le questionnaire élaboré nécessitait un investissement important de la part des services chargés de le remplir (un parallèle peut être fait avec une tentative similaire en France à la même époque). Mais, à l'inverse de la France, l'Allemagne tira les enseignements de cet échec et une nouvelle approche fut mise au point, basée notamment sur des instructions de collecte plus précises. Depuis, des campagnes de recueil d'information sont lancées régulièrement sur des secteurs sinistrés. Elles sont confiées au groupe déjà cité *Cost-Benefit in Water Management*.

2.4. La situation en Amérique du Nord

Les États-Unis se caractérisent par une littérature abondante sur le thème « économie et inondation », mais qui est pour l'essentiel assez ancienne. Les publications récentes portent sur des approches macroéconomiques de la gestion des inondations, plutôt que sur la présentation technique de fonctions d'endommagement ou des outils de simulation. Ceci traduit bien le niveau d'avancement des réflexions dans ce pays.

L'évaluation économique dans la gestion du risque fait son apparition dans la seconde moitié des années 1960. Deux lois successives sur le contrôle des inondations (1936 et 1938) imposent en effet le recours à des analyses coûts/bénéfices dans l'élaboration et l'évaluation des projets fédéraux de gestion des crues. Si ces analyses sont développées de longue date dans les projets de lutte contre les inondations, elles continuent d'être l'objet de vigoureux débats.

Depuis cette période, les Agences fédérales de développement des ressources en eau ont établi des procédures détaillées d'évaluation économiques largement utilisées dans la gestion et le contrôle des zones inondables. De nombreux organismes ont par ailleurs développé des bases de données et des méthodes d'évaluation.

Les recherches dans ce domaine semblent initiées à la fois par des chercheurs de laboratoires spécialisés, tels que le *Natural Hazards Research and Application Information Center* et par des organismes fédéraux comme le très célèbre *U.S. Army Corps of Engineers*, qui joue un rôle déterminant dans les projets d'aménagement et de gestion des cours d'eau. D'autres institutions sont également très présentes dans le domaine, c'est particulièrement le cas de l'*Association of State Civil Engineers*. La participation des bureaux d'études au développement des méthodes est difficile à évaluer.

Comme en France et dans les autres pays européens, les évaluations des impacts économiques des inondations se caractérisent aujourd'hui par l'utilisation importante des systèmes d'information géographique, en raison de l'automatisation des calculs et de la traduction cartographique que ces outils autorisent.

Les efforts de recherche en Amérique du nord semblent porter plus sur le perfectionnement des outils d'automatisation des calculs que sur l'amélioration de la caractérisation et de l'évaluation des dommages unitaires. Il est vrai que des bases de données importantes existent. La qualité des informations disponibles est jugée satisfaisante et le niveau atteint par les évaluations est considéré comme étant suffisant pour apporter une aide à la décision. En cas de survenance d'un événement catastrophique, l'objectif visé par l'évaluation est d'avoir rapidement un ordre de grandeur de l'ampleur des impacts et non d'affiner les modalités de calcul.

On notera que la *Federal Emergency Management Agency*, qui a mis au point un outil d'estimation des pertes potentielles consécutives à des séismes, travaille actuellement au développement d'un outil similaire pour le cas des inondations qui devrait être opérationnel dans quelques années.

Par ailleurs, le retour d'expérience mis en place en Amérique du Nord a permis d'établir des coefficients d'endommagement standards (en particulier pour l'habitat), qui sont régulièrement corrigés avec l'aide des experts qui interviennent dans l'estimation des pertes consécutives aux inondations. Ces coefficients ont été mis au point dans le cadre du *National Flood Insurance Program*.

Enfin, il faut signaler que la dynamique de recherche en économie est à l'origine du développement de méthodes telles que l'évaluation contingente ou l'analyse des prix hédonistes qui sont largement utilisées pour l'évaluation des biens environnementaux, mais également mobilisées pour l'évaluation des impacts indirects des inondations (par exemple pour estimer les effets des inondations sur le prix de l'immobilier et du foncier).

3. LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS D'UNE ANALYSE DES SAVOIR-FAIRE

Même s'il ne s'agit pas d'une véritable analyse comparative des situations entre la France et les pays étrangers considérés, il est néanmoins possible de mettre en exergue les différences et les similitudes qui apparaissent d'emblée. Par ailleurs, il semble intéressant de s'interroger sur les possibilités de transferts méthodologiques et sur l'intérêt d'une confrontation des expériences.

3.1. Similitudes et différences

Dans les différents pays considérés, les investigations en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations prennent naissance dans les années 1960 et se développent au cours de la décennie suivante. Cette période de croissance économique et d'urbanisation est marquée par un essor des activités humaines dans les zones soumises aux risques d'inondation et corrélativement par un accroissement du coût des dommages en cas de survenance d'événements catastrophiques. L'introduction de l'analyse économique dans la gestion du risque d'inondation a alors pour objectif d'apporter un argumentaire économique aux décisions relatives à la réalisation de mesures structurelles de protection. De fait, les évaluations vont d'abord s'intéresser aux effets les plus visibles des inondations, à savoir les dommages directs, puis être élargies progressivement à d'autres types d'impacts.

Il apparaît ensuite que la progression des connaissances dans ce domaine dépend étroitement de la volonté des pouvoirs publics de faire de l'évaluation économique un élément d'aide à la décision à part entière. L'obligation de réaliser une analyse des impacts socio-économiques en amont des projets d'aménagement, qui est inscrite dans les textes en Angleterre, en Allemagne et aux USA, va en effet faciliter la constitution puis la consolidation d'un véritable savoir-faire. Elle permet la mise en place d'équipes de recherche qui vont développer des protocoles d'évaluation et élaborer des fonctions de dommages diversifiées. Elle favorise en outre le développement d'outils d'évaluation au sein des bureaux d'étude. Dans ce contexte, l'organisation d'un retour d'expérience et la constitution de bases de données sur les dommages semble s'imposer tout naturellement au niveau des pays cités.

On peut remarquer que dans tous les cas, le nombre d'équipes de recherche et de bureaux d'étude intervenant dans ce domaine est très restreint. En Angleterre comme aux USA, ce sont les chercheurs qui détiennent le savoir-faire. En Allemagne, le développement des méthodes d'évaluation est le fait d'une association entre bureau d'études et laboratoires de recherche.

Concernant les approches d'évaluation, on peut remarquer que la France fait figure d'exception en développant des démarches dites qualitatives (à travers l'analyse des enjeux et de la vulnérabilité). Ceci est peut-être lié à des questions culturelles ou au fait que les évaluations dites quantitatives sont mieux « rôdées » à l'étranger. Pour tous les pays considérés, il apparaît que le recours aux données produites par les assurances reste marginal.

En regard du champ de l'évaluation, quel que soit le pays considéré, on constate les mêmes difficultés pour ce qui concerne l'évaluation des dommages intangibles, qui demeure du domaine de la recherche. On observe qu'aujourd'hui l'évaluation ne porte plus uniquement sur les dommages aux biens et aux personnes, mais traite aussi des impacts des inondations sur l'environnement. On remarque également un élargissement des objectifs décisionnels : il ne s'agit pas simplement de mener des évaluations pour justifier l'intérêt de réaliser des aménagements lourds (barrages, digues...) mais aussi pour discuter de l'opportunité de préserver et/ou de reconquérir des zones inondables non urbanisées. Les réflexions à ce sujet, qui passent par l'utilisation de méthodes issues de l'économie de l'environnement ou d'approches multicritères, semblent plus avancées à l'étranger qu'en France.

Enfin on notera que les situations sont relativement identiques en ce qui concerne la mise au point d'outils d'automatisation des calculs, utilisés pour simuler les effets de différents scénarios d'aménagement et/ou de gestion du risque d'inondation.

3.2. Confrontation des expériences et transferts de méthodes

En France, l'absence de capitalisation des connaissances constitue un obstacle majeur à la consolidation des acquis et la progression des méthodes de travail. C'est pourquoi il est intéressant de s'interroger sur les possibilités d'utiliser les acquis étrangers pour nos propres évaluations. Cette remarque est d'autant plus importante à faire que l'on observe régulièrement, pour le calcul des dommages sur un site donné, une application de fonctions de dommages issues de la littérature étrangère, sans d'ailleurs s'interroger sur la pertinence d'une telle opération.

Si une transposition des méthodes d'évaluation (les démarches d'analyse et d'estimation des impacts, les modalités de recueil d'information et d'exploitation des données) semble *a priori* possible, il n'en va pas de même pour une « importation » des résultats et en particulier un transfert direct des fonctions de coûts mises au point à l'étranger. Prenons l'exemple de l'évaluation des dommages à l'habitat individuel. Quelle soit issue de l'exploitation de résultats d'enquêtes sur des coûts réels subis ou de simulations de coûts potentiels à partir d'une expertise, une fonction de dommage à l'habitat est élaborée après avoir établi une typologie de l'immobilier et du mobilier en tenant compte notamment des caractéristiques de la construction (types de matériaux utilisés, architecture des bâtiments, organisation des logements) et des niveaux d'équipements des ménages. Ces caractéristiques, qui permettent de définir des standards, sont différentes d'un pays à l'autre.

L'utilisation de fonctions de coûts établies dans des contextes socio-économiques différents semble *a priori* plus facile en ce qui concerne les activités industrielles, pour lesquelles les caractéristiques socioculturelles jouent un rôle moindre. On peut en effet constater, pour une même activité industrielle, des modes de développement et d'organisation des outils de production similaires d'un pays industrialisé à l'autre.

Cependant, quel que soit le type d'impact considéré, l'extrapolation directe au contexte français de fonctions de dommages élaborées à l'étranger ne doit pas être recherchée comme une fin en soi, ni comme une façon de palier l'absence de données locales. Pour juger d'une éventuelle transposition des résultats d'une zone à l'autre, il faut au minimum pouvoir accéder aux informations détaillées sur la description des biens pris en compte dans l'établissement d'une fonction globale, mais aussi sur la taille de l'échantillon de données considéré pour le calage d'une telle fonction. Pour l'évaluation des dommages, l'élaboration de fonctions de coûts à partir de données locales reste nécessaire. Seule une confrontation des résultats peut être intéressante car elle donne une idée de la forme générale que prennent ces fonctions. Elle

peut également permettre de mieux apprécier l'importance relative des paramètres physiques de submersion ou des facteurs humains sur l'ampleur des dommages.

À titre illustratif, soulignons que le Flood Hazard Research Centre, associé aux bureaux d'étude français lors de la première phase de l'étude consacrée à l'analyse des désordres et des dommages résultant des différentes crues de la Seine et de la Marne dans l'agglomération continue d'Ile-de-France, avait suggéré de retenir pour les logements des courbes de dommages mises au point en région parisienne plutôt que d'utiliser les fonctions anglaises disponibles et, pour le cas des activités, de panacher entre les données françaises et anglaises. En matière de transposition, il convient donc d'appliquer le principe de précaution.

Au-delà de cette question, il apparaît qu'une confrontation des expériences étrangères en matière d'approche des impacts économiques pourrait éclairer certains choix méthodologiques. Par exemple, des échanges avec les équipes étrangères permettraient :

- de s'interroger sur la question fondamentale des niveaux de précision qu'il est possible - et souhaitable - d'atteindre²⁷ ;
- de mieux comprendre quelles utilisations sont faites des résultats des calculs, quelles sont les modalités d'exploitation de l'information dans l'aide à la décision et quelle analyse critique les experts étrangers font de cette utilisation ?
- d'éclairer nos interrogations relatives à l'organisation du retour d'expérience : comment est-il pratiqué, avec quels moyens, quels éclairages apporte le retour d'expérience sur les limites de validités des évaluations, etc. ?
- d'évaluer l'intérêt et les limites d'autres approches qui s'esquissent en France (le recours aux données de l'assurance, au dire d'expert...) ou de chercher à comprendre pourquoi les approches de la vulnérabilité sont quasiment inconnues dans les pays sollicités pour cette enquête.

4. CONCLUSION

À l'issue de ce bilan, il apparaît que l'état de l'art en matière d'évaluation des impacts socio-économique des inondations suit une logique offre/demande. En d'autres termes, l'offre de méthodes et le niveau des connaissances répondent à la demande formulée par les gouvernements, qui dépend elle-même de l'importance du risque d'inondation sur un territoire donné et de la pression sociale. Ce schéma se traduit par des savoir-faire différenciés selon les pays considérés, en fonction de la place offerte aux évaluations dans les décisions de gestion des risques d'inondation.

La progression des connaissances et les développements méthodologiques suivent des cheminement différents. Les pays anglo-saxons poursuivent dans la voie de l'évaluation dite quantitative en améliorant l'estimation monétaire des dommages et en élargissant progressivement le champ de l'évaluation à des impacts mal connus jusqu'alors (impacts patrimoniaux et environnementaux). Tout en cherchant à faire progresser les approches quantitatives, la France semble s'orienter quant à elle vers la mise au point de démarches plus qualitatives. Cette orientation, influencée par l'état de l'art et les connaissances disponibles, peut être considérée comme une étape nécessaire (pour permettre une meilleure prise de conscience de l'intérêt des évaluations dans les processus de décision) mais pas suffisante (dans la mesure où les décisions restent basées sur des données chiffrées).

27. Au Québec ou en Suisse, le choix a été fait de ne pas viser un niveau de précision trop grand, jugé illusoire ou trop fastidieux à atteindre. En Angleterre, les chercheurs continuent cependant à peaufiner des fonctions de dommages avec un luxe de détail étonnant.

Quelle que soit la voie choisie, une évaluation des impacts socio-économiques nécessite d'identifier clairement tous les types d'enjeux en présence et de pouvoir les caractériser séparément les uns des autres. Opération d'autant plus délicate qu'ils présentent des effets combinés et en chaîne qui peuvent être immédiats ou différés et qui peuvent s'exprimer à différentes échelles spatiales. De fait, l'évaluation renvoie à une réalité complexe où les sources d'erreur possibles sont très nombreuses. La méconnaissance conceptuelle des interfaces entre l'inondation et la société peut alors conduire à des évaluations présentant des défauts profonds de cohérence (Torterotot, 1993).

Les difficultés méthodologiques rencontrées pour évaluer l'ensemble des impacts des inondations et les incertitudes qui demeurent sur les résultats conduisent à s'interroger sur les approches à développer dans l'avenir mais aussi sur l'utilité de ces développements. Les investissements humains et financiers à consentir pour améliorer notablement la qualité des méthodes d'évaluations et donc des résultats sont certainement très importants. L'absence de véritable « marché » de l'évaluation, qui se traduit par un nombre limité des bureaux d'études et de consultants qui interviennent sur ce thème, ne facilite pas une évolution qualitative des méthodes ni une innovation en la matière (on observe une tendance générale à vivre sur les acquis). En outre, la faible mobilisation des chercheurs en sciences humaines sur le sujet ne favorise pas la nécessaire consolidation des méthodologies employées (fondements théoriques et scientifiques des évaluations).

Éléments de terminologie

- **L'aléa** correspond à ce qui caractérise la submersion, indépendamment du mode d'occupation des sols. Il est lié à la fois à des paramètres naturels (pluie, ruissellement, formation de la crue) et à des facteurs anthropiques (gestion des ouvrages hydrauliques existants, modification de la morphologie des cours d'eau et de l'occupation des sols dans les lits majeurs, modification des processus d'érosion et de ruissellement naturel...).
- **Le désordre** est l'expression des impacts directs et indirects d'une inondation. Il peut s'agir par exemple de désordres physiques (le linéaire de berges érodées lors d'une inondation, la dégradation des ouvrages...) ou socio-économiques (le nombre d'habitations ou d'activités touchées, le nombre d'utilisateurs concernés par l'interruption du fonctionnement d'un réseau technique ou d'un service urbain...).
- **Le dommage** est une valeur anthropocentrique par nature qui traduit la conséquence économique défavorable de l'inondation sur les biens, les activités et les personnes. On distingue les dommages directs (toute perte liée à l'impact physique de l'inondation, occasionnant une destruction matérielle ou corporelle) et les dommages indirects (conséquence de l'apparition de certains dommages directs et de la submersion proprement dite sur les activités et les échanges à l'intérieur et à l'extérieur de la zone inondée).
- **L'endommagement** d'un bien exprime le rapport entre la valeur des dommages et la valeur totale du bien exposé (immobilier et mobilier).
- **L'enjeu** correspond à une caractérisation physique, économique ou financière des éléments (biens, activités, personnes) exposés à un événement d'inondation donné ou concernés par celui-ci.
- **La fonction de dommage** est une relation mathématique qui permet de quantifier un montant de dommage en fonction des paramètres physiques influants (hauteur d'eau, durée de submersion, vitesse de montée des eaux, vitesse du courant, charge en sédiment, saison de survenance de l'inondation). Le montant de dommage est exprimé en francs.
- **La fonction d'endommagement** est une relation mathématique qui permet de quantifier un montant de dommage relatif par rapport à la valeur totale du bien considéré. L'endommagement est exprimé en pourcentage, en fonction des paramètres physiques explicatifs (généralement la hauteur d'eau).
- L'impact se rapporte à tout changement observé dans la société suite à la survenance d'un événement d'inondation ou du fait de la probabilité d'occurrence du risque. Il peut être négatif (dommage) ou positif (gain, bénéfice). Il peut être primaire (lorsqu'il se produit dans la zone inondable) ou secondaire (lorsqu'il concerne des espaces situés en dehors de la zone inondable).
- Le risque est défini comme la résultante de deux facteurs : l'aléa et la vulnérabilité. Pour désigner les inondations, on parle de risque naturel majeur. Il n'y a pas de risque sans aléa naturel ni sans élément de vulnérabilité exposé.
- **La vulnérabilité** exprime classiquement le lien entre l'aléa, la nature et l'importance des enjeux exposés, les ressources disponibles pour y faire face (délais pour agir, capacité physique des personnes, moyens financiers pour accélérer les remises en état, la couverture assurantielle des personnes...) et les impacts qui en découlent. Elle est souvent traduite comme la mesure des conséquences dommageables de l'inondation sur les enjeux. Dans ce cas, son analyse donne lieu à une évaluation classique des dommages. Cette définition restrictive est de plus en plus fréquemment remise en cause. On considère en effet que la vulnérabilité traduit la fragilité d'un système socio-économique dans son ensemble face au risque. Son analyse a alors pour objectif de mesurer la propension de ce système à subir des dommages en cas de survenance d'un événement (ou mesurer sa faculté à résister aux impacts).

Chapitre 2

LES ÉVALUATIONS A *POSTERIORI*

Sous le terme d'évaluation *a posteriori*, sont regroupées des études et des recherches qui sont basées sur l'analyse des impacts socio-économiques des crues historiques (analyse d'un événement particulier ou d'une série d'événements passés). L'étude de cas est le matériau de base de ce type d'évaluation, les événements récents constituant en effet une source d'information privilégiée.

La plupart des évaluations *a posteriori* a pour objectif d'apprécier les conséquences des inondations en terme de dommages occasionnés, afin de fournir une aide au choix des mesures structurelles de lutte contre les inondations à prendre. Les résultats d'évaluations réalisées dans ce but sont utiles pour améliorer les méthodologies d'évaluation *a priori* des impacts²⁸.

Les évaluations *a posteriori* peuvent également être réalisées dans l'optique d'analyser les modalités de gestion de la crise et de la post-crise sur le terrain (comportement des acteurs face au risque, mise en place de mesures de protection individuelles ou collectives, efficacité de l'annonce de crue, de l'organisation des secours, de l'aide financière apportée aux sinistrés, mode d'expression de la solidarité...). Dans ce cas, les résultats sont utiles à la définition de mesures de prévention non structurelles. Ils peuvent en outre être mobilisés dans le cadre d'une analyse de la vulnérabilité de la société face au risque.

Outre le fait de souligner l'intérêt que présentent les évaluations *a posteriori*, l'objectif de ce chapitre est de mettre en évidence les principaux enseignements que l'on peut tirer des quelques expériences disponibles. Après avoir retracé l'évolution dans le temps des pratiques, ce chapitre propose des éléments de réflexion sur la façon de mener ces évaluations, puis présente quelques résultats significatifs tirés d'études de cas.

1. LES EXPÉRIENCES DISPONIBLES

La réalisation d'un bilan des expériences disponibles en matière d'évaluation *a posteriori* nous conduit à faire trois remarques préliminaires. Les travaux sur le sujet sont en nombre relativement restreints, ils ont été réalisés par vagues successives et leurs objectifs ont évolué dans le temps. Quelques études récentes semblent relancer l'intérêt des évaluations *a posteriori*. Cependant, l'absence de retour d'expérience organisé pour permettre d'alimenter les réflexions et d'améliorer les méthodes d'évaluation, constitue réellement le facteur limitant de ce type d'approche.

28. L'élaboration de fonctions de dommages peut se faire en effet à partir de l'exploitation de résultats d'enquêtes sur des coûts réels subis lors de la survenance d'une inondation.

1.1. Des travaux anciens et en nombre restreint

Les premières évaluations *a posteriori* datent des années 1970-1980. Elles sont réalisées dans le cadre d'études relatives à la lutte contre les inondations, recevant le soutien financier des Agences financières de bassins et l'appui technique des services extérieurs de l'État (services de la Navigation, directions départementales de l'Équipement, services régionaux d'aménagement des eaux...) ²⁹. Sur le plan économique, ces études ont pour objectif de recueillir des informations sur les dommages subis à la suite de crues historiques récentes, afin d'estimer leur coût moyen annuel à l'échelle d'un bassin versant ³⁰, de mettre au point des ratios d'endommagement pour différents types de biens et, à terme, de pouvoir calculer des dommages potentiels compte tenu du contexte économique local et de son évolution prévisible.

Ces premiers travaux recèlent une masse importante d'informations sur les dommages dus aux inondations fluviales, car ils ont donné lieu à un travail de terrain approfondi. Ils marquent une étape importante en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations car ils proposent des mises au point méthodologiques concernant la collecte et l'exploitation des informations.

Une seconde série d'études, en nombre plus restreint, est menée au milieu des années 1980 dans le cadre de la mise en œuvre des analyses de vulnérabilité inscrites dans les procédures réglementaires de prévention des risques (Plan d'exposition au risque). Des enquêtes de terrain sont effectuées à cette occasion, sur des sites ayant connu des inondations récentes et faisant l'objet d'une réglementation, afin de recueillir des données sur les dommages directs ³¹. Compte tenu du faible écho rencontré sur le terrain par les études de vulnérabilité en vue de la cartographie réglementaire ³², le principal intérêt de ces travaux réside dans la mise au point d'un protocole d'enquête en vue de l'estimation des dommages et dans la constitution d'une première base de données organisée de façon à permettre des traitements statistiques des informations recueillies. Ces données sont d'ailleurs utilisées pour esquisser les premières fonctions de coûts.

À la fin des années 1980 et au début des années 1990, une troisième série d'études est réalisée cette fois dans un cadre de recherche ³³. De nouvelles enquêtes de terrain sont menées dans le but de recueillir des données sur les dommages subis par les occupants des zones inondables à la suite de crues récentes. Ces données sont utilisées pour construire des fonctions de dommages à l'habitat et aux activités plus élaborées que précédemment. Relatives à des inondations lentes, ces études de cas sont également l'occasion d'analyser les réponses des occupants à l'annonce de crue et à la montée des eaux (évaluation de la performance du système d'annonce de crue et du niveau de satisfaction des usagers, évaluation de l'efficacité des réponses humaines vis-à-vis de la réduction des dommages).

29. Voir bibliographie (point 2). On notera que les Agences financières de bassin ont pris le nom d'Agences de l'eau et que les services régionaux d'Aménagement des eaux (SRAE) ont été intégrés aux directions régionales de l'Environnement (DIREN), créées au début des années 1990.

30. Au début des années 1980, le BCEOM développe une méthode d'évaluation du coût moyen annuel des dommages. L'ouvrage de référence, cité en bibliographie, est intitulé : *Lutte contre les nuisances des inondations. Méthode sommaire d'évaluation des critères économiques* (BCEOM, 1980).

31. Voir bibliographie (point 3).

32. Pour plus de précisions, on se reportera au troisième chapitre de cette partie consacré à l'analyse et à l'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité (point 2).

33. Voir dans la bibliographie : Torterotot J.-P., 1988 et 1989.

1.2 Quelques études récentes

Pour compléter ce rapide tour d'horizon, trois études de cas récentes doivent être mentionnées en raison de leur apport méthodologique. Il s'agit des études des conséquences économiques de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988, des crues de l'Ouvèze et des rivières du mont Ventoux de septembre 1992, et enfin des crues de l'Orb de décembre 1995 et de janvier 1996. Un bref rappel des contextes dans lesquels ont été réalisées les évaluations *a posteriori* est présenté ici. Les types d'impacts étudiés, les données recueillies et les principaux résultats de ces travaux sont repris dans les points 2 et 3 du présent chapitre.

À la suite de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988, une recherche consacrée à l'évaluation des impacts financiers et économiques de l'événement a été menée³⁴. Elle souligne notamment que l'estimation du coût financier d'une catastrophe doit porter à la fois sur l'estimation des pertes et des gains qu'elle engendre.

Les pertes à prendre en considération sont de deux ordres :

- les coûts directs relatifs au remplacement ou à la réparation des biens matériels touchés (infrastructures, biens immobiliers et mobiliers, stocks de matières premières, de produits finis, de pièces détachées...) et les dépenses engagées lors de la crise (opérations de sauvetage, de secours d'urgence, d'assistances diverses, de déblaiement et de nettoyage...);
- les coûts indirects relatifs aux répercussions financières de la catastrophe (biens et ressources qui ne seront pas produits, services qui ne seront pas fournis, charges financières liées à l'endettement nécessaire à la reconstruction, activités empêchées par l'affectation de fonds initialement destinés à d'autres fins).

Les gains, quant à eux, correspondent essentiellement à des activités induites par la catastrophe et qui engendrent des recettes (activités de réparation effectuées par des entreprises, matériaux vendus par des commerçants, transferts d'activités vers des entreprises de substitution situées hors de la zone sinistrée, gains financiers liés aux prêts bancaires et aux aides exceptionnelles accordées aux sinistrés...).

Pour évaluer l'impact économique d'un événement catastrophique, il est proposé d'analyser certains indicateurs financiers. Pour les collectivités affectées, il s'agit de l'inflation, de la dégradation des finances publiques, de la détérioration de la balance des paiements, et de la modification du capital investi. Pour les particuliers et les entreprises sinistrés, le principal indicateur retenu est le taux d'endettement.

Enfin, il est suggéré de mener l'évaluation *a posteriori* en considérant trois zones géographiques :

- la zone sinistrée proprement dite sur laquelle sont observés les dommages directs ;
- une zone d'influence qui subit ou bénéficie économiquement des conséquences des dommages ;
- une zone externe dans laquelle il y a des relations financières institutionnalisées (via les compagnies d'assurance, les banques et les organismes publics apportant des aides).

Dans le cadre du schéma de restauration et d'aménagement du bassin de l'Ouvèze et des rivières du mont Ventoux, une étude des conséquences socio-économiques des crues de septembre 1992 a été conduite en 1997 (BLC, 1997). Deux objectifs ont été poursuivis.

34. Cette recherche, financée par le ministère de l'Environnement (DGAD/SRAE), est réalisée en 1996 par le BRGM. Elle a été présentée lors du séminaire par Claire Arnal, dont la communication écrite figure dans la seconde partie de l'ouvrage.

Le premier vise à évaluer les impacts humains et financiers de ces événements sur le nord Vaucluse, à l'échelle des bassins versants et au niveau de chaque commune. Les enseignements tirés de cette analyse permettent de hiérarchiser et de nuancer l'importance des dommages subis par les différents acteurs économiques (particuliers, agriculteurs, entreprises, communes, mais aussi État et collectivités territoriales) en tenant compte de la variété des aides matérielles et financières qui ont permis d'atténuer les effets du sinistre (voir point 3 de ce chapitre).

Le second objectif concerne la qualification, à défaut d'une quantification, des enjeux actuels (personnes et biens exposés) et de leur vulnérabilité, vis-à-vis de nouvelles crues possibles. L'étude a souligné notamment que si les enjeux les plus exposés avaient été détruits par la crue, la vulnérabilité des biens toujours situés en zone inondable avait peu diminué, faute d'adoption de mesures de prévention sur l'existant. Elle fait également apparaître qu'au niveau des activités, les chefs d'entreprises estiment que la réduction de vulnérabilité relève des pouvoirs publics et non d'initiatives internes à l'entreprise (par une meilleure couverture via les assurances par exemple).

Citons enfin l'étude économique réalisée en 1997 à la suite de deux crues successives de l'Orb (décembre 1995 et de janvier 1996) ayant touché l'ensemble du bassin versant (SIEE et BLC, 1997)³⁵. Cette étude s'inscrit dans une problématique d'aménagement et de gestion du cours d'eau, au travers d'un contrat de rivière. Elle porte uniquement sur l'estimation des montants des dommages directs (aux ménages, à l'agriculture, aux activités et aux équipements publics).

Cette évaluation n'a pas donné lieu à un travail d'enquête systématique auprès de chaque commune concernée. La démarche a privilégié l'utilisation des sources d'information qui centralisent des données thématiques. L'analyse de la qualité des sources d'information potentielle a conduit à faire des choix et à éliminer certaines d'entre elles.

C'est ainsi qu'une exploitation des dossiers de demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, établis par les communes, a été faite mais n'a pas donné de résultats satisfaisants (du fait d'une qualité très hétérogène des dossiers et d'un contenu trop imprécis). De même, l'évaluation des dommages aux particuliers à partir des données des compagnies d'assurance a été écartée au profit d'une démarche auprès des experts mandatés par ces mêmes compagnies d'assurance pour estimer les sinistres.

Notons que dans le cadre de cette étude, il a été tenté de séparer les dégâts liés au débordement du cours d'eau et ceux liés au ruissellement de surface, afin de pouvoir définir ensuite les mesures de protection à mettre en œuvre. À titre illustratif, il apparaît que 22 % des dommages concernant la voirie sont consécutifs du débordement de l'Orb et 78 % reviennent au ruissellement.

1.3. L'absence de retour d'expérience organisé

L'organisation d'un retour d'expérience constitue la clé de voûte d'un système d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations. Il permet de recueillir et de mettre en forme les informations à la base de toute évaluation et de constituer des bases de données utilisables. Malgré l'importance de l'enjeu et contrairement à d'autres pays, la France n'a jamais structuré le retour d'expérience.

35. Cette étude a été présentée lors du séminaire et la communication écrite de Bernard Dartau (conseil général de l'Hérault) est reproduite en seconde partie de l'ouvrage.

On rappellera qu'en 1976, le ministère de l'Environnement prend l'initiative de mettre en place d'un fichier national des dommages dus aux inondations, à partir d'un recueil d'information questionnaire auprès de ses différents services extérieurs de l'État. Puis au début des années 80, une informatisation du fichier est envisagée. Mais au milieu de cette même décennie, la démarche est abandonnée sans doute pour de multiples raisons, parmi lesquelles l'absence d'adhésion des agents de l'État au niveau local et le manque de volonté du niveau central de dégager des moyens indispensables pour faire vivre le fichier.

De leur côté, les sociétés d'assurance, impliquées depuis 1982 dans la couverture des dommages directs occasionnés par les événements naturels majeurs, n'organisent pas non plus de retour d'expérience (du moins dans une forme utilisable pour une évaluation des impacts socio-économiques). La FFSA³⁶ comme l'APSAD³⁷ établissent des rapports annuels regroupant des données statistiques sur les indemnités versées au titre des catastrophes naturelles, mais ces derniers présentent des informations très agrégées (pas de distinction entre les types d'événements) et non spatialisées (données non rattachées à un site ayant subi une catastrophe). Toutefois, la démarche entreprise par la Caisse centrale de réassurance³⁸ depuis 1997 est de nature à faire évoluer les choses. Elle consiste à organiser, en collaboration avec les compagnies d'assurance un retour d'information sur les dommages dus aux inondations. À partir d'un cahier des charges établi par la CCR, les sociétés d'assurance sont sollicitées pour fournir des données sur les montants d'indemnisations versées à la suite des catastrophes naturelles, à l'échelle communale. L'opération prévoyait au départ de capitaliser des données sur les dix dernières années. Mais au vu des premiers retours d'information, seules les trois ou quatre dernières années pourront être prises en considération³⁹.

Les missions d'enquêtes spécialisées diligentées par le gouvernement à la suite des principales catastrophes naturelles constituent une autre forme de retour d'expérience. Depuis une dizaine d'années, des bilans globaux des dommages par type de bien et/ou d'acteurs sont réalisés notamment par la Mission d'inspection spécialisée de l'environnement (MISE). Chaque rapport d'enquête souligne les difficultés rencontrées pour rassembler les informations nécessaires et l'impossibilité d'être exhaustif. Le plus récent soulève le problème de l'absence de cadre méthodologique et de protocole de recueil de données. Il suggère l'établissement d'une méthode et d'un canevas d'évaluation des dommages⁴⁰.

2. RÉFLEXION MÉTHODOLOGIQUE SUR L'ÉVALUATION A POSTERIORI

Après une présentation des approches qui peuvent être utilisées pour une évaluation *a posteriori*, les impacts généralement étudiés seront examinés et les principales sources d'information seront mises en évidence.

36. Fédération française des sociétés d'assurances.

37. Assemblée plénière des sociétés d'assurances dommages.

38. La Caisse centrale de réassurance (CCR) est une société anonyme dont le capital est détenu par l'État. Dotée d'autonomie financière, elle est habilitée à couvrir en réassurance les compagnies d'assurance en offrant la garantie de l'État. Sans avoir le monopole de la réassurance, la CCR, étant la seule à offrir la garantie de l'État, réassure 80 à 90 % des sociétés d'assurance intervenant sur le territoire national.

39. D'après Dominique Bidan de la CCR, deux ans sont encore nécessaires pour obtenir des résultats.

40. Voir bibliographie (point 4).

2.1. Les différents modes d'évaluation

Les modalités d'une évaluation *a posteriori* peuvent prendre des formes différentes. On peut en effet réaliser des enquêtes directes auprès des personnes sinistrées, mobiliser une information déjà organisée, ou faire appel au « dire d'expert ». Le choix de l'une des approches possibles ou d'une combinaison de démarches dépend bien entendu des moyens disponibles et des objectifs poursuivis. Dans l'optique de réaliser un bilan, on privilégiera l'utilisation de toutes les sources d'information déjà organisées et mobilisables rapidement. S'il s'agit de construire des fonctions de dommage ou d'endommagement, on préférera recourir aux enquêtes directes. Dans tous les cas, si l'on souhaite analyser finement les différents types de dommages observés pour transposer ensuite ces éléments à d'autres inondations potentielles, voire à d'autres sites, cela suppose de collecter des données détaillées et très structurées. Quelle que soit la démarche utilisée, la collecte d'information sur des événements réels nécessite une planification préalable pour systématiser le recueil de données (qualitativement et quantitativement) et pour prévoir des validations d'informations (les bilans officiels établis en temps réels sont rarement repris par la suite pour être critiqués et complétés).

- La réalisation d'enquêtes auprès des personnes sinistrées pour recueillir des données sur les dommages directs et indirects pose un certain nombre de problèmes d'ordre méthodologique. Lorsque ces enquêtes sont réalisées « à chaud », c'est-à-dire peu de temps après la catastrophe, tous les dommages ne sont pas encore visibles. Un recensement trop prématuré ne permet donc pas de juger de la totalité des impacts⁴¹. Par ailleurs, ce type d'enquête directe contribue à « renforcer » le traumatisme des personnes concernées (les effets psychologiques des événements catastrophiques ne doivent pas être négligés). Les personnes interrogées refusent alors de répondre aux questions posées par les enquêteurs. En outre, il y a un risque que les individus enquêtés adoptent un comportement stratégique en exagérant l'étendue des dommages subis (pensant par exemple que l'enquête est réalisée pour leur compagnie d'assurance). Mais lorsque les enquêtes sont menées trop tardivement, les souvenirs des sinistrés sont forcément plus flous et les informations écrites ont disparu (factures de réparations ou de rachats de biens, dossiers d'assurance...). Il y a également un risque dans ce cas que le nombre d'enquêtés potentiels soit réduit du fait des éventuels déménagements d'entreprises ou de ménages.

En pratique, les enquêtes directes sur les événements vécus sont réalisées en moyenne dans un délai de cinq ans après le sinistre. On s'accorde à considérer qu'au-delà de dix ans, à l'exception de catastrophes majeures, les données d'enquête sont peu fiables.

Bien que lourde à mettre en œuvre et coûteuse, l'approche par enquête donne généralement de bons résultats. Mais leur qualité dépend essentiellement du soin apporté à l'enquête et de la taille de l'échantillon considéré, qui doit être suffisamment représentatif pour permettre une analyse de données pertinente. De plus, la réalisation d'enquêtes directes est l'occasion d'élargir le champ d'analyse de l'événement en s'intéressant au comportement et à l'attitude des individus face au risque, ainsi qu'aux réponses humaines apportées lors de la survenance de l'inondation.

- La mobilisation des différentes et nombreuses sources d'information permettant d'effectuer un bilan de la catastrophe pose également problème car les données sont dispersées. Elles sont présentes en particuliers dans les dossiers de demandes d'aides financières (pour réparation, renouvellement ou remboursement), établis par des organismes publics ou privés (administra-

41. À Nîmes par exemple, la municipalité constate encore aujourd'hui – soit onze ans après la catastrophe – l'apparition de nouveaux impacts (en particulier au niveau des infrastructures routières).

tion fiscale, chambres consulaires, collectivités territoriales, organismes de protection sociale, sociétés d'assurances, organismes financiers...).

Au lendemain d'une catastrophe, aucun organisme n'a en fait pour mission de rassembler l'ensemble des informations relatives aux dommages et à leur montant. Chaque organisme producteur d'information structure celle-ci sous une forme propre à ses besoins (le plus souvent pour la gestion des subventions et des aides). Les organismes gèrent les dossiers dans l'urgence et l'information disponible n'est pas directement exploitable pour une évaluation post-catastrophe. Cette gestion s'étalant dans le temps, il faut parfois attendre quelques années pour que les organismes bouclent les dossiers et fournissent des bilans de bonne qualité. Mais avec le temps, il n'est pas toujours facile de retrouver l'ensemble des informations nécessaires à l'évaluation. Les données conservées sont essentiellement relatives aux montants des aides et non aux montants des dommages.

L'information sur les dommages est parfois perçue par certains de ses détenteurs comme plus ou moins confidentielle. Cela peut constituer une source de difficulté supplémentaire. Il est donc nécessaire que les évaluateurs soient dûment mandatés par les commanditaires d'une étude post-catastrophe.

D'une façon générale, il est souvent difficile de trouver une information localisée (par commune, par quartier, par rue). Il est alors délicat de corréler précisément un niveau d'aléa à une évaluation des dommages, exercice pourtant nécessaire pour exploiter le retour d'expérience dans une perspective d'élaboration de fonctions de coût.

Enfin, on peut remarquer que la qualité des données disponibles est hétérogène. Les sources d'information présentent des niveaux de précision très variables. Alors que certains chiffres sont issus de bilans précis et fiables d'autres restent des approximations, réalisées sur la base de déclarations de sinistrés ou d'enquêtes sommaires.

2.2. Les différents types d'impacts évalués

En s'appuyant sur l'analyse de travaux récents en matière d'évaluation *a posteriori*, qui privilégient l'utilisation de bases de connaissances constituées localement à la suite des événements, nous présentons ici les sources de données mobilisées pour évaluer différents types d'impacts.

- Les préjudices humains, exprimés par le nombre de morts et de blessés graves, ainsi que par celui des disparus, sont toujours connus avec précision. Toutefois lors d'une évaluation, il est important de recueillir l'information relative aux conditions de survenance de ces préjudices, afin d'en distinguer les différentes causes (comportement imprudent, accident, etc.). Notons que les effets induits sur la santé n'ont jamais été étudiés dans le cadre des études consultées.

- Les dommages aux biens des particuliers sont souvent les plus difficiles à estimer. Depuis la mise en place du système d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles (1982), ce sont les compagnies d'assurance qui détiennent l'information concernant les dommages subis par les particuliers. Cependant, ces dernières acceptent rarement de mettre à disposition ce type de données. De toute façon, elles disposent en règle générale d'une information bien trop agrégée par rapport aux besoins des évaluations *a posteriori*. En outre, les données qui peuvent être fournies ne correspondent pas à des montants de dommages mais à des montants d'indemnisation. À l'heure actuelle, les démarches auprès des compagnies d'assurance restent très aléatoires et en général peu couronnées de succès.

Il semble donc préférable de se rapprocher des experts en évaluation des sinistres qui interviennent pour le compte des compagnies d'assurance. Ces experts détiennent en effet des informations plus précises, par assuré. Là encore, l'accès à l'information n'est pas toujours simple. Il est nécessaire, d'une part, d'obtenir l'accord des différentes compagnies pour lesquelles les experts interviennent et, d'autre part, d'effectuer un important travail de dépouillement car ces dossiers sont très rarement informatisés.

Cette démarche a été menée dans le cadre des évaluations réalisées à la suite des inondations de l'Orb et de l'Ouvèze. Les montants de dommages estimés à partir d'interviews d'experts ne sont cependant que des approximations. Dans le cas de l'Orb, le coût moyen des dommages a été évalué à 30 000 francs par logement sinistré, toute hauteur d'eau confondue (SIEE et BLC, 1997)⁴².

- Les dommages aux activités industrielles et commerciales sont également très difficiles à estimer. Les meilleures sources d'information sont en général les organismes consulaires (chambres de métiers et chambre de commerce et d'industrie). La qualité de l'information est cependant variable d'un organisme à l'autre, en fonction du rôle joué dans la gestion post-catastrophe et des méthodes de traitement de l'information adoptées. Les organismes consulaires recommandent toujours une grande prudence dans l'exploitation des chiffres qu'ils mettent à disposition (en particulier parce que les dossiers sont réalisés dans l'urgence).

La pertinence d'utiliser les données contenues dans les dossiers de demandes d'aides financières peut être discutée. Toutefois, ces dossiers apportent des informations qualitatives très intéressantes sur les difficultés rencontrées par les entreprises pour redémarrer suite au sinistre et sur la part des dommages qui est réellement supportée par les acteurs sinistrés (SIEE et BLC, 1997).

- Les dommages agricoles sont plus faciles à appréhender car l'information relative à leurs montants et à leurs natures est généralement disponible. Ces données sont le plus souvent localisées au sein des directions départementales de l'Agriculture et des Forêts (DDAF), qui gèrent la procédure de « calamités agricoles », et au niveau des chambres d'agriculture. Toutefois, elles sont rarement traitées sous une forme immédiatement exploitable. Un important travail de dépouillement est alors nécessaire pour réaliser des bilans par commune et par filière agricole.

Il n'est pas non plus toujours facile de faire la part des dommages qui relèvent du ruissellement ou des glissements de terrain et ceux qui sont directement liés à la submersion. Cette distinction est pourtant essentielle dans une estimation *a posteriori* d'un phénomène d'inondation. Dans le cas de l'étude des impacts économiques de la crue de l'Ouvèze et des rivières du mont Ventoux, cette différenciation a été faite « à dire d'experts » avec des interlocuteurs de la DDAF (BCEOM et BLC, 1997 – IPSEAU *et al.*, 1997).

- Les dommages aux biens d'équipements appartenant aux collectivités territoriales et de l'État peuvent en théorie faire l'objet d'une bonne évaluation. Mais l'expérience montre que là aussi l'information est très dispersée et nécessite un important travail d'investigation pour aboutir à des résultats significatifs.

Une source d'information est souvent évoquée pour évaluer ce type de dommages : les dossiers constitués par les communes, et remis aux préfetures, pour demander la reconnaissance

42. À titre de comparaison, le coût moyen des dommages, quelle que soit la hauteur d'eau, avait été estimé à 20 000 francs par logement inondé, lors d'enquêtes menées par J.-P. Torterotot en 1988-1989.

de l'état de catastrophe naturelle. Compte tenu des modalités actuelles de constitution de ces dossiers, nous estimons que leur dépouillement n'est pas un investissement rentable.

Dans le cas de l'étude des impacts économiques de la crue de l'Orb, leur exploitation a été tentée. Elle s'est avérée peu fructueuse car les documents étaient de qualité très hétérogène et leur contenu était peu précis. L'évaluateur s'est alors tourné vers d'autres sources d'informations et a utilisé des données provenant de la Chambre de commerce et d'industrie qui se sont avérées plus complètes et plus fiables (SIEE et BLC, 1997).

Plus particulièrement en ce qui concerne les dommages à la voirie, il est important de bien distinguer les dommages imputables aux débordements des rivières et ceux qui sont liés au ruissellement de surface (ayant engendré des glissements de terrain ou renversé des murs de soutènement). Pour ce faire, il est indispensable de travailler directement avec les producteurs d'information, tels que le conseil général, la direction départementale de l'Équipement et ses subdivisions.

Le montant des dommages aux infrastructures routières est généralement estimé par rapport au coût des travaux de remise en état ou aux dépenses de renouvellement. Dans le cas des inondations de l'Orb, il est apparu que les réparations effectuées sur les voiries, à la suite du sinistre, avaient été l'occasion d'anticiper des dépenses d'entretien et/ou de remise en état qui étaient déjà programmées. Quoi qu'il en soit, lors de l'évaluation *a posteriori*, il est souvent impossible de prendre en considération l'état de vétusté des biens au moment du sinistre⁴³.

En ce qui concerne les ouvrages d'assainissement, il apparaît que les stations d'épuration représentent souvent les sources de coûts les plus élevées.

Signalons que les sources d'information utilisables dépendent également du caractère assurable ou non des équipements considérés. Dans le cas des biens assurés (en particulier les bâtiments), les données sont disponibles auprès des collectivités territoriales. Dans le cas des biens non assurés (voiries et ouvrages de génie civil en particulier), l'information doit plutôt être recherchée au niveau des organismes sollicités pour des demandes de subventions.

- Les conséquences sur l'activité économique (locale et régionale) des dommages directs et des dysfonctionnements en tous genres (coupures de réseaux, arrêt ou ralentissement des activités économiques et des services publics, etc.) sont délicates à cerner et rarement évaluées faute de méthodes appropriées. Cela s'explique en partie par le fait que seuls les dommages directs donnent lieu à une indemnisation ou à une aide, alors que les impacts indirects, étalés dans le temps, font rarement l'objet de compensations financières.

La recherche consacrée à l'évaluation de l'impact économique et financier de la catastrophe de Nîmes s'est penchée sur cette question, en tentant d'apprécier les effets induits de l'événement (C. Arnal et P. Mazure, 1996). Trois indicateurs ont donc été considérés :

- les pertes d'exploitation des entreprises, qui correspondent soit au chiffre d'affaire non encaissé, soit aux bénéfices non réalisés, soit aux coûts fixes de production non couverts (main-d'œuvre et amortissement des machines), ou encore à la perte de valeur ajoutée (chiffres d'affaire diminués des charges externes) ;
- les frais financiers, qui proviennent de l'autofinancement que les victimes doivent supporter pour compléter les financements qui ne couvrent pas la totalité des dommages⁴⁴ ;

43. Voir à ce sujet, la communication de Bernard Dartau du conseil général de l'Hérault.

44. Dans le cas de Nîmes, la part d'autofinancement des entreprises et des particuliers a été estimée à 25 % en moyenne. Elle a été considérée comme étant de nature à paralyser les capacités d'investissement des agents économiques concernés.

– les diminutions de recettes pour les services fiscaux et/ou les collectivités, qui sont liées aux pertes d'exploitation (impôts sur les sociétés), au chômage (impôts sur les revenus), ou encore à la destruction d'habitations (taxe d'habitation).

- Enfin, les informations concernant le coût des secours, notamment les frais engagés dans le cadre du plan ORSEC (organisation des secours) sont facilement disponibles auprès des préfectures.

3. QUELQUES ENSEIGNEMENTS ET RÉSULTATS SIGNIFICATIFS

L'analyse des travaux consacrés à l'évaluation *a posteriori* des impacts socio-économiques des inondations permet de dégager quelques enseignements ou recommandations et de présenter les résultats les plus significatifs.

3.1 Les principaux enseignements

- Dans une étude d'évaluation *a posteriori* des dommages, la présentation des résultats chiffrés devrait toujours être accompagnée d'une description des sources d'information utilisées et d'une appréciation de leurs limites de validités. Une telle évaluation ne doit pas se limiter à un recueil de données chiffrées. Elle doit aussi se traduire par un recueil d'informations descriptives et qualitatives sur les impacts. Ce type de données est essentiel pour comprendre la nature et la réalité des vulnérabilités et ainsi mieux orienter des politiques de réduction des risques.

- Même lorsque les données collectées ne fournissent que des ordres de grandeur, elles permettent de hiérarchiser l'importance des dommages subis par les différents acteurs économiques (particuliers, entreprises, collectivités, État...). L'analyse des aides matérielles et financières, qui atténuent les effets du sinistre, permet quant à elle d'introduire des nuances et de mieux cerner « qui a subi quoi ? ».

- L'estimation de tous les impacts constitue une difficulté majeure de l'évaluation. Le montant de dommages, essentiellement directs dans le cas des études disponibles, reste une information incomplète de l'impact réel des crues sur l'activité économique. Ils ne traduisent pas par exemple les difficultés rencontrées par les entreprises pour retrouver une situation normale. Or ces difficultés ne sont pas directement proportionnelles au montant financier des dommages. Elles sont liées à l'état de santé des entreprises, à leurs capacités d'endettement, à leurs tailles...

L'évaluation des pertes d'exploitation subies par les entreprises est très difficile, sauf à réaliser une enquête entreprise par entreprise. En 1997, un travail de ce type a été mené auprès des commerces de Charleville-Mézières ayant subi des inondations en 1993 et 1995. L'exercice n'aboutit pas à des résultats très probants (BLC, 1997)⁴⁵.

- Les études *a posteriori* relatives à des catastrophes récentes ont mis en évidence le rôle de la gestion de crise et de post-crise dans l'ampleur des dommages, tout particulièrement en ce qui concerne les dommages indirects subis par les entreprises (en particulier les pertes d'exploitation liées à l'arrêt momentané de l'activité).

45. Cette analyse a été commanditée à Bruno Ledoux par l'Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature dans le cadre du programme d'évaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations de la Loire moyenne.

Ainsi, les études récentes réalisées suite aux inondations du nord Vaucluse⁴⁶ et de l'Orb ont montré que, malgré l'importance des impacts directs le tissu économique avait relativement bien supporté les dommages subis (peu de disparition d'entreprises et de mise en chômage technique, un redémarrage des activités dans des conditions satisfaisantes...).⁴⁷ Cela a été attribué à l'ampleur des aides financières accordées aux acteurs sinistrés et à la façon dont celles-ci ont été gérées. En outre, la mobilisation de tous les acteurs économiques et administratifs locaux en faveur des familles, des entreprises et des communes les plus touchées ou les plus vulnérables a permis de limiter les conséquences des impacts indirects.

En relation avec ce point particulier, la recherche réalisée suite à la catastrophe de Nîmes a mis en évidence trois phases successives au cours desquelles des efforts particuliers pouvaient être faits de manière à réduire les impacts directs et indirects (Arnal et Mazure, 1996) :

- la période de crise, phase brève durant laquelle la communauté touchée doit assurer sa survie, qui nécessite une organisation efficace des secours ;
- la période de post-crise, au cours de laquelle s'effectue la récupération du minimum vital (déblaiement des accès, mise en place de structures d'approvisionnement de substitution) et durant laquelle les entreprises touchées sont dans l'incapacité de produire, qui nécessite de mobiliser des aides d'urgence ;
- une période de réhabilitation et de reconstruction, pendant laquelle le tissu urbain se reconstitue et les entreprises retrouvent progressivement leur niveau de production antérieur, qui nécessite des aides financières particulières (prêts à taux attractifs, avances de trésorerie, étalement des remboursements...).

• L'étendue spatiale de la crue a également une influence sur l'aggravation des dommages indirects dans la zone inondée. Cependant les résultats actuellement disponibles ne permettent pas de cerner correctement cet effet induit. Ceci est principalement lié au fait que les récentes inondations catastrophiques françaises étaient limitées dans l'espace. Pour mieux comprendre l'effet amplificateur du paramètre « étendue spatiale de la zone sinistrée » dans l'aggravation des dommages indirects, il conviendrait d'étudier des catastrophes récentes de grande ampleur (telles que celles du Mississippi aux États-Unis ou de l'Oder en Pologne et en Allemagne).

• Enfin, il n'est pas possible de construire des fonctions de dommage ou d'endommagement à partir des résultats des quelques « études *a posteriori* » récentes. Il s'agit en effet d'évaluations très générales et les montants disponibles sont très agrégés (par exemple, montant des dommages aux logements dans leur ensemble et non coût moyen des dommages par logement).

L'élaboration des fonctions de coût peut reposer sur un retour d'expérience mais qui doit être beaucoup plus ciblé. Elle nécessite un niveau de recueil et de traitement de l'information bien plus détaillé.

3.2. Les principaux résultats

Sont présentés ici quelques résultats chiffrés issus des études françaises citées dans ce chapitre. Elles donnent des ordres de grandeur concernant la répartition des coûts. À titre de comparaison, ces chiffres sont rapprochés de données américaines. Enfin, des données provenant

46. Les inondations du nord Vaucluse (Ouvèze et rivières du mont Ventoux) font parties des catastrophes naturelles les plus meurtrières de ces vingt dernières années.

47. Dans le cas des crues de l'Orb, le montant des dommages directs aux activités a été estimé à 80 millions de francs (171 entreprises du bassin versant ont été touchées).

de la Fédération française des sociétés d'assurances et de la Caisse centrale de réassurance sont proposées pour information.

• **Montant des dommages directs totaux (en millions de francs) dus aux inondations qui se sont produites entre avril 1977 et avril 1978 dans vingt départements français.** (BCEOM, 1979)

Agriculture	Voirie	Ouvrages divers	Réseaux divers	Bâtiments publics	Logements	Industries et commerces	Opérations de secours
220 MF	169 MF	36 MF	12 MF	33 MF	137 MF	145 MF	3 MF
29 %	22 %	5 %	1,5 %	5 %	18 %	19 %	0,5 %

• **Montant des dommages directs liés à la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988.** (C. Arnal et P. Mazure, 1996)

Particuliers	Entreprises	Autres	Total
1 030 millions de F	1 598 millions de F	1 547 millions de F	4 175 millions de F
25 %	38 %	37 %	100 %

• **Montant des aides accordées à la suite de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988.** (Arnal C. et Mazure P., 1996)

Assurances	État	Dons divers	Total
1 900	1 050	266	3 216
59 %	33 %	8 %	100 %

• **Montant des dommages directs (en millions de francs) dus aux inondations du nord Vaucluse de 1992** (BLC, 1997)

Particuliers	Entreprises	Agriculture	Biens des collectivités locales	Opérations de secours	Bien du conseil général	Total
150 MF	152 MF	156 MF	264 MF	40 MF	80 MF	842 MF
18 %	18 %	18 %	31 %	5 %	10 %	100 %

• **Montant des dommages directs (en millions de Francs) dus aux crues de l'Orb de décembre 1995 et de janvier 1996** (SIEE et BLC, 1997)

Particuliers	Entreprises	Agriculture	Voiries	Ouvrages d'assainissement	Opérations de secours	Total
75 MF	80 MF	20 MF	100 MF	13 MF	0,5 MF	288,5 MF
26 %	27,8 %	7 %	34,5 %	4,5 %	0,2 %	100 %

• **Montant des dommages (en millions de dollars) dus aux inondations du Mississippi de 1995 (US Army Corps of Engineers)**

Particuliers	Entreprises	Agriculture	Infrastructures publiques	Transport	Secours	Autres	Total
761 M\$	753 M\$	3 850 M\$	436 M\$	423 M\$	230 M\$	1 046 M\$	7 499 M\$
10 %	10 %	51 %	6 %	6 %	3 %	14 %	100 %

• **Montant des dommages (en millions de dollars) dus aux inondations de la Californie de 1997 (US Army Corps of Engineers)**

Particuliers	Agriculture	Infrastructures publiques	Autres ⁴⁸	Total
300 M\$	300 M\$	1 000 M\$	400 M\$	2 000 M\$
15 %	15 %	50 %	20 %	100 %

• **Montants d'indemnisation des dommages dus aux inondations au titre des catastrophes naturelles (Fédération française des sociétés d'assurances)⁴⁹**

Période	Indemnisations au titre des inondations	Indemnisations de l'ensemble des catastrophes naturelles
De 1982 à 1995	18,5 milliards de francs	24,55 milliards de francs
Année 1992	2,5 milliards de francs	3,02 milliards de francs
Année 1993	4 milliards de francs	4,6 milliards de francs
Année 1994	1,8 milliard de francs	2,25 milliards de francs
Année 1995	3 milliards de francs	3,6 milliards de francs
Année 1996	—	2,10 milliards de francs

Notons que les compagnies d'assurances ne procédant pas à des ventilations d'indemnisations par catégories d'événements, les montants correspondant aux inondations constituent des extrapolations. Dans un autre document de la FFSA⁵⁰, il est précisé qu'au total 34 milliards de francs d'indemnités ont été versés au titre des catastrophes naturelles entre 1982 et 1997. Sur ce total, les inondations représenteraient 20 milliards de francs (soit 59 % de l'ensemble). Si ces données sont exactes, au regard du tableau précédent cela signifie que :

- 7,35 milliards de francs d'indemnités ont été versés au total pour la seule année 1997 ;
- 1,5 milliard de francs d'indemnités correspond aux inondations pour les années 1996 et 1997.

48. Sous la rubrique « autres » sont inclus notamment les impacts sur l'économie touristique. Pour le parc du Yosemite, ils ont été estimés à 360 M\$.

49. Ces informations ont été communiquées par J.-L. Besson de la FFSA au cours du colloque « La gestion des inondations : la responsabilité des élus en question » qui s'est tenu à Compiègne les 5 et 6 juin 1996.

50. FFSA (direction des études et des statistiques), *Assurance des catastrophes naturelles. Mémento statistique sur la période 1982-1997* (extrait de la synthèse), janvier 1999.

• **Estimations de montants de dommages liés à des événements majeurs d'inondations en France métropolitaine (CCR)⁵¹**

Événements	Montant des dommages
Inondations de 1982 et de 1983	3,5 milliards
Inondations de 1987	700 millions
Catastrophe de Nîmes de 1988	1,9 milliard
Inondations de février 1990	1,2 milliard
Inondations du Vaucluse de 1992	1,6 milliard
Inondations de l'automne 1993 dans le Sud-Est	2 milliards*
Inondations de plaine de l'hiver 1993	1,7 milliard*
Inondations de Nice et de sa région de 1994	800 millions*
Inondations du Nord de la France de janvier et février 1995	2,6 milliards*
Inondations de décembre 1996	500 millions*
Inondation de la région normande en juin 1997	400 millions*

*estimations

4. CONCLUSION

Depuis bientôt une trentaine d'années, des évaluations *a posteriori* ont été opérées en France. Les premières investigations ont permis non seulement d'établir des bilans et de réaliser des enquêtes sur les coûts des dommages, mais aussi de faire progresser les approches d'évaluation en général. C'est ainsi que la notion de coût moyen annuel des dommages a été introduite, que les premières fonctions de dommages ont été élaborées et que des ratios d'endommagement ont été déterminés. Les études les plus récentes, effectuées durant la présente décennie, ont permis de tester de nouvelles démarches en ayant recours au « dire d'experts » et en mobilisant diverses sources d'informations constituées à l'occasion d'événements d'inondation.

L'ensemble des travaux disponibles et le savoir-faire capitalisé par quelques organismes d'études ou de recherches n'ont malheureusement jamais fait l'objet d'une quelconque valorisation. Le corpus de connaissance qui s'est constitué au fil des ans doit cependant pouvoir être mobilisé assez facilement pour définir des cadres méthodologiques.

La nécessité d'élaborer un guide méthodologique, tel qu'il en existe en Grande-Bretagne par exemple, a été largement évoquée lors du séminaire. Si un tel guide est mis en œuvre, il doit être l'occasion d'organiser le retour d'expérience, que tout le monde appelle de ses vœux, et de constituer des bases de données utiles au renforcement des approches d'évaluation des impacts des inondations. Atteindre cet objectif suppose la mise en place sur le terrain de procédures standardisées de recueil, de mise en forme et d'exploitation de l'information utile. Cela nécessite bien entendu la collaboration des acteurs privés et publics qui détiennent ces informations et leur adhésion à une démarche d'évaluation dont les enjeux dépassent le cadre local.

Un guide méthodologique ne peut se contenter de faire des recommandations concernant l'organisation de l'information. Il doit également être en mesure de proposer des modalités

51. Ces données ont été communiquées par P. Bidan de la CCR à la suite du séminaire de janvier 1999.

d'évaluation adaptées aux objectifs visés. En simplifiant, on peut distinguer deux catégories d'objectifs qui peuvent se succéder dans le temps⁵² :

- un objectif immédiat, qui s'inscrit dans la gestion de la crise et de la post-crise. L'évaluation se traduit sous la forme d'un bilan des impacts directs et indirects de l'événement qui s'est manifesté, dans le but d'apporter les aides financières nécessaires. Elle requiert un recueil et une exploitation rapide des données de terrain. Elle ne nécessite pas un bilan très précis et exhaustif ;

- un objectif à moyen terme, qui s'exprime dans le cadre d'une politique locale de prévention et de protection contre les inondations. L'évaluation doit alors être plus fine et donner lieu à une analyse coûts/avantages. Elle passe par une exploitation des sources d'information constituées précédemment et est ensuite complétée par des enquêtes de terrain et/ou des expertises.

En outre, une évaluation *a posteriori* doit chercher à créer une dynamique avec les acteurs locaux (collectivités territoriales, chambres consulaires, associations de riverains, services extérieurs de l'État...). Des efforts particuliers sont alors à faire dans le pilotage des évaluations. En d'autres termes, l'évaluateur et le commanditaire de l'évaluation doivent susciter les réactions des autres acteurs, en procédant par itérations successives (réaliser un premier recueil d'information, présenter les résultats, faire réagir les personnes concernées...), afin d'apprécier au mieux la réalité de la vulnérabilité sur le terrain. La création d'une telle dynamique est par ailleurs de nature à favoriser une sensibilisation de la société locale aux risques, mais aussi à améliorer l'efficacité d'un retour d'expérience.

En regard d'objectifs de prévention contre les inondations, les résultats d'une évaluation *a posteriori* doivent pouvoir être utilisés pour définir localement des mesures susceptibles de réduire les effets secondaires des catastrophes. Il ne s'agit pas seulement d'améliorer la mobilisation des aides financières de « réparation » et/ou d'optimiser leur usage, mais aussi d'apporter aux sinistrés des moyens complémentaires leur permettant d'agir. Au cours du séminaire, l'un des participants soulignait que les entreprises les plus vulnérables avaient beaucoup de mal à redémarrer, non seulement à cause des pertes matérielles subies mais aussi du fait de la destruction d'informations vitales (fichiers des clients, comptabilité...). Dans ce cas, on peut très bien imaginer des systèmes d'organisation au niveau local permettant de conserver ces éléments à l'abri des inondations (en les stockant hors des zones submersibles) et de mettre à leur disposition rapidement des outils de travail (outils informatiques par exemple). De même, les entreprises de travaux publics sinistrées se trouvaient généralement dans l'impossibilité de participer à la reconstruction, faute de matériel disponible immédiatement, et étaient condamnées à observer l'intervention d'entreprises concurrentes extérieures. Là encore, on peut prévoir la fourniture de matériel d'urgence, en attendant qu'elles puissent recouvrer leurs capacités d'action.

L'ensemble de ces considérations souligne une nouvelle fois la nécessité d'organiser rapidement un véritable retour d'expérience.

52. Ces deux objectifs, corrélés à un terrain et un événement donnés, ne doivent pas faire oublier que les évaluations *a posteriori* sont également utiles pour extrapoler ou « caler » les évaluations *a priori*.

Chapitre 3

L'ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ ET DES ENJEUX

Une évaluation des impacts socio-économiques des inondations ne doit pas nécessairement se traduire par une estimation des dommages. Dans certains cas, celle-ci ne se justifie pas compte tenu du contexte local, des moyens disponibles et des objectifs poursuivis. Dans d'autres cas, elle peut être l'aboutissement d'un processus d'évaluation comportant plusieurs étapes.

Dans ce contexte, l'évaluation des enjeux liés aux inondations et de la vulnérabilité face au risque peut être considérée comme l'un des moyens pour appréhender le risque ou comme une première étape dont les résultats permettront de définir une stratégie d'évaluation plus poussée et mieux adaptée aux objectifs de gestion des risques à l'échelle locale.

Au-delà de la différence sémantique entre les termes d'enjeux et de vulnérabilité, il apparaît des similitudes dans les démarches d'évaluation qui sont mises en œuvre sur le terrain. L'objet de ce chapitre est de souligner l'intérêt de ces approches dites « qualitatives » et de montrer, à travers des exemples, comment sont appréciées ces notions.

1. ÉLÉMENTS DE RÉFLEXIONS SUR LES CONCEPTS DE VULNÉRABILITÉ ET D'ENJEUX

1.1. L'analyse de la vulnérabilité

Le concept de vulnérabilité peut être défini de plusieurs manières et, selon la définition retenue, conduire à des modalités d'évaluation différentes. Les définitions proposées ci-après montrent ce que recouvre le terme de vulnérabilité.

Dans un contexte général de gestion des risques, J. Theys et J.-L. Fabiani soulignent que l'analyse de la vulnérabilité revient à mesurer la capacité de systèmes interdépendants à fonctionner sans accroc en absorbant les perturbations extérieures, même les plus imprévisibles⁵³.

En regard de la gestion des risques d'inondation, J.-P. Torterotot considère que la vulnérabilité est un concept relatif qui exprime le lien entre l'aléa, la nature et les enjeux exposés à cet aléa, les ressources disponibles pour y faire face, et les impacts qui en résultent⁵⁴.

Il définit la vulnérabilité comme une fonction qui exprime les impacts potentiels par rapport :

53. Theys J. et Fabiani J.-L., *La société vulnérable. Évaluer et maîtriser les risques*. Paris, Presses de l'École normale supérieure, 1987, 674 p.

54. Torterotot J.-P., *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*, Thèse de doctorat de l'École nationale des ponts et chaussées, 1993, 283 p.

- aux paramètres de l'aléa qui sont les plus influents (par exemple, la hauteur et la durée de submersion, la vitesse de montée des eaux, la saison) ;
- aux enjeux, c'est-à-dire la quantité et la nature des biens, activités... exposés à cet aléa, ainsi qu'à leur fragilité face à la submersion ;
- aux ressources mobilisables pour limiter les impacts, comme le délai de réaction disponible, la capacité physique et financière des acteurs pour agir (occupants des zones concernées, pouvoirs publics), la couverture par le biais des assurances...

Dans le *Guide général des Plans de prévention des risques naturels prévisibles*⁵⁵, il est fait la distinction entre la vulnérabilité économique et la vulnérabilité humaine. La première traduit généralement le degré de perte ou d'endommagement des biens et des activités exposés à l'occurrence d'un phénomène naturel d'une intensité donnée. Elle désigne aussi quelquefois la valeur de l'endommagement (coût des dommages). La seconde correspond aux préjudices potentiels aux personnes, dans leur intégrité physique et morale. Elle s'élargit également à d'autres composantes de la société et tente de mesurer sa capacité de réponse à des crises.

Si ces différentes définitions de la vulnérabilité montrent que son analyse relève bien de la socio-économie, elles font apparaître au moins deux façons (non exclusives l'une de l'autre) d'appréhender cette notion :

- la première consiste à mesurer les conséquences dommageables des inondations sur les biens et les personnes exposés ; ce qui se traduit sous la forme d'une évaluation classique des dommages potentiels ;
- la seconde a pour objet de cerner la propension d'un territoire à subir des dommages (sensibilité et fragilité des biens et des individus face à un événement), mais aussi à mesurer sa capacité à résister. Dans ce cas, l'appréciation de la vulnérabilité prend une forme différente puisqu'il s'agit d'abord de mieux qualifier les impacts potentiels et ensuite de les évaluer en ayant recours par exemple à des indicateurs de vulnérabilité (quantitatifs ou qualitatifs).

À l'heure actuelle, cette seconde approche semble prendre le pas sur la première, comme en témoignent de récents travaux, menés à l'occasion d'évaluations *a priori* et *a posteriori* des impacts socio-économiques des inondations⁵⁶.

Les réflexions ayant permis de faire évoluer le concept de vulnérabilité et de préciser le contenu d'une évaluation qualitative de la vulnérabilité, sont fondées sur le constat qu'une mesure de la gravité potentielle d'une inondation ne peut se réduire au seul montant financier des dommages qui, de toutes les façons, reste une approximation. Lorsque l'on conduit des estimations monétaires des dommages, et que l'on aboutit à des coûts, il apparaît rapidement que l'on ne cerne pas toutes les conséquences de l'inondation. Un certain nombre de dommages n'est pas chiffré, faute de méthodes appropriées (en particulier les dommages intangibles et certains dommages indirects). La pertinence des résultats des évaluations strictement monétaires, pour aider à la définition d'une politique de prévention des inondations, se trouve questionnée de fait.

55. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1997. *Guide général des Plans de prévention des risques naturels prévisibles*, Paris, Documentation française, 76 p.

56. Ainsi, la recherche réalisée par le BRGM sur l'impact économique et financier de la catastrophe de Nîmes a permis d'identifier les éléments socio-économiques les plus sensibles, donc les enjeux sur lesquels l'analyse de la vulnérabilité doit porter en priorité. De même, les études *a posteriori* des impacts des crues de l'Orb et du Nord Vaucluse, ainsi que les études *a priori* des impacts des inondations des bassins de la Loire moyenne et de la Seine ont été l'occasion, pour le cabinet BLC qui a participé à ces différentes évaluations, d'affiner le contenu d'une approche qualitative de la vulnérabilité (voir la bibliographie).

L'idée sous-jacente est de tenter de mieux comprendre pourquoi un bien, un territoire ou une société est plus ou moins vulnérable à l'inondation, sans chercher nécessairement à traduire cette vulnérabilité par des coûts. Une telle approche qualitative de la vulnérabilité peut être menée à la place ou en amont d'une évaluation des dommages (si celle-ci est jugée nécessaire). Il s'agit de repérer et d'analyser « les facteurs de vulnérabilité » soit à l'échelle d'une entité (habitat, activité, équipement...), d'un type d'occupation des sols ou d'un territoire. Les déterminants de la vulnérabilité peuvent alors être classés en trois catégories (BLC, 1998) :

- les facteurs de vulnérabilité intrinsèque (nature du bâti, nature des biens meubles, prise en compte du risque dans la conception des biens et dans le fonctionnement des activités). Il s'agit donc de facteurs techniques de vulnérabilité, en relation avec la réalité physique ;
- les facteurs de vulnérabilité liés à la gestion de la crise (culture du risque des acteurs socio-économiques et comportement face à la crise, modalités de fonctionnement des systèmes de prévision et d'annonce des crues, modes de gestion des secours...) ⁵⁷ ;
- les facteurs de vulnérabilité liés à la gestion post-catastrophe (couverture des dommages par le biais des assurances, importance des aides de toute nature, capacité de réaction technique, humaine et financière...).

L'intérêt d'analyser et de hiérarchiser ces critères de vulnérabilité est de permettre, probablement plus aisément qu'un coût global de dommages, de définir ou d'orienter une stratégie de réduction de la vulnérabilité et donc des dommages potentiels. Pour illustrer son intérêt, soulignons à titre d'exemple que des travaux récents sur la vulnérabilité des entreprises ont montré que la qualité de l'assurance était un facteur déterminant. Une amélioration de la couverture « dommage et perte d'exploitation » permet de réduire de façon significative et sans difficulté majeure la vulnérabilité des entreprises (en allant jusqu'à éviter la disparition d'une activité) ⁵⁸.

1.2. L'appréciation des enjeux

En référence aux définitions présentées précédemment, il apparaît que les enjeux socio-économiques liés aux inondations constituent l'une des composantes de la vulnérabilité. De fait, les modalités de leur évaluation sont relativement proches. En effet, l'explicitation des enjeux a pour objectif d'approcher de manière globale et qualitative les différents éléments exposés à un événement d'inondation ou concernés par celui-ci, et donc à mettre en évidence une vulnérabilité potentielle.

L'évaluation des enjeux étant également abordée lors du chapitre 4 consacré à l'évaluation *a priori*, nous apporterons ici quelques éléments de réflexion complémentaires qui sont issus d'une note méthodologique que le CEREVE a réalisée en 1996 pour le Plan Loire Grandeur Nature, lors du démarrage de l'étude concernant l'évaluation des enjeux et des dommages liés aux inondations de la Loire moyenne (Hubert et Laglaine, 1996). Ce travail avait pour objectif de proposer différents indicateurs d'enjeux et des modalités d'évaluation.

57. L'influence des paramètres d'ajustement humain sur la réduction des dommages est étudiée depuis longue date à l'étranger. À titre d'exemple, une étude anglaise a montré que pour une hauteur de submersion d'un mètre, un délai d'alerte de crue de quatre heures permettait de réduire de 40 % le montant des dommages à l'habitat (Chatterton J.B., Pirt J. et Wood T.R., « The benefits of flood forecasting », *Journal of the Institute of water engineers and scientists*, 1979, vol. 331, n° 3, p. 237-252). Cependant, d'après J.-P. Torterotot, les différentes études disponibles ne permettent pas de tirer des conclusions généralisables (Torterotot, 1993).

58. Différentes études, menées dans le cadre de l'évaluation des enjeux et des dommages dus aux inondations de la Loire moyenne, viennent confirmer ce constat. Voir en particulier dans la bibliographie (point 2) les études suivantes : ASCA, 1996 et 1998 ; BLC, 1997 ; BLC et TED ALITEC, 1998.

Ces indicateurs d'enjeux ont été définis en regard d'une typologie d'occupation des sols établie par l'équipe du Plan Loire Grandeur Nature et distinguant différents types d'habitats (centre ville, habitat individuel groupé et dispersé, habitat collectif dispersé...), d'activités (commerce, artisanat, industrie), d'équipements (équipements hospitaliers et assimilés, équipements de sécurité et de secours, services publics, équipements sportifs et de loisirs, équipements socioculturels et culturels) et de réseaux (infrastructures routières et ferroviaires, réseaux d'information, d'énergie, d'eau potable et d'assainissement, réseaux de transport et d'élimination des déchets solides).

Pour acquérir les données nécessaires à l'évaluation des indicateurs d'enjeux identifiés, plusieurs méthodes de travail complémentaires ont été proposées : la consultation d'experts, la création de groupes de travail, l'utilisation de bases de données existantes, l'analyse documentaire, la réalisation d'enquêtes de terrain...

L'évaluation des enjeux passe d'abord par une phase de caractérisation des enjeux à l'aide d'indicateurs, puis par une phase de quantification, qui consiste à attribuer une valeur physique, économique ou financière à ces mêmes indicateurs. Il s'agit, en outre, d'une démarche dynamique qui comporte :

- une dimension spatiale, en prenant en considération les zones directement concernées par les inondations et en les resituant par rapport à un espace plus large dont l'aire de référence dépend du type d'enjeux considéré (l'agglomération, le niveau intercommunal, le département, la région...);
- une dimension temporelle, en s'intéressant à l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols dans le temps (occupation passée, actuelle, future).

Pour expliciter la démarche retenue, nous présentons sous forme de tableaux des exemples d'indicateurs d'enjeux et, pour chacun, les objectifs d'évaluation poursuivis.

• Enjeux liés à l'habitat

Indicateurs d'enjeux	Objectifs
Qualité des constructions	Évaluer la vulnérabilité du patrimoine immobilier face aux inondations (vulnérabilité des matériaux et risque de dégradation).
Qualité de l'habitat	Apprécier l'état des logements (neufs..., vétustes), leur niveau d'équipement (sanitaires...) et leur organisation (surface moyenne d'un logement, présence de sous-sols ou de caves).
Enjeux fonciers et immobiliers	Évaluer les valeurs foncières et immobilières en zones inondables, définir des prix moyens de logements et de terrains (en m ²).
Caractéristiques des ménages	Déterminer la population concernée et directement touchée, apprécier la vulnérabilité des ménages (possibilité de réaction, faculté à supporter le risque).
Dynamique « sociale et urbaine »	Évaluer les effets du risque sur la démographie des espaces concernés et sur leur structure sociale (âge moyen des occupants des logements, catégories socioprofessionnelles). Mettre en évidence l'évolution de l'urbanisation dans le temps et dans l'espace (zone inondable/reste du territoire). Analyser le fonctionnement du marché immobilier dans les secteurs à risques (évolution des prix, nombre de transactions...).

• Enjeux liés aux activités

Indicateurs d'enjeux	Objectifs
Poids économique du secteur activité en zone inondable	Évaluer les surfaces occupées par les activités, le nombre d'entreprises, le nombre d'emplois, la valeur des immobilisations (matériel de production, stocks, produits finis...), la taxe professionnelle générée et la richesse produite (chiffre d'affaire, TVA).
Évaluation économique par branche d'activité	Établir des ratios permettant de caractériser différentes branches d'activités (valeur mobilière et immobilière rapportée au m ² , chiffre d'affaire par employé...).
Incidence du risque sur les activités	Mettre en évidence les répercussions d'un événement probable sur le tissu d'activité (déménagement d'entreprises, pertes d'emplois...) et les effets en chaîne possibles (effets liés à l'arrêt momentané ou définitif d'une activité donnée).
Dynamique économique locale	Caractériser l'évolution des activités dans le temps et dans l'espace (vals inondables/reste de l'agglomération).

• Enjeux liés aux équipements et aux réseaux

Indicateurs d'enjeux	Objectifs
Valeur des biens d'équipement et des réseaux	Évaluer la valeur du patrimoine, le niveau de service rendu et les emplois concernés.
Impacts des inondations sur le fonctionnement des équipements et des réseaux	Évaluer les perturbations du niveau de service en cas de survenance d'un événement (durée d'interruption des services, conséquences d'un mode de fonctionnement dégradé, alternatives possibles pour maintenir un certain niveau de service...).
Gestion de crise	Identifier les capacités d'action des services de secours et les insuffisances.

1.3. L'exemple de la vulnérabilité des activités

L'analyse de la vulnérabilité des activités vis-à-vis des inondations est au cœur de deux études récentes qui méritent d'être signalées pour leur approche méthodologique originale.

La première porte sur la caractérisation de la vulnérabilité des entreprises (ASCA, 1997). Elle a été menée dans le cadre du programme d'évaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations de la Loire moyenne. Cette étude a cherché à produire des indicateurs et des données exprimant la vulnérabilité de l'appareil de production au regard des inondations. L'analyse a été conduite, d'une part, à l'échelon de huit secteurs d'activités, représentés dans les vals de la Loire moyenne et, d'autre part, au niveau de l'entreprise.

À l'échelle des secteurs d'activités, il s'est agi d'élaborer un schéma de fonctionnement du système (constitué par le secteur en question) et de proposer quelques données chiffrées destinées à « dimensionner » chaque secteur. Sur cette base, des indicateurs de vulnérabilité des secteurs ont été définis puis positionnés sur des échelles de vulnérabilité relative. Au niveau de l'entreprise, il s'est agi de définir, par enquête, les déterminants de la vulnérabilité de chaque unité choisie. Les différentes entreprises étudiées ont ensuite été placées sur une échelle de vulnérabilité relative.

La seconde étude, inscrite dans le programme d'évaluation des impacts des inondations de la Seine et de la Marne en région Ile-de-France, présente un caractère expérimental (BLC et EDATER, 1999). Elle a en effet pour objectif d'étudier la faisabilité d'une approche qualitative et de montrer son intérêt par rapport à une évaluation économique classique des dommages. Le Val-de-Marne a été retenu comme département test, en raison de l'importance de ses zones inondables et du potentiel économique menacé.

L'étude porte sur les entreprises présentes dans la zone inondable et sur les relations qu'elles entretiennent avec leur environnement économique. Le point de vue adopté est celui des entreprises (impact de la crue au niveau de l'activité) et non celui des communes (impact de la crue au niveau des rentrées fiscales).

Dans un premier temps, un zonage des territoires inondables en « entités géographiques homogènes du point de vue des activités » a été réalisé. Les enjeux ont ensuite été caractérisés, en calculant le poids économique des entreprises de la zone inondable par rapport au département, puis par rapport aux communes et à la nature des entreprises. Enfin, la vulnérabilité a été appréciée à deux échelles :

- à l'échelle départementale, en comparant le tissu économique de la zone inondable par rapport à celui du reste du département, en testant différents critères comme l'importance relative des enjeux, les interrelations entre les entreprises...
- à l'échelle des zones d'activités, en utilisant les critères de facteurs de production et de taille des entreprises.

La méthode mise en œuvre, repose sur l'exploitation de bases de données statistiques standards, l'exploitation d'informations locales et la consultation d'experts. Elle s'avère reproductible à d'autres départements, mais les résultats sont tributaires de la qualité et de la précision des bases d'information disponibles concernant le tissu des entreprises.

1.4. Les effets des inondations sur l'économie et le développement local

Le risque d'inondation conditionne l'occupation des sols et son évolution dans le temps. Il a donc des effets indirects sur l'économie et le développement local, qui se traduisent en particulier sous forme d'incidence sur les recettes fiscales des collectivités. Une analyse des enjeux liés aux inondations ou de la vulnérabilité face au risque ne peut ignorer cette dimension. Force est cependant de constater la faiblesse des investigations sur le sujet.

Les incidences du risque d'inondation, tel qu'il est perçu par les agents économiques, peuvent être évaluées en particulier via :

- une analyse des effets sur le marché foncier (évolution des transactions et des mutations foncières, évolution des valeurs foncières et immobilières). La dynamique du marché foncier conditionne les recettes fiscales des collectivités par le biais de la taxe d'habitation et de la taxe foncière (sur les propriétés bâties et les propriétés non bâties) ;
- une analyse des effets sur le tissu d'activité (évolution du nombre et de la taille des entreprises commerciales, industrielles et artisanales). Les rentrées fiscales des collectivités, sous la forme de la taxe professionnelle, dépendent de la dynamique d'activité au plan local.

L'absence d'études approfondies sur le sujet s'explique en partie par les difficultés méthodologiques rencontrées pour appréhender ces aspects. Une analyse en coupe longitudinale, c'est-à-dire en examinant l'évolution dans le temps des effets considérés, ne permet pas de faire la distinction entre la part qui revient à l'inondation et celle qui est imputable à des facteurs contextuels (effets de la crise économique par exemple). Il est nécessaire de compléter

l'évaluation en considérant des coupes transversales, à savoir en étudiant simultanément des secteurs qui sont soumis à divers niveaux d'aléas et des zones qui ne sont pas concernées par le risque d'inondation (situées sur la même commune ou sur des villes voisines). Par ailleurs, ce type d'évaluation se heurte à un problème d'accès aux sources d'information.

Ainsi, l'évaluation des effets des inondations sur les marchés fonciers nécessite de consulter des bases de données établies par les services fiscaux, par exemple les extraits d'actes de mutations de la Direction générale des impôts. Ces extraits fournissent en effet toutes les informations nécessaires à une étude à l'échelle parcellaire du fonctionnement du marché foncier. Au niveau de chaque extrait, les informations suivantes sont disponibles : le prix de la transaction, la date, la nature du bien échangé (individuel, copropriété), le lieu géographique et l'adresse complète, les références sur le cadastre, la surface du lot... Or ces données ne sont pas accessibles au public, seules quelques administrations ont le droit de les consulter au titre de l'article L 135 b du livre des procédures fiscales⁵⁹.

L'étude des ressources fiscales des communes se heurte aux mêmes difficultés. Les informations détenues par la direction générale des Impôts (Service d'enquête, de statistique et de documentation) sont difficilement accessibles. Elles sont pourtant indispensables car elles mettent en évidence, année après année et commune par commune, les niveaux d'imposition émis par les collectivités. Elles précisent la part de chacune des recettes fiscales (taxes d'habitation, taxes foncières, taxes professionnelles et taxes annexes). Elles permettent donc d'apprécier globalement la place d'une commune au regard de ses rentrées fiscales par rapport aux communes environnantes.

Ces difficultés conduisent l'évaluateur à réduire son champ d'investigation, et *a fortiori* la précision de son évaluation, en se reportant sur les informations disponibles au niveau local et en procédant à des enquêtes de terrain (par exemple, auprès des communes, des chambres consulaires, des agents immobiliers et des notaires).

L'analyse des impacts des inondations sur la fiscalité locale a été abordée au cours de la recherche sur les effets économiques et financiers de la catastrophe de Nîmes et a été étudiée dans le cadre de l'évaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations de la Loire moyenne⁶⁰.

Concernant le cas de la Loire, l'évaluation du poids des pertes fiscales potentielles des collectivités locales en cas de survenance d'un sinistre a été analysée en s'intéressant plus particulièrement à la taxe professionnelle, qui représente à elle seule entre 40 et 50 % de l'ensemble des recettes fiscales dont disposent les communes. Pour cette analyse, il a été fait l'hypothèse que 100 % des entreprises situées en zone inondable cessaient leur activité en cas de sinistre⁶¹. La démarche, conduite au niveau de 15 communes de la Loire moyenne, a été la suivante :

59. Une étude concernant les effets des Plans de prévention des risques sur les marchés fonciers a permis de mettre en évidence les diverses sources d'information disponibles et de proposer une méthodologie d'évaluation, dont le contenu peut être utilisé dans le cadre d'une analyse des impacts des inondations sur l'économie et le développement local (Bahoken F. 1997).

60. On se reportera à la communication de Claire Arnal (pour Nîmes) et à celle de Bruno Roudier (pour la Loire) qui figurent dans la seconde partie de l'ouvrage.

61. Cette hypothèse de travail maximaliste n'est pas nécessairement vérifiée en cas de survenance d'une inondation. En outre, compte tenu du mode de calcul de la taxe professionnelle (base fiscale multipliée par un taux voté par les communes), ce sont surtout les petites et moyennes entreprises qui sont les plus concernées par les inondations. En effet, quand les entreprises ont moins de 10 salariés, la base fiscale correspond à 10 % des recettes de l'entreprise. En revanche, lorsque les entreprises ont plus de 10 salariés, la base fiscale correspond à l'addition des trois critères suivants : la valeur locative foncière, 16 % de la valeur locative des investissements (outillage) et 18 % de la masse salariale. Ce mode de calcul peut conduire une commune à installer les grosses entreprises

- tout d’abord un repérage et un dénombrement des entreprises localisées en zone inondable ;
- ensuite un calcul de la richesse fiscale de chaque commune (à partir des informations sur les entreprises dont disposaient les communes) ;
- enfin une évaluation de la perte fiscale au niveau de chaque commune, en considérant comme hypothèse de travail qu’en cas de survenance d’une inondation, 100 % des entreprises situées en zone inondable cessaient définitivement leur activité.

C’est ainsi que pour l’ensemble des quinze communes considérées, la perte fiscale totale a été estimée à 40 millions de francs. Par extrapolation à l’ensemble de la Loire moyenne, une fourchette de 80 à 120 millions de francs a été avancée.

2. D’UNE ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ À UNE ÉVALUATION DES ENJEUX, LE CAS DE LA CARTOGRAPHIE RÉGLEMENTAIRE

Parmi les mesures de prévention des risques d’inondation, la réglementation visant à contrôler l’occupation des sols dans les zones à risque occupe une place de plus en plus importante. Force est cependant de constater que sa mise en place est souvent source de conflit entre l’État et les collectivités locales. Les situations de blocage qui apparaissent ne sont pas nécessairement liées à la procédure réglementaire elle-même mais plutôt :

- aux modalités d’élaboration du document, qui laissent une place insuffisante à la concertation ;
- et aux critères de décision utilisés, qui reposent essentiellement sur la connaissance des caractéristiques physiques de l’inondation.

L’intégration explicite de la dimension socio-économique du risque, au moment de l’élaboration des documents cartographiques, peut être considérée comme un moyen pour objectiver le débat et améliorer l’acceptabilité politique de la procédure réglementaire. L’objet de ce paragraphe est d’analyser la façon dont est traitée cette dimension dans le cadre réglementaire et de montrer l’évolution qui s’est produite entre les Plans d’exposition aux risques (PER) et les Plans de prévention des risques (PPR).

En 1982, les pouvoirs publics introduisent le concept de vulnérabilité dans la réglementation de prévention des risques naturels et posent comme préalable à l’élaboration des documents cartographiques la réalisation d’une étude de vulnérabilité. L’introduction de ce concept dans la procédure PER a suscité des réflexions visant une appréciation quantitative de la vulnérabilité socio-économique des zones soumises à réglementation. Ces réflexions ont abouti à la mise au point en 1988 d’une méthode simplifiée (SAGERI, 1988 ; ministère de l’Environnement, 1990). Cette méthode consiste à :

- établir une évaluation globale des dégâts prévisibles, pour chaque zone homogène d’occupation et d’utilisation des sols, en regard de l’aléa de référence ;
- puis apprécier les dommages de toute nature qui peuvent être encourus en cas d’occurrence du phénomène, en prenant en compte le contexte humain et social, ainsi que la structure des biens exposés pour chacune des zones considérées.

La superposition de la carte d’aléa et de la vulnérabilité ainsi appréciée doit alors permettre de déterminer les mesures de prévention les mieux adaptées et de justifier le choix du zonage.

en zone inondable, afin de ne pas être pénalisée sur les recettes fiscales lors d’une inondation (sauf en cas de cessation d’activité ou de déménagement des entreprises).

Pour atteindre cet objectif, deux étapes ont été considérées : une évaluation des enjeux puis une évaluation des dégâts prévisibles par zone.

Au niveau de chaque zone homogène au regard de l'occupation des sols, l'évaluation des enjeux a pour but de déterminer :

- la population (résidente et saisonnière) et les effectifs employés dans les établissements présents dans la zone. À défaut d'informations locales, il est proposé d'utiliser des ratios de nombre d'habitants et d'employés à l'hectare, en considérant une typologie d'occupation des sols (par exemple, zone urbaine avec immeubles récents de quatre étages, quartiers à dominante résidentielle construits entre 1900 et 1935, lotissements pavillonnaires, zone industrielle, zone artisanale et commerciale...);
- les valeurs des biens, des activités et des équipements (publics et privés) exposés au risque. Là encore, des valeurs types sont proposées (valeurs de biens immobiliers, d'équipements mobiliers, de stocks et de véhicules, de capital immobilisé, de chiffre d'affaire) et rapportées en kF/ha, en kF/m² ou en kF/unité, selon le type de bien ou d'activité considéré ;
- les valeurs des équipements sensibles exposés (réseaux de transport, de transmission de l'information, d'approvisionnement en énergie, d'alimentation en eau potable, d'assainissement, équipements de secours, établissements industriels pouvant générer un risque). Il s'agit non seulement d'estimer la valeur propre de ces équipements, mais également d'apprécier les conséquences éventuelles de leur dysfonctionnement ou de leur destruction sur le fonctionnement des services et sur la vie collective.

L'évaluation globale des dégâts consiste, quant à elle, à appliquer aux valeurs précédemment calculées soit des ratios d'endommagement définis en fonction de la hauteur d'eau atteinte par la crue de référence, soit un coefficient d'endommagement moyen annuel établi pour chaque zone homogène au regard de la hauteur d'eau. L'ensemble de ces valeurs standard est issu de la littérature⁶². À titre d'illustration, on notera que dans le cas des crues torrentielles et pour une hauteur de submersion supérieure à 1 mètre, les dégâts sont estimés à 40 % des biens exposés et les arrêts d'activités à trois mois (ce qui correspond à 25 % du chiffre d'affaire annuel).

Comme on vient de le voir, la vulnérabilité telle qu'elle est définie dans le cadre de la démarche PER correspond à une appréciation locale des dommages de toute nature (préjudices causés aux personnes, dégâts provoqués aux biens mobiliers et immobiliers, dommages aux activités) encourus en cas de catastrophe, pour l'aléa pris comme référence (à savoir la crue centennale). L'étude de vulnérabilité correspond à une évaluation monétaire des dommages ou des endommagements (elle peut donc être assimilée à une approche quantitative et non qualitative).

Cette volonté de ne pas faire découler le zonage du risque de la seule étude des phénomènes physiques n'a pas eu sur le terrain l'écho attendu, et cela malgré l'existence d'une méthode simplifiée d'évaluation de la vulnérabilité, mise à la disposition des services extérieurs de l'État chargés de la cartographie réglementaire à partir de 1988. Les tentatives d'utilisation de cette méthode standardisée ou d'approches élaborées localement sont restées peu nombreuses. Dans la majeure partie des cas, les services instructeurs ont rejeté ce volet ou négligé sa mise

62. La méthode simplifiée d'évaluation de la vulnérabilité a été mise au point avec l'aide de la société SAGERI qui a utilisé des données chiffrées provenant de diverses sources (INSEE, assureurs...) et d'une compilation de sources bibliographiques étrangères (pour les ratios d'endommagement). Ces dernières n'ont jamais fait l'objet d'une analyse critique permettant notamment d'estimer les limites d'utilisation. L'absence d'enquêtes approfondies et systématiques sur les dommages en France n'a pas permis de corriger ou de moduler les chiffres proposés.

en œuvre dans le cadre de l'élaboration des Plans d'exposition aux risques. Deux raisons essentielles peuvent être avancées pour expliquer cette situation : une absence de moyens et de compétences pour répondre aux ambitions que la DRM assignait initialement aux PER et un manque de vision claire des finalités attendues (Ledoux, 1995).

La relance de la politique de prévention des risques naturels, engagée à partir de 1995, s'est traduite notamment par une réorientation des objectifs en matière d'évaluation de la dimension socio-économique du risque. L'instauration d'une nouvelle procédure, le Plan de prévention des risques (PPR) a été l'occasion de mettre l'accent sur la réalisation d'études qualitatives, permettant de donner à l'outil réglementaire plus de souplesse et de l'inscrire plus facilement dans une démarche de concertation. L'élaboration des Plans de prévention des risques ne donne désormais plus lieu à une analyse de la vulnérabilité mais à une évaluation des enjeux⁶³.

L'appréciation globale des enjeux constitue une étape à part entière dans l'élaboration des PPR. Elle résulte principalement de la superposition de la carte des aléas et des occupations des sols. Elle ne doit pas donner lieu à des études quantitatives et peut éventuellement faire l'objet d'une représentation cartographique spécifique. Elle se traduit par un état des lieux très simple qui consiste en :

- une évaluation des populations en danger ;
- un recensement des établissements recevant du public (hôpitaux, écoles, campings...) et des équipements sensibles ;
- une identification des voies de communication susceptibles d'être coupées ou au contraire qui sont accessibles pour acheminer les secours.

L'appréciation des enjeux, telle qu'elle est conçue ici, vise en particulier à fournir une aide au choix de l'outil réglementaire le plus pertinent en matière de prévention des risques (le Plan d'occupation des sols, le Projet d'intérêt général ou le Plan de prévention des risques) et à orienter les prescriptions réglementaires. La démarche proposée traduit en quelque sorte une nouvelle « philosophie » de la cartographie réglementaire. L'élaboration des documents doit être menée dans la plus grande transparence et en recherchant la concertation la plus large possible. Les études doivent être réalisées avec un souci d'efficacité, sans complexité inutile, pour aboutir directement à des propositions de mesures appropriées à l'importance du risque et proportionnées à l'objectif de prévention recherché⁶⁴.

Du PER au PPR, on est donc passé d'une évaluation quantitative relativement lourde à une évaluation purement qualitative extrêmement légère. Ce basculement, justifié par les nouvelles orientations données à la politique de prévention des risques et par l'échec des études de vulnérabilité, ne semble pas se traduire par un revirement de situation sur le terrain donnant lieu à la réalisation effective d'évaluation d'enjeux et aboutissant à une meilleure compréhension de l'intérêt d'intégrer cette dimension au cours de l'élaboration des PPR de la part des services instructeurs⁶⁵.

63. *Guide général des Plans de prévention des risques naturels prévisibles, op. cit.*

64. *Guide général des PPR, op. cit.*, p. 3.

65. Une recherche, consacrée au rôle des approches économiques dans la politique réglementaire de prévention des risques d'inondation, est actuellement menée par Gilles Hubert et Bruno Ledoux dans le cadre du programme de recherche « risque d'inondation » du GIP Hydrosystème. Une première enquête, réalisée auprès des services instructeurs des PPR, tend à montrer que les agents chargés de l'élaboration des documents cartographiques ont conscience de l'intérêt des études socio-économiques dans la gestion du risque d'inondation, en particulier pour aider à la prise de décision et à la concertation. Cependant, face aux difficultés méthodologiques

Quoi qu'il en soit, au regard des objectifs affichés par les pouvoirs publics en matière de cartographie réglementaire, les études à caractère socio-économique voient leur intérêt renouvelé pour au moins deux raisons. La première est liée au fait que les services centraux du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement souhaitent développer prioritairement la procédure PPR au niveau des secteurs urbains soumis à des risques naturels, c'est-à-dire là où les enjeux socio-économiques sont les plus importants. La seconde tient aux modalités d'élaboration des PPR qui doivent faire de la place à la concertation entre les élus locaux et les services de l'État. Dans ce cadre participatif, les débats risquent de se focaliser sur les enjeux de développement dans les zones à risques et par conséquent sur la manière dont ils s'inscriront dans le zonage et le règlement du PPR. De ce fait, une évaluation purement qualitative peut rapidement s'avérer insuffisante. Elle peut même être considérée comme une simple étape avant de passer à une évaluation quantitative. Le fait de pouvoir disposer d'une méthode opérationnelle demeure donc et la nécessité de mener des investigations à ce sujet reste d'actualité.

3. L'ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DANS LE CADRE DE LA MÉTHODE INONDABILITÉ

Développée par le CEMAGREF de Lyon, la méthode Inondabilité constitue une démarche originale d'évaluation du risque d'inondation par débordement de cours d'eau à l'échelle d'un bassin versant. Elle applique la doctrine du « ralentissement dynamique » que l'on peut traduire en ces termes : « favoriser les processus de stockage temporaire des crues partout où cela est physiquement possible »⁶⁶.

La méthode « inondabilité » est conçue comme un outil d'aide à la décision. Elle vise une modélisation quantifiée de l'aléa et de la vulnérabilité, ainsi qu'une comparaison des deux variables afin d'aboutir à une évaluation du risque (en situation actuelle et/ou au regard de projets d'aménagement). Tout au long de la démarche, cette méthode mobilise des outils de calcul (modèle débit-durée-fréquence pour l'hydrologie, modèle numérique de terrain pour l'hydraulique). Elle propose une représentation cartographique de l'aléa, de la vulnérabilité et de leur synthèse en terme de risque. Cette cartographie fournit une représentation simplifiée de la situation qui se veut utilisable dans le cadre d'une concertation/négociation entre les acteurs d'un même bassin versant.

La principale originalité de cette méthode est de traduire les concepts d'aléa et de vulnérabilité en deux variables quantifiables selon une même échelle de valeur pour les comparer et obtenir une valeur de « risque maximal acceptable » au niveau de chaque parcelle d'occupation des sols. À l'inverse des approches classiques qui cherchent à quantifier les impacts socio-économiques directs des inondations en termes monétaires, la méthode Inondabilité traduit la vulnérabilité par des données de nature hydrologique.

Les auteurs soulignent que cette méthode a pour vocation d'être utilisée dans le cas d'aménagements de rivières où commencent à exister soit des conflits d'usage, soit des pressions foncières sur les zones inondables, soit des problèmes environnementaux (Gilard *et al.*, 1996). Leur ambition est de faire de cette démarche un outil de dialogue entre les différents acteurs d'un même bassin versant et de négociation entre le milieu urbain et le milieu rural.

qu'ils rencontrent pour inscrire ces études dans la cartographie réglementaire, le zonage du PPR reste basé sur la seule étude des aléas.

66. La méthode Inondabilité a fait l'objet d'une communication lors du séminaire. La contribution écrite de Nicolas Gendreau figure dans la seconde partie de l'ouvrage.

L'analyse du risque à l'échelle d'un bassin versant et sa représentation simplifiée, à l'aide d'une carte sur laquelle figurent des pastilles de couleur⁶⁷, conduisent à considérer que la vulnérabilité du milieu rural est moins forte que celle du milieu urbain. Cette approche suggère qu'il est souhaitable d'inonder le premier pour protéger le second et suppose a priori que le monde rural accepte de jouer un rôle de solidarité dans une politique de prévention des risques d'inondation (en consentant à être inondé, en modifiant ses objectifs d'occupation des sols...), et cela en contrepartie de mesures compensatoires négociées avec les principaux aménageurs. Elle considère une configuration de bassin versant où les zones rurales situées en amont présentent des capacités de stockage temporaire et où les zones urbaines sont plutôt localisées à l'aval.

Les inondations et les mesures de prévention suscitent généralement des conflits qui bloquent les processus de décision. L'utilisation de cette méthode comme outil d'aide à la décision suppose donc que différentes conditions soient remplies. En préalable, il est nécessaire qu'existe sur le terrain une structure institutionnelle de maîtrise d'ouvrage ayant compétence en matière d'aménagement et de gestion de cours d'eau et dont la légitimité de décision est reconnue (pour un arbitrage éventuel). Cette structure doit en outre être capable d'organiser une dynamique de concertation autour du problème des inondations, à laquelle doivent participer tous les acteurs concernés (pour favoriser une expression de l'ensemble des points de vue en présence). Dans ce cadre, les protagonistes de la méthode Inondabilité sont amenés à participer directement au processus de décision en jouant un rôle d'animation, d'information et de pédagogie sur le risque. Il leur revient le rôle de créer les conditions de la concertation (amener à la table des négociations l'ensemble des parties prenantes et faire en sorte que les acteurs concernés aient conscience qu'il est de leur intérêt de rechercher des gains conjoints). La solidarité de bassin que l'on cherche ainsi à créer s'appuie sur un principe de compensation des servitudes et de transferts financiers correspondant à une communauté d'intérêts. On peut s'interroger sur la faisabilité de ces mesures et leur inscription dans l'organisation actuelle des décisions publiques (ainsi la fiscalité locale conduit à accorder des autorisations de permis de construire qui entraînent des recettes pour les communes, de même les primes qui sont associées à la Politique agricole commune conduisent les agriculteurs à mettre en culture les terres inondables plutôt que de conserver des prairies jouant le rôle de champs d'expansion des crues).

Une décision de gestion du risque d'inondation est avant tout politique, et les arguments de nature technique ou socio-économique ont simplement un rôle d'aide à la décision. Dans ce contexte et compte tenu du rôle attribué à la méthode Inondabilité, l'enjeu majeur n'est donc pas d'améliorer techniquement le modèle qui a été élaboré mais plutôt de s'interroger sur la façon de l'inscrire dans le processus de décision. Dans le cadre d'une application sur le terrain de la méthode Inondabilité, il semble important qu'une analyse fine des processus de décision locaux, des logiques d'acteurs, de leur attitude face au risque et de leur éventuelle volonté de participer à un processus de concertation soit menée⁶⁸. À cet égard, les auteurs n'offrent pas véritablement de réponse. Le guide pratique de la méthode Inondabilité souligne la nécessité

67. Les résultats se traduisent sous forme de cartes de synthèse où l'information est spatialisée et représentée à l'aide de pastilles de couleur jaune (qui montrent que l'on est en dehors de la crue maximale simulée), rouge (parcelles où l'on est inondé de façon « inacceptable ») ou verte (parcelles où LON est inondé de façon suffisamment rare pour que le risque soit acceptable).

68. On notera qu'une recherche sur ces questions est actuellement entreprise sous la direction de Laurent Mermet à l'ENGREF. Elle porte sur l'analyse des logiques d'acteurs et de leurs intérêts, en étudiant les transferts financiers liés à la gestion des espaces inondables. Cette analyse vise à donner un nouvel éclairage des conflits en matière d'inondation pour parvenir à des prescriptions permettant de mettre en place une coopération entre acteurs. Cette recherche reçoit le soutien du GIP Hydrosystème dans le cadre du programme de recherche « risque d'inondation ».

d'organiser une concertation locale, de mener des enquêtes socio-économiques... sans apporter d'information méthodologique sur ces aspects (Gilard *et al.*, 1996).

En outre, une décision ne peut être prise en se basant uniquement sur une analyse « technique » de la vulnérabilité. Il semble nécessaire d'introduire la dimension socio-économique du risque dans la méthode. Ce manque a conduit le CEMAGREF de Lyon à engager récemment une collaboration scientifique avec une équipe d'économistes de l'environnement : le Laboratoire d'analyse et de techniques économiques (LATEC), de l'université de Bourgogne à Dijon⁶⁹. Une recherche théorique a été menée pour quantifier la vulnérabilité et exprimer le risque maximal acceptable en termes économiques. Considérant que le concept de coût moyen annuel des dommages n'était pas pertinent, les réflexions se sont appuyées sur les modèles microéconomiques d'affectation foncière en avenir incertain⁷⁰. Ces modèles permettent de spécifier le degré de risque que l'individu accepte de supporter et de comprendre les choix individuels du mode de valorisation des parcelles situées en zone inondable. Ils reposent sur les hypothèses suivantes (Gendreau *et al.*, 1998) :

- le fait de détenir des parcelles inondables est avant tout un moyen de réaliser un bénéfice parce que l'affectation d'une parcelle à une activité est source de revenu (si l'activité est marchande) ou correspond à une utilité (en cas de service non marchand) ;
- le choix de valorisation d'une parcelle inondable est rationnel en ce qu'il répond à un principe de maximisation d'une valeur économique, compte tenu de l'occurrence potentielle d'une inondation, des préférences de l'individu et de son aversion plus ou moins prononcée pour le risque ;
- la rationalité du choix économique n'est pas de se protéger *a priori* des inondations mais d'adopter une stratégie d'activité optimale compte tenu de l'environnement.

Dans un tel cadre d'analyse, le risque maximal acceptable peut être assimilé à la notion de perte seuil (seuil de ruine au-delà duquel une activité prévalant sur une parcelle inondable est mise en faillite), dont les déterminants dépendent des caractéristiques d'une activité donnée : profil temporel des coûts et des recettes, sensibilité physique de la production et des équipements productifs aux inondations... Cette perte seuil peut être considérée comme un montant maximal de dommages instantanés que l'agent économique est capable d'autofinancer, au regard des bénéfices cumulés de l'exploitation de cette parcelle⁷¹.

Il convient de noter que la quantification économique de la vulnérabilité au travers de cette approche est actuellement en phase exploratoire. Elle a fait l'objet d'une tentative d'application au cas de l'activité agricole, pour laquelle il s'est agi de dresser un état des lieux du comportement microéconomique de l'agriculteur lorsqu'il est confronté à une inondation (Longhini, 1997). D'autres voies de recherche sont actuellement poursuivies dans le même but, en particulier sur la possibilité d'utiliser la méthode d'évaluation contingente pour redresser les biais associés à l'analyse de la vulnérabilité (Braun *et al.*, 1999). Cette approche d'évaluation directe, qui consiste à interroger les individus sur leurs préférences, s'inscrit bien dans la philosophie de la méthode Inondabilité. Son principe est extrêmement simple : par le biais de sondages, on cherche à mesurer le consentement à payer des individus bénéficiant

69. Cette collaboration s'est inscrite dans une recherche entreprise entre 1996 et 1998 dans le cadre d'un programme européen : Floodaware (prévention et prévision des risques d'inondation).

70. Ces modèles ont été développés aux États-Unis en particulier par J.P. Brown. Sur le sujet, voir notamment : Brown J.P., *The economic effects of flood. Investigations of a stochastic model of rational investment behaviour in the face of floods*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1972.

71. Notons que cette approche est utilisable pour évaluer la vulnérabilité des activités, voire des équipements. Il est moins évident de pouvoir tenir le même raisonnement pour les logements.

d'une amélioration de leur situation et/ou le consentement à recevoir des individus subissant une dégradation de leur environnement.

La méthode « inondabilité » propose, comme base de négociation, une mesure du risque limitant l'information des acteurs concernés à quelques rudiments des sciences de l'ingénieur et excluant du concept de vulnérabilité des éléments jugés comme étant trop compliqués pour être présentés aux décideurs. Elle laisse supposer que la négociation s'opère de la même manière qu'une optimisation collective du risque (or toute négociation s'ouvre en présence d'enjeux propres à chaque acteur), que les personnes concernées par l'inondation ont une appréhension pertinente de leur vulnérabilité, et qu'un « marché du risque » peut se mettre en place sur le terrain. La faculté d'utiliser concrètement cette démarche est donc loin d'être évidente.

Les principes de cartographie de la vulnérabilité et de concertation, retenus par la méthode Inondabilité, sont cependant intéressants dans le cadre d'un processus de décision, afin de poser les problèmes de gestion des risques d'inondation et d'amorcer une dynamique de participation des acteurs concernés. Ces principes peuvent être mis en œuvre par exemple lors de l'élaboration d'un Schéma d'aménagement et de gestion des Eaux (SAGE), où la concertation entre les acteurs d'un même bassin versant joue un rôle essentiel.

4. CONCLUSION

L'analyse et l'évaluation de la vulnérabilité et des enjeux doivent être considérées comme l'une des façons d'appréhender la dimension socio-économique du risque. Elles constituent une famille de méthode à part entière et entrent dans la catégorie des approches dites « qualitatives ». À l'heure actuelle, on peut constater un développement de ce type de démarche, plus souple et plus légère qu'une évaluation des dommages. Cependant le nombre d'étude de cas mettant en œuvre des approches qualitatives est encore restreint, les démarches restent expérimentales et les acquis méthodologiques demeurent faibles. Toute réflexion nouvelle ne peut que conduire à un renforcement des bases conceptuelles, à une meilleure formalisation des études qualitatives et à une reconnaissance de leur place dans le paysage des évaluations socio-économiques des impacts des inondations.

Chapitre 4

LES ÉVALUATIONS *A PRIORI*

La question centrale posée par une évaluation *a priori* est de caractériser et de quantifier les impacts socio-économiques de crues potentielles, afin de pouvoir apprécier l'efficacité des aménagements de protection existants, d'étudier la rentabilité de projets futurs (en terme de réduction des dommages) ou tout simplement d'estimer le poids économique des inondations sur un secteur donné.

L'évaluation *a priori* constitue la démarche la plus aboutie et sans doute également la plus lourde à mettre en œuvre. Elle donne lieu à une modélisation, c'est-à-dire à l'établissement d'une représentation du processus d'apparition des impacts en fonction des aléas considérés, dans le but de simuler les coûts des dommages dus à la survenance d'événements hypothétiques. Les dommages que l'on cherche à caractériser et à quantifier dépendent étroitement du cadre décisionnel dans lequel on se place. Il importe donc de focaliser l'analyse sur les dommages qui sont pertinents pour le commanditaire de l'étude et qui sont liés à la décision analysée (il s'agit par exemple de prendre en considération les dommages qui sont susceptibles d'être réduits par un projet d'aménagement). Les décisions que l'on cherche à éclairer portent sur des aires géographiques de tailles variables : le quartier, l'agglomération, la vallée inondable, le bassin versant hydrographique dans son ensemble.

Le présent chapitre met l'accent sur la méthodologie d'évaluation *a priori*. À partir de la schématisation d'une démarche type, le contenu et l'organisation d'une évaluation *a priori* sont présentés. Les différentes étapes d'analyse sont ensuite déclinées par catégories d'impacts (impacts humains, habitat, agriculture, activités industrielles, commerciales et artisanales, équipements et réseaux). Enfin, les principales caractéristiques de quelques outils de calcul automatisé des dommages sont exposées.

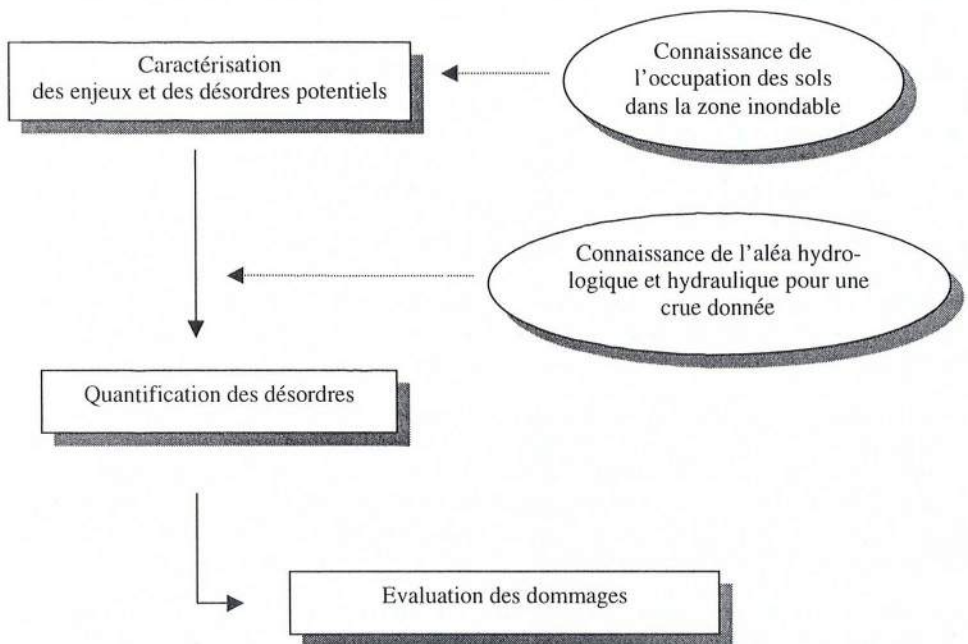
Dans ce chapitre, il est fait référence en particulier aux études qui ont été réalisées récemment sur les bassins de la Seine et de la Loire⁷². Ces deux exemples permettent de faire état des avancées méthodologiques en matière d'évaluation *a priori*. Ils constituent cependant des cas particuliers, compte tenu de l'ampleur des moyens dégagés pour mener à bien l'évaluation des impacts des inondations⁷³. D'autres études de cas plus modestes sont également citées pour illustrer les propos.

72. Ces deux études de cas ont fait l'objet de présentations générales et d'exposés thématiques lors du séminaire. Les différentes communications s'y rapportant figurent dans la seconde partie de l'ouvrage.

73. Dans le cas de la Loire, le programme d'étude a coûté jusqu'à présent 15 millions de francs TTC (dont 1/3 environ consacré au volet économique). Il s'est déroulé sur quatre ans et représente 50 % du budget total de l'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Dans le cas de la Seine, le programme d'étude est décomposé en deux phases successives. Le coût de la première phase (1990-1992) est de 2 millions de francs HT (dont 682 000 F HT pour le volet économique). Celui de la seconde phase (1996-1998) est estimé à 5 millions de francs HT (dont 1 million de Frcs HT environ pour le volet économique).

1. L'ORGANISATION D'UNE DÉMARCHE TYPE

Une évaluation *a priori* des impacts socio-économiques des inondations donne lieu à une représentation du processus « aléas-impacts ». Elle débouche sur une estimation du coût des dommages potentiels sur un territoire et pour un événement donnés. Cette évaluation suppose de connaître avec précision non seulement les limites géographiques des différentes crues que l'on souhaite prendre en compte, mais aussi leurs caractéristiques hydrauliques. Parallèlement à l'étude des phénomènes physiques et des conditions de submersion, l'évaluation socio-économique a proprement parlé passe par plusieurs étapes successives, comme le montre le schéma suivant.



- La première étape porte sur la caractérisation des enjeux socio-économiques, par rapport à l'occupation des sols dans la zone inondable, et des désordres potentiels, en regard de la survenance d'une inondation. Le territoire qui sert de référence au repérage des enjeux et à l'identification des désordres correspond le plus souvent à l'emprise de la plus grande crue connue ou de la crue centennale modélisée (période de retour généralement choisie en l'absence de données sur les crues historiques).

Cette étape essentielle doit permettre de délimiter le champ d'investigation, en répondant à des questions telles que : prend-t-on en compte uniquement les impacts directs ou s'intéresse-t-on également aux impacts indirects ? Doit-on intégrer dans l'évaluation le coût des secours et les frais de relogement des personnes sinistrées ? Faut-il prendre en considération le nombre de personnes concernées par l'interruption du fonctionnement d'un réseau technique ?...

Elle nécessite souvent la mise en œuvre de moyens d'investigation importants et des réflexions méthodologiques poussées. Les résultats de l'évaluation finale sont en effet tributaires de la précision avec laquelle les enjeux et les désordres sont inventoriés puis quantifiés. L'ampleur de cette tâche est d'ailleurs souvent sous-estimée par les maîtres d'ouvrage d'études (les cahiers des charges d'études ne mettent pas suffisamment l'accent sur l'intérêt de cette première étape), ainsi que par les bureaux d'étude qui réalisent les investigations. Le choix des types d'enjeux et de désordres auxquels on s'intéresse est nécessairement limité. Il dépend des moyens disponibles mais aussi du cadre décisionnel dans lequel se place l'évaluation.

Les modalités d'analyse des enjeux et des désordres sont également dépendantes des méthodes retenues ensuite pour le calcul des dommages⁷⁴. Elles sont en outre conditionnées par des facteurs contextuels tels que l'existence sur le terrain de sources d'information particulières et de bases de données spécifiques. Ainsi, dans le cas de l'étude Seine⁷⁵, toute la démarche repose sur l'existence de la base de données de l'IAURIF⁷⁶ : le mode d'occupation des sols (MOS). Ce document numérique représente une carte des modes d'occupation du sol saisie après photo restitution au 1/5 000 de photos aériennes. Inadaptée à l'objectif de l'étude Seine, la nomenclature du MOS (classification de l'occupation du sol en 130 postes) a été modifiée et une classification en 36 postes répartis selon 6 grandes familles d'utilisation de l'espace a été retenue (espace rural, espace urbain non construit, espace urbain construit type habitat, espace urbain construit type activités, équipements, infrastructures de transport).

De même, lorsqu'un modèle hydraulique est mis en œuvre, la localisation des enjeux est dépendante du découpage de l'espace effectué par ce modèle. Par exemple, dans le cas de l'étude Loire⁷⁷, le modèle hydraulique utilisé distingue les casiers hydrauliques (zones inondables des vals) et les unités filaires (couloirs d'écoulement des crues). Les enjeux et les désordres sont recensés puis évalués pour chacune de ces unités, à l'intérieur desquelles on considère qu'ils sont répartis de manière homogène.

Cette première étape donne lieu à l'établissement d'une typologie :

- soit par entité : identification et comptage des biens exposés, mise en évidence des désordres potentiels par type de biens ;
- soit par unité de surface : caractérisation des enjeux et des désordres potentiels par zones considérées comme étant homogènes du point de vue de l'occupation des sols (zone d'habitat, zone d'activité...).

Il faut noter que ce type d'investigation et les résultats qu'elle produit constituent en soit une source de connaissance intéressante qui est susceptible d'être utilisée en dehors d'une évaluation économique⁷⁸.

74. Le choix d'utiliser par la suite des fonctions de coût existantes pour calculer les dommages conditionne l'organisation de la première étape. Il faut en effet définir une typologie des enjeux adaptée aux fonctions disponibles dans la littérature.

75. L'étude Seine désigne le programme d'étude mené par l'IIBRBS et consacré à l'évaluation des impacts des ouvrages existants et futurs sur les dommages liés aux crues de la Seine et de la Marne en région Ile-de-France. Voir la présentation de Jean-Louis Rizzoli qui figure dans la seconde partie.

76. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.

77. L'étude Loire correspond au programme d'évaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations de la Loire moyenne, dont la réalisation a été confiée à l'équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature. Voir la présentation de Claire Devaux-Ros qui figure dans la deuxième partie.

78. C'est par exemple l'option qui a été choisie lors des études de définition d'un schéma de protection contre les crues de la Garonne. Les enjeux liés aux activités ont été étudiés grâce à un recensement précis du nombre d'entreprises inondées par commune (classées par tranche d'effectifs salariés) et une identification des secteurs

• La seconde étape concerne la quantification des désordres pour une crue donnée. Elle suppose de mobiliser les connaissances concernant l'aléa hydrologique et hydraulique. Connaissant les caractéristiques de submersion d'une crue donnée, il s'agit de quantifier les désordres en terme :

- de distribution de hauteurs d'eau et de durées de submersion par entité ou par unité de surface ;
- de nombre d'habitations, d'activités, d'équipements touchés ;
- de surfaces agricoles submergées ;
- de linéaires de voiries inondées, de types de réseaux touchés ;
- etc.

Cette quantification des désordres, en fonction des paramètres de submersion, peut être réalisée au niveau de zones homogènes d'occupation des sols (zone d'habitat, zone d'activité...) ou à l'échelle élémentaire (la parcelle, le bâtiment, le logement...).

• La troisième et dernière étape a trait à l'évaluation monétaire des dommages, c'est-à-dire à la valorisation économique des désordres. L'utilisation d'un outil de calcul, reliant les phénomènes physiques simulés aux désordres correspondants et aux dommages qui en découlent, permet d'évaluer les montants de dommages pour différents scénarios de crues et/ou d'aménagement (renforcement de digues de protection locales, recalibrage du lit du cours d'eau, construction d'un ouvrage de rétention des eaux, préservation d'une zone naturelle d'expansion des crues...). L'estimation d'un coût global des dommages correspond à une sommation de montants de désordres très différents. Il peut s'agir en effet :

- de dommages directs correspondant à des montants d'indemnisation (pour les biens assurés), à des coûts de réparation ou de reconstruction (biens mobiliers), à des coûts de renouvellement (biens mobiliers)...
- de dommages indirects correspondant à des pertes d'exploitation (pour les activités), à des coûts de secours (pour gérer la crise et la post-crise), à des coûts de nettoyage (aux bâtiments), à des pertes de temps de transports transformées en coûts (pour les usagers des infrastructures de transports), à des baisses de niveaux de service ou des arrêts de services rendus transformés en coûts (pour les usagers des réseaux techniques urbains et des équipements publics)...

Ces différents types de coûts n'ont pas la même signification et sont évalués à l'aide de méthodes plus ou moins élaborées, parfois très empiriques, et dont le degré de précision varie d'un enjeu à l'autre.

Pour certains types de désordres, le calcul du montant des dommages peut se faire à l'aide des fonctions de coûts existantes. C'est le cas par exemple des dommages matériels directs à l'habitat et aux activités (industrielles, artisanales, commerciales, agricoles), mais aussi des pertes d'exploitation (aux activités). En revanche, d'autres désordres ne peuvent être estimés à partir de fonctions de coûts. Le calcul des dommages doit alors passer par une expertise in situ. Ainsi, l'évaluation monétaire des dommages indirects aux réseaux (effets induits par l'arrêt du fonctionnement ou par le dysfonctionnement des réseaux) nécessite de faire appel

de concentration de commerces et de petites entreprises de cinq salariés ou plus. En revanche, les dégâts aux activités économiques n'ont pas été traduits en valeur économique, en considérant que la vulnérabilité des entreprises aurait nécessité une analyse exhaustive détaillée de chacune d'entre elles dépassant le cadre de cette étude (SMEPAG, 1989).

aux gestionnaires eux-mêmes auxquels on soumet un scénario d'inondation pour qu'il soit traduit en scénario de désordres⁷⁹.

Les résultats d'une évaluation économique des dommages dépendent des choix qui sont opérés et des hypothèses de travail qui sont retenues à chacune des étapes de la démarche décrite précédemment. Ainsi, la prise en compte dans l'évaluation des réponses individuelles ou collectives apportées localement pour réduire les impacts des inondations annoncées ou en cours (déplacement des biens mobiliers, mesures de protection temporaire, évacuation des personnes, distribution de matériels...) ou encore de la localisation précise des biens immobiliers par rapport au terrain naturel (constructions sur pilotis, sur remblais...) induit fortement sur le montant des dommages calculés. En tout état de cause, ces résultats doivent être considérés comme des ordres de grandeurs et doivent être utilisés comme tels.

2. LES MODALITÉS D'ANALYSE ET D'ÉVALUATION DES IMPACTS A PRIORI

Après avoir décrit la démarche globale pouvant être appliquée dans le cadre d'une évaluation *a priori*, il est important de préciser pour chaque type d'impacts les modalités d'analyse et d'estimation des dommages qui peuvent être mises en œuvre. Une présentation thématique se justifie par le fait que les méthodes d'évaluation diffèrent selon les types d'impacts considérés.

Sont présentées successivement les méthodologies développées pour évaluer les impacts humains, les impacts à l'habitat, à l'agriculture, aux activités (industrielles, commerciales et artisanales), aux équipements et aux réseaux.

2.1. Les impacts humains

Dans sa forme la plus simple, l'estimation des populations menacées par les inondations consiste à recenser les personnes résidant en permanence dans les zones inondables, en distinguant celles qui sont **exposées** à l'événement (les personnes qui habitent dans les locaux atteints par l'eau) et celles qui sont **concernées** par l'événement (les personnes qui vivent dans des immeubles atteints par l'eau, mais dont les locaux d'habitation ne sont pas atteints par l'eau). On peut également considérer les personnes non résidentes mais qui sont concernées par les inondations car elles fréquentent ou travaillent dans des établissements installés en zone inondables (écoles, services publics, hôpitaux, maisons de retraite, commerces, industries...). En outre, si le risque peut coïncider avec un accroissement saisonnier de la population⁸⁰, il est alors nécessaire de prendre en compte ce facteur.

L'analyse de la vulnérabilité humaine peut cependant être poussée plus loin en cherchant à estimer des préjudices humains potentiels (décès, blessures, incapacités, évacuation...) en relation avec l'intensité des phénomènes naturels. Une évaluation de ce type a été proposée dans le cadre des études de vulnérabilité liées à la cartographie réglementaire des risques d'inondation (PERi). Des probabilités de morts, de blessés et de sans-abri, ainsi que des valeurs de coût unitaire pour ces mêmes catégories (dédites des statistiques de la sécurité so-

79. Voir à ce sujet l'intervention de Pierre Desgranges concernant l'analyse des désordres et des dommages aux réseaux.

80. Est-ce utile de rappeler que nombre de campings et d'espaces de loisirs sont situés en zones inondables ?

ciale) ont été données pour le calcul de la vulnérabilité humaine, pour différents niveaux d'aléas⁸¹.

Cette démarche, comme les valeurs proposées, sont très peu utilisées aujourd'hui. En fait, ce niveau d'analyse est rarement recherché. Comme l'illustrent les trois exemples suivants, on se contente généralement d'étudier la répartition de la population dans les zones inondables et/ou d'estimer les effectifs de personnes exposées et/ou concernées.

Dans le cadre de l'étude de la vulnérabilité humaine dans les zones inondables du Val d'Orléans et du Val de Bou (BCEOM, 1994), la démarche retenue a consisté en une exploitation et un croisement de différentes sources d'information préexistantes. Elle s'est tout d'abord traduite par la réalisation d'une carte générale de l'occupation des sols, à partir d'une couverture de photos aériennes. Cette carte a ensuite été digitalisée, puis croisée avec les fichiers délimitant des « îlots de population homogènes » réalisés par l'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Orléanaise. Compte tenu des informations contenues dans les fichiers utilisés, la population présente dans un périmètre inondable n'a pas pu être estimée précisément.

L'étude consacrée à l'évaluation des populations touchées par les crues de la Marne (EDATER, 1998), a tenté de répondre à cette question. En croisant les limites de crues scannées avec les îlots INSEE⁸², il a été possible d'aboutir à une répartition assez fine des populations sur le territoire en fonction des niveaux d'aléa. L'estimation des effectifs suppose cependant de disposer de limites de crues suffisamment précises et de données statistiques récentes concernant la population.

Une approche différente, aboutissant au même résultat, a été retenue pour l'étude réalisée dans le cadre de la mise en place du schéma de protection contre les crues de la Garonne (SMEPAG, 1989)⁸³. La méthode utilisée pour estimer l'enjeu habitat ayant abouti à un nombre de logements, il a été possible d'estimer le nombre d'habitants sinistrés en considérant un nombre moyen d'habitants par logement. Pour ce faire, les données de l'INSEE fournissant des valeurs locales ont été mobilisées.

2.2. Les impacts à l'habitat

Les dommages à l'habitat (collectif et individuel) constituent la catégorie d'impact qui a été la plus étudiée jusqu'à présent. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer cette situation. Leur importance politique et sociale est telle qu'ils font l'objet de nombreuses politiques de prévention et de protection. Par ailleurs, la moindre variabilité des biens exposés (comparativement aux activités par exemple) et le grand nombre d'effectifs rendent plus facile une évaluation des dommages. Ils permettent en outre de raisonner sur des moyennes. Enfin, les processus potentiels d'endommagement sont relativement bien connus.

L'évaluation monétaire des désordres relatifs à l'habitat porte généralement sur les impacts aux ensembles immobiliers et aux contenus mobiliers, qui se trouvent dans les zones exposées à l'inondation. On peut toutefois considérer également les impacts aux abords immédiats (jardins, espaces verts, clôtures, plantations...), ainsi qu'aux véhicules terrestres appartenant aux ménages sinistrés.

81. DRM, 1990. Cité en bibliographie.

82. Les îlots INSEE correspondent à un découpage des communes par unités d'environ 10 hectares. Chaque îlot regroupe des informations issues des recensements effectués par l'INSEE et qui portent notamment sur la population (en résidence principale, en habitat mobile), le nombre d'immeubles collectifs, le nombre de logement (résidences principales, résidences secondaires, logements vacants).

83. On parlera par la suite de l'étude Garonne pour désigner cet exemple.

Classiquement, une évaluation des dommages à l'habitat se décompose en quatre phases successives.

2.2.1. La définition d'une typologie de l'habitat

La typologie retenue pour décrire l'habitat doit refléter la variabilité de vulnérabilité à la submersion des différents types d'habitat présents dans les secteurs étudiés, mais aussi les nuances dans les valeurs des biens. À hauteurs d'eau égales, plusieurs critères de vulnérabilité sont considérés pour expliquer la variation du montant de dommages. Ainsi, pour l'habitat individuel, les critères les plus fréquents sont les suivants :

- la présence ou l'absence d'un étage ;
- la présence ou l'absence d'un sous-sol (aménagé ou non) ;
- la hauteur du premier plancher habitable par rapport au terrain naturel⁸⁴ ;
- le « niveau de standing » de l'habitation.

Le recours à une typologie très simple, qui distingue l'habitat collectif et l'habitat individuel (lui-même pouvant être décliné en plusieurs classes), permet d'utiliser ensuite des fonctions de dommages ou d'endommagements disponibles dans la littérature.

Une typologie plus fouillée et parfaitement adaptée aux particularités architecturales locales peut cependant être définie (en faisant appel par exemple à des architectes urbanistes connaissant bien le secteur étudié). Cette option implique d'élaborer des fonctions de dommages ou d'endommagements adaptées à cette typologie spécifique et nécessite une enquête de terrain.

Dans le cas de l'étude Loire, une typologie de l'habitat a été établie en croisant plusieurs critères : le type de logement (habitat individuel, habitat collectif), la densité de l'habitat (groupé, dispersé...), le nombre de niveaux des habitations, la présence ou l'absence de sous-sols et la période de construction (avant 1954, de 1955 à 1967, de 1968 à 1982, après 1982). Elle a permis de définir des zones homogènes classées en 6 postes : habitat de type centre bourg, habitat de type centre ville, habitat individuel continu bas, habitat collectif dispersé, habitat individuel groupé et habitat individuel dispersé.

2.2.2. Le recensement et la localisation de l'habitat

• Lorsque la surface inondable est étendue et le nombre de logements important, il est nécessaire d'établir une carte de l'occupation des sols (réalisée le plus souvent par interprétation de photos aériennes). Cela permet, en regard de la typologie retenue, de transformer les surfaces d'habitat en nombre de logements, en appliquant des densités de logements à l'hectare. Ces densités sont calculées sur la base d'un échantillon jugé représentatif.

C'est ainsi que dans le cas de l'étude Loire, une carte de l'occupation des sols a été réalisée au 1/25 000 pour les agglomérations d'Orléans et de Tours. L'utilisation des données INSEE à l'îlot a permis de valider les résultats.

Lors de la seconde phase de l'étude Seine (1996-1998), le recensement et la localisation de l'habitat en zone inondable ont été réalisés à partir de données population/logements de

84. Cet indicateur joue un rôle important pour le calcul du coût des dommages ou du niveau d'endommagement, en fonction des caractéristiques de la submersion. La détermination du niveau du terrain naturel pose parfois problème, en particulier si dans une zone donnée l'habitation est construite sur un remblai. Elle nécessite un repérage de terrain, rarement envisageable dans les études courantes.

l'INSEE disponibles par îlot MOS. Par la suite, l'évaluation des dommages n'a considéré que les logements situés en rez-de-chaussée, dont le nombre moyen par poste MOS a été estimé grâce à une enquête de terrain.

- Lorsque la surface inondable est plus réduite et le nombre de logements moins important, il est envisageable de comptabiliser directement les habitations soit par une visite de terrain, soit en utilisant un fond cadastral ou une carte IGN.

Cette démarche a été retenue dans le cas de l'étude Loire pour l'habitat dispersé (utilisation d'une carte IGN) et pour l'habitat un peu plus dense mais localisé hors agglomération (réalisation d'une visite de terrain).

Pour l'étude Garonne, les biens immobiliers ont été inventoriés par photo-interprétation, en considérant deux catégories d'habitat en fonction de leur valeur monétaire⁸⁵ :

les maisons récentes dont la valeur a été estimée à 600 000 francs (y compris le mobilier) ;

les maisons anciennes et les fermes dont la valeur a été estimée à 225 000 francs (y compris le mobilier).

2.2.3. La valorisation des enjeux

Pour calculer les dommages directs à l'habitat à l'aide de fonctions d'endommagement, il est nécessaire d'avoir des informations sur les valeurs mobilières et immobilières des habitations exposées au risque.

La détermination de la valeur moyenne immobilière des logements est généralement issue d'une enquête de terrain auprès des ménages, des agents immobiliers, des notaires... ou d'études antérieures synthétisant des résultats d'enquêtes auprès des sinistrés. En l'absence de données de ce type, la valeur immobilière peut être obtenue en première approximation à partir du coût moyen de construction d'une maison individuelle ou d'un logement collectif, pondéré par un coefficient de dévalorisation qui est fonction de l'âge de la construction et de sa situation géographique (valeur du quartier).

La valeur mobilière des logements peut également être estimée soit à partir d'enquêtes de terrain, soit en utilisant des informations issues d'études antérieures ou en ayant recours à des experts d'assurance. Faute de données d'enquêtes, on peut admettre, sur la base d'études antérieures, un ratio entre la valeur mobilière et immobilière de 27 % pour l'habitat individuel (Torterotot et Thomas, 1988) et de 18 % pour l'habitat collectif (SAGERI, 1988). Précisons que pour l'habitat individuel (avec ou sans sous-sol) comme pour l'habitat collectif, on s'intéresse plus particulièrement à la valeur des biens situés en rez-de-chaussée⁸⁶.

2.2.4. L'estimation des dommages

On considère généralement que les coûts de dommages à l'habitat correspondent à la somme des pertes financières subies par les particuliers, sans déduction des indemnisations perçues⁸⁷.

85. Ces valeurs étaient issues de zones tests étudiées en 1989 dans le cadre de l'élaboration de Plans d'exposition au risque d'inondation, après enquêtes directes sur le terrain.

86. Les dommages à l'habitat concernent généralement les sous-sols et les rez-de-chaussée.

87. Cette remarque est également valable pour l'évaluation du coût des dommages aux biens mobiliers et immobiliers appartenant à des institutions et à des entreprises.

Les dommages directs aux logements, correspondant à des dégâts matériels à l'immobilier et au mobilier, sont systématiquement pris en compte et quantifiés dans les évaluations socio-économiques. Pour le calcul d'un montant de dommages directs à ces types de biens, il faut en toute rigueur prendre en considération leur « état d'usure » avant sinistre. De même, pour un bien qui est remplacé ou remis à neuf à la suite d'une inondation, il convient d'évaluer le montant du dommage :

- soit en substituant au prix d'achat du bien en question, un prix d'occasion (par rapport à l'ancienneté du bien initial) ;
- soit en déduisant du coût de remise à neuf l'amélioration dont le sinistré bénéficie par rapport à l'état initial du bien, et que l'on peut considérer comme étant égale à la différence entre la valeur neuve et la valeur résiduelle au moment de l'inondation (vétusté déduite) ;

En pratique, le coût des dommages est calculé beaucoup plus simplement. Ainsi, le montant des dommages aux biens mobiliers et immobiliers correspond au coût de remise en état (coût des fournitures et du travail nécessaire) ou au coût de remplacement de ces derniers.

Dans la littérature, il apparaît que **la hauteur d'eau** (qu'elle soit considérée à partir du terrain naturel ou autant que possible à partir des planchers des différents niveaux des bâtiments) constitue le paramètre le plus significatif pour expliquer le montant des dommages⁸⁸. Des difficultés semblent rencontrées par les auteurs d'études sur ce thème, pour établir une relation simple entre les dommages et d'autres facteurs physiques tels que la vitesse du courant, la durée de submersion ou la qualité des eaux inondantes.

En regard de la hauteur d'eau, notons également qu'il est très rare de trouver des informations sur les dommages concernant des bâtiments inondés au-delà de 2 mètres (par rapport au premier niveau d'habitation occupé). Les crues, qui sont à la base du calage des fonctions de dommages ou d'endommagement, sont rarement des crues historiques extrêmes. En outre, les zones exposées à un risque excessif font rarement l'objet d'une urbanisation dense. Il s'avère donc difficile de déduire la forme et les valeurs des fonctions pour des hauteurs d'eau dépassant le premier niveau aménagé.

Le recours à des **fonctions de coûts** pour calculer le montant des dommages directs à l'habitat est l'option la plus classique. Les différents travaux (recherches et études) portant sur ce thème ont permis en effet d'élaborer deux types de fonctions qui sont facilement mobilisables :

- des fonctions de dommages qui établissent une relation entre le coût des dommages totaux à l'habitat par rapport à la hauteur d'eau ;
- des fonctions d'endommagement, qui établissent une relation entre l'endommagement (dommage relatif ramené à la valeur totale exposée) et la hauteur d'eau ;

Ces fonctions, mises au point essentiellement pour l'habitat individuel, distinguent les habitations avec sous-sol et sans sous-sol. Généralement, elles analysent séparément les dommages au mobilier et à l'immobilier.

Pour l'estimation des dommages directs à l'habitat individuel, il semble préférable de faire appel aux fonctions d'endommagement plutôt qu'aux fonctions de dommages. En regard de la hauteur d'eau, les corrélations sont plus fortes avec l'endommagement qu'avec le montant absolu des dommages. De surcroît, la prise en compte de l'endommagement permet d'établir une relation plus stable dans le temps et plus facilement applicable (Torterotot, 1993).

88. Les fonctions de dommages ou d'endommagement disponibles retiennent toutes ce paramètre.

C'est le choix qui a été opéré lors de l'étude Seine. Des courbes d'endommagement, établies dans le cadre de la préparation des Plans d'Exposition au Risque d'inondation sur les communes de Villeneuve-Saint-Georges (94), Ablon-sur-Seine (94) et Lagny-sur-Marne (77) ont été utilisées⁸⁹. Ces courbes ont été construites statistiquement à partir d'une dizaine de valeurs du couple « hauteur d'eau », « % d'endommagement ». Élaborées respectivement pour les logements avec sous-sol et pour les logements sans sous-sol, elles permettent d'obtenir un coefficient d'endommagement (exprimé en pourcentage), en fonction de la hauteur d'eau, rapporté à la valeur immobilière du rez-de-chaussée de l'habitation et du sous-sol (pour le cas des logements avec sous-sol). Seules les valeurs immobilières ont été prises en considération ici pour le calcul des dommages à l'habitat. Elles ont été obtenues, lors de la première phase d'étude, sur des zones témoins à partir d'enquêtes réalisées auprès d'agents immobiliers.

L'utilisation d'une fonction d'endommagement n'est pas la seule possibilité pour calculer le montant des dommages directs à l'habitat. Une approche plus grossière, s'affranchissant de la nécessité de valoriser les biens (mobiliers et immobiliers), peut également être employée. Elle consiste à calculer **un coût moyen de dommage par logement** en fonction d'une crue de période de retour donnée.

Pour ce faire, il s'agit est nécessaire de connaître d'une part, le montant global des dommages à l'habitat (ou le montant des indemnisations) survenus à la suite d'une crue historique ou d'une série d'événements et d'autre part, le nombre de logements touchés (tous types confondus). Par simple division, il est alors possible de calculer le coût moyen des dommages par logement pour une crue donnée.

Cette approche a été employée lors de l'étude des crues de la Maine où le coût moyen des dommages aux habitations a été estimé, par la Préfecture de la Sarthe suite aux inondations de 1995, à 43 000 francs par logement (CNR, 1988). Elle a également été utilisée au cours de l'étude consacrée à l'évaluation des impacts économiques de l'aménagement de l'Isère dans la vallée du Grésivaudan. Plusieurs sources de données ont été mobilisées, en particulier un retour d'expérience sur quelques communes de l'aire d'étude récemment inondées et des statistiques de l'APSAD⁹⁰. Ces différentes sources concordaient pour situer le dommage moyen par logement autour de 35 000 francs (SOGREAH, 1994)⁹¹.

Plus récemment, cette même démarche a été développée dans le cadre de l'étude Loire. Cependant, en l'absence de crues récentes dommageables sur les secteurs étudiés, d'autres sources d'information ont été utilisées. Une enquête a été menée auprès de cabinets d'experts intervenant pour le compte des compagnies d'assurances dans l'évaluation des montants de dommages et une exploitation statistique des données issues des « dossiers sinistres », constitués à la suite de crues récentes (1994 et 1995) survenues sur le territoire métropolitain, a été réalisée. Pour confronter les estimations issues de ce travail avec la réalité du terrain d'étude, il a été organisé une réunion de travail avec des experts locaux. L'apport essentiel de cette confrontation a été de valider l'option d'un coût moyen, sans effet de seuil (c'est-à-dire en considérant que la présence de l'eau dans une habitation induisait des dommages, quelle que soit la hauteur d'eau). La démarche choisie ici est confortée par le fait que les hauteurs de submersion de la Loire en crue dépasseront largement la valeur d'un éventuel premier effet de seuil observé généralement autour de 20 centimètres d'eau dans les logements. En revanche,

89. Source : Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France.

90. Assemblée plénière des Sociétés d'assurances dommages.

91. Ce travail, réalisé pour le compte de l'Association Isère-Drac-Romanche, visait notamment à réactualiser une étude économique des dommages causés par une crue de l'Isère sur Grenoble et Saint-Martin-d'Hères (BCEOM, 1983). Par la suite, on parlera de l'étude Isère pour désigner ce travail.

ce coût moyen est susceptible de varier notamment en fonction du type d'habitat, de la qualité du bâti et du niveau d'équipement des ménages (BLC, 1997).

Les dommages indirects aux logements correspondent notamment aux coûts de nettoyage et de séchage des habitations, aux coûts d'intervention des services de secours (évacuation des personnes) et aux coûts de relogement des ménages sinistrés. Ils sont rarement pris en compte dans les évaluations. Les deux exemples suivants font donc figure d'exception.

Dans l'étude Isère, les dommages indirects ont été estimés en considérant qu'ils représentaient 15 % du montant des dommages directs aux logements. Ce coefficient est tiré d'un document du BCEOM datant de 1980, provenant lui-même d'une étude américaine ancienne.

Pour l'étude Seine, les éléments retenus pour l'estimation des dommages indirects aux logements sont le coût d'intervention des services de secours (estimé à partir d'un retour d'expérience provenant de la préfecture du Val-d'Oise et datant de 1992), le coût d'évacuation ou de relogement des ménages (calculé à partir du coût de location d'un logement temporaire) et le coût de séchage des habitations (évalué à partir de données du Flood Hazard Research Centre).

2.3. Les impacts aux activités agricoles

L'évaluation des impacts des inondations sur les activités agricoles nécessite de prendre en considération deux catégories d'enjeux : les sièges d'exploitation (matériels et bâtiments à usage agricole) et les productions (les surfaces cultivées et les types de cultures, les types d'élevage et la taille des cheptels).

Les dommages directs concernent l'ensemble des éléments qui participent au processus de production d'une exploitation : les terres agricoles et les cultures en place, le cheptel, les bâtiments (à l'exception de l'habitation principale), les stocks de matière première et de produits finis (engrais, produits phytosanitaires, aliments pour bétail, semis, fourrage...), le matériel d'exploitation... Comme pour d'autres types d'activité, **les dommages indirects** portent notamment sur les pertes d'exploitation et les coûts de nettoyage suite à l'inondation.

Les travaux consacrés à l'évaluation des dommages à l'agriculture sont peu nombreux et très fragmentaires. Ils portent essentiellement sur les impacts des inondations aux cultures et ne traduisent pas l'ensemble des dommages potentiels. À l'échelle du territoire national, l'agriculture présente une forte variabilité spatiale, qui est due notamment aux conditions climatiques locales et à la valeur agronomique des terres, mais aussi aux tendances de production (sous l'effet des politiques agricoles régionales). De fait, l'évaluation des dommages à l'agriculture est une opération plus complexe qu'il n'y paraît de prime abord. En simplifiant et compte tenu de l'état actuel des connaissances, deux alternatives se présentent pour estimer les dommages agricoles *a priori* :

- utiliser les fonctions de coûts disponibles dans la littérature ;
- développer une approche spécifique.

2.3.1. L'utilisation des fonctions de coûts disponibles

Parmi l'ensemble des impacts agricoles, ce sont les dommages directs aux cultures qui ont été le plus étudiés jusqu'à présent et qui ont permis d'élaborer des fonctions de dommages élé-

mentaires aux cultures agricoles⁹². Ces fonctions établissent une relation entre le coût à l'hectare et certains paramètres de submersion. Les facteurs physiques qui sont pris en compte sont la **durée** de submersion et la **saison** de survenance des inondations. D'autres variables sont également jugées importantes : la hauteur d'eau, la vitesse de l'eau et la qualité des eaux inondantes, mais aussi la durée de ressuyage des sols. Cependant elles ne sont pas intégrées actuellement dans les fonctions de coûts.

La prise en considération systématique des dommages directs aux cultures dans les évaluations est liée en partie à l'existence de données concernant la vulnérabilité des cultures face à l'inondation. Recueillies à partir d'études de cas ou issues d'expertises, ces données sont cependant très hétérogènes (pour une même culture, les niveaux de vulnérabilité diffèrent selon les sources d'information) et très marquées régionalement (la croissance et la production des cultures étant fortement conditionnées par les conditions climatiques locales). Des ajustements sont donc indispensables, en confrontant les données existantes avec le terrain d'étude grâce une expertise locale ou en partant d'hypothèses⁹³.

Des informations, portant sur les rendements, les charges fonctionnelles et structurelles de production⁹⁴, les prix de vente et les produits d'exploitation de différentes cultures, sont également disponibles auprès des organisations professionnelles (chambres d'agriculture, syndicats de professionnels).

À partir de l'ensemble de ces données, les fonctions de coût aux cultures qui ont été élaborées permettent :

- une estimation des pertes physiques de production (baisse de rendement, pertes de récoltes) en fonction de la période de survenance d'une crue (approche par trimestre) et de la durée de submersion (de 0 à 3 jours, de 3 à 7 jours..., de 11 à 13 jours..., supérieure à 15 jours) ;
- une estimation des pertes financières pour l'agriculteur, en considérant deux scénarios : le cas où une perte de production peut être compensée par une replantation et le cas contraire⁹⁵.

92. Cultures maraîchères, horticulture, légumes en champ, vignes, vergers, blé et orge d'hiver, maïs (grain et fourrage), cultures fourragères, plantes sarclées, tournesol, surfaces toujours en herbe...

93. Par exemple, une étude consacrée à l'évaluation des dommages aux cultures a considéré le cas des légumes en faisant l'hypothèse qu'une inondation détruisait 100 % de la production. Cette hypothèse a été choisie parce que les seules informations disponibles provenaient d'une étude portant sur les dégâts des inondations sur la production de légumes dans la vallée de la Garonne. Cette étude fournissait des pourcentages de dégâts moyens pour 20 types de légumes par rapport à la période de survenance d'une inondation, en fonction du stade végétatif de chaque production défini à partir d'un calendrier d'installation et de récolte (Deleuze *et al.*, 1991).

94. Par exemple, on trouve dans la littérature que, pour les céréales et les oléagineux, les charges fonctionnelles et les charges structurelles représentent respectivement 20 % et 43 % du produit (prix de vente net de taxes).

95. En fonction de la période d'inondation dans l'année, on considère que l'agriculteur peut ressemer une même culture mettre en place une culture de substitution plus tardive, ou avancer le semis de la culture suivante.

2.3.2. La mise au point d'une démarche spécifique

Pour illustrer cet aspect, nous prendrons l'exemple de l'étude Loire pour laquelle une méthodologie plus globale d'évaluation économique des dommages directs à l'activité agricole a été élaborée par le bureau d'étude AscA⁹⁶. Elle a porté d'une part, sur les dommages matériels aux sièges d'exploitation et d'autre part, sur les dommages aux cultures.

Sur le secteur d'étude, la variété des productions et des modes d'exploitation d'une région agricole à l'autre a nécessité de faire une distinction entre les agglomérations d'Orléans et de Tours (où l'on trouve uniquement une agriculture spécialisée), le val d'Authion (où il existe une proportion importante d'agriculture spécialisée) et les autres vals (qui font l'objet essentiellement d'une agriculture traditionnelle).

Dans un premier temps, il s'est agi de recenser et de caractériser les activités agricoles exposées à une inondation majeure de la Loire moyenne. Cette étape s'est appuyée sur un recueil de données statistiques, issues du fichier SIRENE de l'INSEE, du recensement général agricole (RGA) et des fichiers des chambres d'agriculture. La mobilisation des agents des chambres d'agriculture et des experts locaux (conseillers agricoles spécialisés) a permis de valider et compléter les estimations faites à partir de données statistiques.

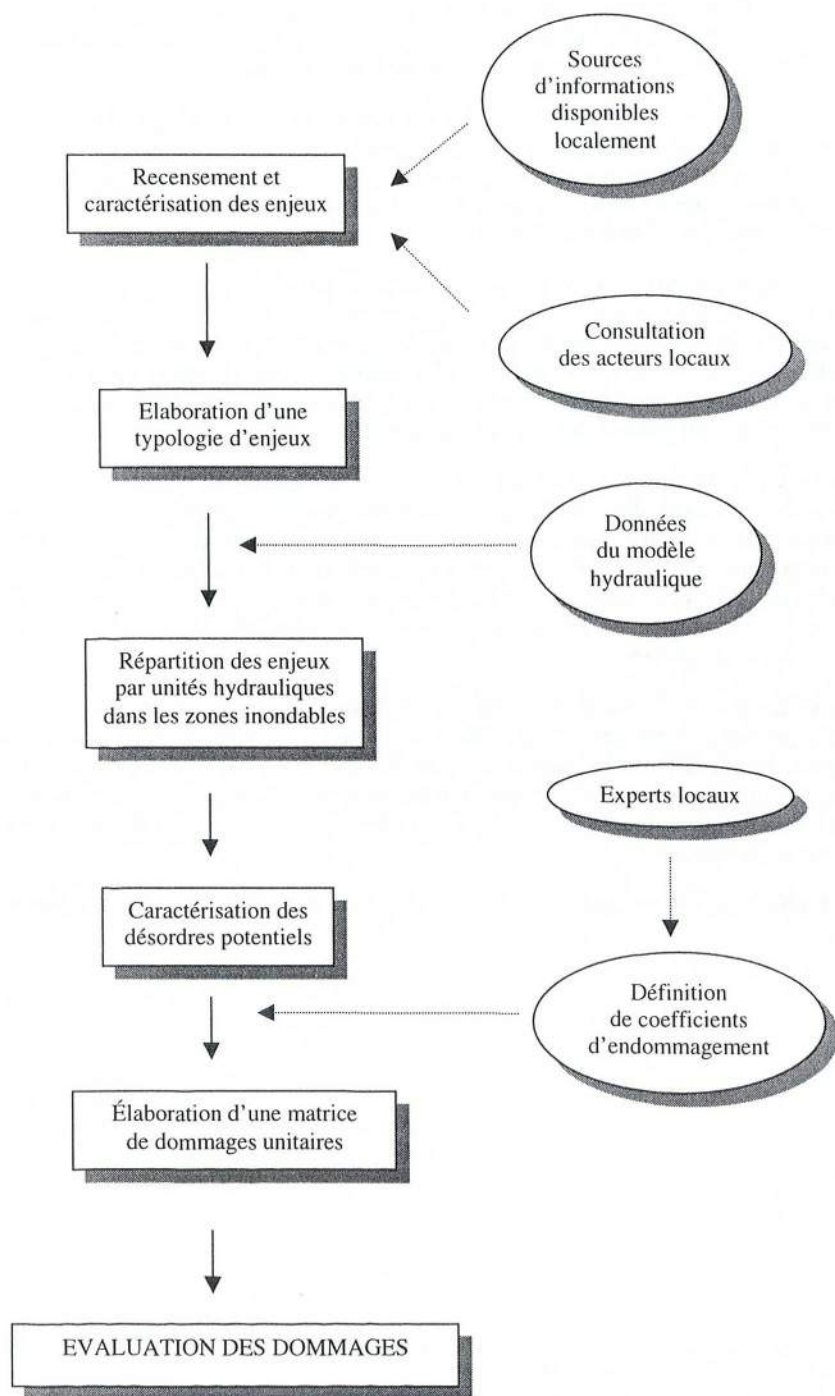
Dans un second temps, deux typologies adaptées au site ont pu être établies, l'une portant sur l'occupation agricole des sols (prairies, cultures, vignes, vergers, légumes...) et l'autre concernant les sièges d'exploitation (grande culture spécialisée, élevage, production laitière, polyculture, maraîchage...). En utilisant les résultats de l'étude hydraulique, réalisée par ailleurs, les enjeux recensés ont pu être répartis par « unités hydrauliques » dans la zone inondable. Ce croisement avec les données physiques de la crue rend alors possible une caractérisation des désordres potentiels.

Des coefficients d'endommagement aux productions culturelles et aux biens matériels des sièges d'exploitation⁹⁷ ont ensuite été définis à partir de données bibliographiques et d'avis d'experts. Enfin, la dernière étape a consisté à formaliser, sous la forme d'une matrice, les dommages unitaires de chaque type d'occupation des sols et de chaque type de siège d'exploitation pour différents événements hydrauliques (crue de printemps et crue d'automne) et différents niveaux d'aléas.

L'approche mise au point dans le cadre de cette étude est schématisée par la figure placée ci-après.

96. Voir à ce sujet la communication de Yann Laurans, du bureau d'étude AscA (Application des sciences de l'action) qui figure dans la deuxième partie de l'ouvrage.

97. En distinguant le matériel de culture, les équipements de traite, le matériel d'irrigation, les stocks (de céréales, de fourrages et d'intrants) et les bâtiments agricoles.



Ce travail récent a mis en avant les limites des approches d'évaluation développées jusqu'ici. Consacrées essentiellement aux dommages monétaires directs, elles traduisent probablement très mal la vulnérabilité des exploitations aux inondations. Approcher la vulnérabilité de l'agriculture face aux inondations nécessite de prendre en compte son fonctionnement en terme de « système », avec ses différents niveaux spatiaux (le système de production, la filière agricole, le territoire) et ses dynamiques temporelles (trajectoires d'exploitations, évolution des filières)⁹⁸.

2.4. Les impacts aux activités industrielles, commerciales et artisanales

Les enjeux liés aux activités (industrielles, commerciales ou artisanales) sont représentés par des valeurs immobilières, des valeurs mobilières, des valeurs de stocks, des valeurs de chiffre d'affaires... mais aussi par des emplois.

Les dommages directs aux activités correspondent à des dégâts matériels aux bâtiments (bureaux, locaux de production, de stockage ou de vente), aux biens immobiliers et mobiliers de l'entreprise (meubles de bureau, matériel informatique, archives...), aux stocks (matières premières et produits bruts, produits en cours d'élaboration, produits d'entretien et produits finis destinés à la vente), à l'outil de production (matériels et équipements destinés à la production, à la gestion des stocks, à la manutention...) et aux véhicules terrestres à moteurs appartenant à l'entreprise (les véhicules du personnel, qui constituent des biens privés, ne sont pas pris en considération à ce niveau).

Les dommages indirects aux activités portent sur les pertes d'exploitation (coût lié à l'interruption temporaire d'activité pendant la durée de submersion, augmenté du délai nécessaire à la remise en état des équipements de production et au redémarrage de l'activité) et les coûts de nettoyage. Le plus souvent, seules les pertes d'exploitation sont prises en compte dans le calcul des dommages indirects.

Comme pour l'habitat, **la hauteur d'eau** sur le lieu d'activité (à l'intérieur des bâtiments et au niveau des terrains appartenant à l'entreprise) constitue le paramètre physique qui est privilégié pour le calcul des dommages. En toute rigueur, la durée de submersion devrait également être prise en considération pour le calcul des dommages indirects.

L'estimation des dommages aux activités constitue un exercice délicat du fait de leur extrême diversité et de la variabilité des situations au sein d'une même branche d'activité. Deux approches peuvent être mises en œuvre :

- une approche globale, utilisant des fonctions de dommages ou d'endommagement générales à l'ensemble des activités ;
- une approche par entreprise, utilisant des fonctions spécifiques aux sites étudiés et aux activités considérées.

Quelle que soit l'approche choisie, trois étapes sont préalablement nécessaires : l'établissement d'une typologie, le recensement et la localisation des activités, la valorisation des enjeux.

98. La définition d'une approche de ce type, plus globale qu'une simple évaluation des dommages, fait actuellement l'objet d'une recherche menée par AscA, dans le cadre du programme « risques d'inondation » engagé par le GIP Hydrosystèmes (1999, 2001).

2.4.1. L'établissement d'une typologie

Parce que les désordres dus aux inondations par type d'activité ne sont ni de même nature, ni de même ampleur, la mise en place d'une typologie est absolument nécessaire. Cette typologie, forcément simplificatrice, doit chercher à traduire les nuances de vulnérabilité (au moins du point de vue des dommages directs) des entreprises face au risque d'inondation.

Elle peut être établie en se basant sur la nomenclature des activités définie par l'INSEE. Cette classification très complète se décompose en trois niveaux (respectivement de 13, 36 et 114 positions). Les 114 positions se déclinent elles-mêmes en 696 « postes » de la nomenclature d'activité française (NAF), permettant une description très précise des activités⁹⁹. Ces postes peuvent être agrégés en 60 « divisions » ou en 17 « sections ».

Les codes NAF sont utilisés dans le fichier SIRENE de l'INSEE (répertoire officiel des entreprises et des établissements) qui constitue la source d'information la plus exhaustive. Néanmoins, la mise à jour de ce fichier est défectueuse (radiations d'entreprises en cessation d'activité, nouvelles installations), ce qui introduit une source d'erreur non négligeable dans l'évaluation des enjeux.

La nomenclature des activités élaborée par l'INSEE est également utilisée par les directions des services fiscaux, ainsi que par les chambres de commerces et d'industries. Ces organismes constituent également des sources d'information potentiellement mobilisables pour une caractérisation des enjeux et une valorisation des biens liés aux activités.

2.4.2. Le recensement des activités situées dans la zone inondable

Deux options sont possibles : un recensement par entités ou par zones homogènes du point de vue de l'occupation des sols (zones artisanales, industrielles, commerciales).

- Le recensement par entités est probablement la seule méthode pour aboutir à des résultats fiables. Elle permet de caractériser précisément chaque entreprise (type d'activité exercée, poids économique, nombre d'employés...), mais aussi de mettre en exergue certaines activités particulières. Elle est malheureusement aussi la plus lourde à mettre en œuvre pour les grandes agglomérations ou les zones inondables intercommunales.

Lorsque l'aire d'étude est réduite, le recensement par entités peut être fait directement par une visite de terrain afin de localiser chaque entreprise sur le territoire communal. C'est l'approche qui a été retenue dans le cas d'une étude menée sur le Dolaizon (Haute-Loire) en vue de réduire les dégâts dus aux crues (BCEOM, 1997).

Si l'aire d'étude est très vaste, le recensement par entités doit faire appel en première approche au fichier SIRENE, pour avoir une vision globale du tissu économique du territoire étudié. La détermination des activités au niveau de chaque commune peut ensuite se faire par consultation des plans de villes. Un travail de terrain est cependant souvent nécessaire pour localiser précisément les entreprises par rapport à la zone inondable (pour différents niveaux d'aléas). Cette démarche a été mise en œuvre pour l'étude Loire.

- Le recensement par zones homogènes nécessite d'utiliser une carte d'occupation des sols précise, élaborée par photo-interprétation. La difficulté de la démarche est de transformer ensuite les surfaces d'activités en nombre d'entreprises et en nombre de salariés, pour le calcul d'une densité.

99. La Nomenclature d'activités françaises (NAF) a remplacé en 1993 la Nomenclature d'activité et de produits (NAP).

C'est l'approche qui a été choisie dans le cas de l'étude Seine. Lors de la première phase (1992-1994), le nombre d'entreprises et de salariés concernés par les inondations a été estimé en extrapolant les résultats issus de calculs effectués sur des zones témoins représentatives des diverses situations des zones d'activité de la région parisienne. Pour la seconde phase de cette même étude (1996-1998), la démarche a été significativement améliorée. Une nouvelle information a été mobilisée : l'ILOT MOS 90 (élaboré par l'IAURIF) qui précise, par îlot INSEE, le nombre d'employés par catégorie NAF sur la zone Paris et Petite Couronne. La démarche pour évaluer le nombre d'employés par catégories MOS nécessite d'importantes investigations. Elle suppose des approximations et entraîne probablement des incertitudes dans les évaluations de dommages.

2.4.3. La valorisation des enjeux

La valorisation des enjeux constitue une étape nécessaire lorsque l'évaluation des dommages passe par l'utilisation de fonctions d'endommagement.

Cette étape a été mise en œuvre par exemple lors de l'étude Loire et de l'étude Seine. Dans ces deux cas, les chiffres d'affaires des activités ont été extraits des statistiques nationales provenant de l'INSEE. Ces informations ont été utilisées pour calculer la valeur moyenne des biens (bâtiments, outils de production, stocks) des différents types d'activité recensés, ainsi que les chiffres d'affaires moyens (par tranche d'effectifs). Les coefficients d'endommagement utilisés ensuite ont été appliqués à ces valeurs. On notera que ces valeurs peuvent être rapportées soit par entité soit par salarié.

En fonction des sources d'informations disponibles localement et de leur facilité d'accès, il est parfois possible de réaliser une valorisation des enjeux spécifique au site d'étude. Certaines chambres de commerce et d'industrie possèdent en effet des bases de données à jour et calculent des ratios de chiffre d'affaire, de valeur ajoutée, d'investissement, de stock par catégories d'activités. Ces ratios sont généralement exprimés en francs par emploi.

C'est ainsi que dans le cas de l'étude Isère, des valeurs d'enjeux ont été obtenues au travers des statistiques de la Fédération des Centres de Gestion Agréés¹⁰⁰ (pour les commerces et services) et par le biais des données régionales de l'INSEE (pour l'industrie). Ces valeurs ont été utilisées ensuite pour le calcul des dommages indirects.

2.4.4. L'estimation des dommages selon une approche globale

Pour s'affranchir des difficultés inhérentes à l'évaluation des impacts aux activités, on a considéré pendant longtemps simplement trois catégories d'occupation des sols : les zones industrielles, les zones artisanales et commerciales, et les zones où les activités sont disséminées dans le tissu urbain. Pour le calcul des dommages directs et indirects, on utilisait alors une fonction de dommage ou une fonction d'endommagement¹⁰¹ pour chacune de ces trois zones. Ces fonctions très simples, disponibles dans la littérature, peuvent être reprises et réactualisées pour un calcul du coût des dommages à l'hectare en fonction de la hauteur d'eau¹⁰².

100. Les centres de gestion agréés éditent chaque année des analyses sectorielles détaillées pour les secteurs d'activités où sont présents plus de 25 adhérents. Ces analyses sont établies par département.

101. Ici, la fonction d'endommagement permet d'exprimer un coût en valeur relative par rapport à deux indicateurs d'enjeux : la valeur totale des biens exposés (mobilier et immobilier) et le chiffre d'affaire annuel.

102. Dans sa thèse, Jean-Philippe Torterotot a utilisé cette approche pour le calcul des dommages aux activités (Torterotot, 1993).

Dans le cadre des études récentes, telles que celles qui ont été réalisées sur le bassin de la Seine amont et sur celui de la Loire moyenne, cette première génération de fonctions de coût, établie durant la décennie 1980, n'a pas été utilisée. Tout en considérant un nombre restreint de types d'activités, de nouvelles fonctions des dommages ou d'endommagement ont été élaborées et de nouvelles approches ont été expérimentées¹⁰³.

• Concernant les dommages directs aux activités

Lors de la première phase de l'étude Seine, une **courbe unique d'endommagement** avait été utilisée pour l'ensemble des activités. Elle avait été élaborée à partir de données d'enquêtes réalisées auprès de 60 entreprises installées dans la zone inondable. Les coefficients d'endommagement correspondaient à un pourcentage des enjeux exposés (valeur des biens immobiliers et mobiliers, valeur des stocks).

Pour la seconde phase d'étude, une démarche dite « assurantielle » a été mise en œuvre. Elle a consisté à mobiliser les compétences des experts intervenant pour le compte des compagnies d'assurance à la suite de d'inondations, afin de définir des coefficients d'endommagement appliqués aux valeurs moyennes des biens des différents types d'activité retenus. Elle a permis d'élaborer **14 types de fonctions d'endommagement**, en regard de la typologie des activités définie par l'INSEE (utilisation de la NAF) et de la méthode de recensement des activités (caractérisation par zones homogènes et non par entité).

On notera que les fonctions d'endommagement établies par l'approche assurantielle fournissent des données moyennées, intégrant de très larges disparités entre établissements d'une même catégorie NAF. Les estimations de dommages déduites de ces grilles d'endommagement n'ont de sens que sur une zone géographique étendue. Dans le cas de l'étude Seine, les résultats ne sont pas publiés à des échelles inférieures aux départements.

Une démarche similaire a été mise en œuvre lors de l'étude Loire, pour laquelle l'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature a fait également réaliser une analyse des dommages directs aux petites entreprises de Charleville-Mézières (département des Ardennes), sinistrées au cours de l'hiver 1994-1995. Ce retour d'expérience, couplé au dire d'experts, a permis de mettre en place **53 fonctions d'endommagement**, correspondant aux 53 groupes d'activités distingués dans le cadre de cette étude. Les montants de dommages ont été calculés par grands secteurs comprenant plusieurs vals inondables (BLC, 1997).

Une des particularités du mode de calcul de dommage retenu pour cette étude est d'avoir introduit, à côté des paramètres classiques de hauteur d'eau et de durée de submersion, le **facteur « temps d'intervention après sinistre »** nécessaire à la remise en état des sites¹⁰⁴. En outre, pour chacun de ces paramètres, des **effets de seuil** ont été intégrés (il ne s'agit donc pas de fonctions continues mais en escalier)¹⁰⁵.

103. Voir également à ce sujet l'intervention de Bruno Ledoux, consacrée à l'évaluation des dommages aux activités non agricoles et présentée en seconde partie de l'ouvrage.

104. Pour déterminer le rôle du facteur « temps d'intervention après sinistre » dans l'importance des dommages, une analyse a été menée en relation avec les entreprises spécialisées en matière de nettoyage, d'assèchement et de décontamination des sites après sinistres. Ces acteurs interviennent auprès des entreprises à la demande des sociétés d'assurance.

105. Pour certaines entreprises particulièrement vulnérables, un effet de seuil semble apparaître en fonction du délai d'intervention après sinistre : si la société de nettoyage n'intervient pas dans les 24 heures à 48 heures après sinistre, l'ampleur des dommages change du tout au tout.

• Concernant les dommages indirects aux activités

Pour la première phase de l'étude Seine, un ratio dommage direct/dommage indirect a été établi à partir des résultats d'enquêtes réalisées auprès des 60 entreprises. Ces résultats ont été comparés et ajustés avec des données anglaises provenant du Flood Hazard Research Centre (FHRC), associé à l'étude.

Au cours de la seconde phase d'étude, une formule spécifique à chaque branche d'activités retenue a été définie pour le calcul des pertes d'exploitation. Cette formule fait intervenir trois critères : le chiffre d'affaire mensuel, la durée d'interruption de l'activité et un coefficient correcteur qui est fonction du taux de marge brute. Cette approche a également été retenue pour l'étude Loire.

2.4.5. L'estimation des dommages par entreprise

Pour compléter ou remplacer l'approche précédente, des évaluations de dommages peuvent être réalisées pour certaines activités qui sont particulièrement vulnérables aux inondations ou qui représentent un enjeu particulier dans le secteur étudié (parce qu'elles sont une source d'emploi important, participent à l'image de marque de la commune ou présentent un poids économique notable). Dans ce cas, les fonctions de dommages ou d'endommagement, élaborées à partir d'enquêtes directes auprès des entreprises concernées, sont spécifiques aux activités considérées.

Dans le cadre de l'étude Isère, une douzaine d'entreprises majeures a été étudiée. Cette évaluation a montré que les dommages directs aux entreprises sélectionnées représentaient près de la moitié du montant total des dommages directs de l'ensemble des activités concernées par les inondations.

Pour l'étude Seine, environ 140 entreprises stratégiques (en terme d'enjeu économique), situées en zone inondable, ont été sélectionnées. Le choix de ces activités a été fait en croisant trois critères : le chiffre d'affaires, le nombre d'employés et les risques industriels encourus en cas de survenance d'un événement. Mais seulement 40 établissements ont fait l'objet d'une enquête. L'élaboration d'une courbe d'endommagement par entreprise a permis de valoriser avec la meilleure précision possible une part significative des dommages totaux dans la zone d'étude. Il est apparu ainsi que pour une crue de type 1910¹⁰⁶, le coefficient d'endommagement avoisine 20 % (rapporté au total des enjeux). Pour les quarante entreprises en question, cela représente un dommage direct total de 4,5 milliards de Francs (avec une moyenne de 150 millions de Francs par entreprise). Les cinq entreprises les plus touchées concentrent à elles seules un montant de dommage cumulé supérieur à 1 800 millions de Francs.

L'étude Dolaizon (BCEOM, 1997) a également mis en œuvre une approche par entreprise. Une enquête, menée auprès des responsables d'établissements « spécifiques » (entreprises et quelques bâtiments administratifs), a été réalisée sur un échantillon de 68 activités¹⁰⁷. Seulement 50 % des établissements interrogés ont répondu à l'enquête. Les montants des dommages ainsi obtenus ont été extrapolés aux entreprises n'ayant pas participé à l'enquête. Les résultats de l'évaluation ont été ensuite comparés aux résultats obtenus en utilisant les coeffi-

106. L'inondation de 1910 à Paris constitue la crue historique de référence dont la période de retour a été estimée à cent ans. Elle est le principal facteur déclencheur de la politique de protection contre les inondations de la région parisienne, engagée à partir de cette époque.

107. Il est important de noter que la plupart des activités enquêtées n'ont jamais été inondées dans un passé récent.

cients d'endommagement proposés dans le guide méthodologique pour l'élaboration des Plans d'exposition au risque (ministère de l'Environnement, 1990). Le montant total des dommages, calculé à partir de l'approche par entreprise, est trois fois supérieur à celui issu de la méthode « PER ».

2.5. Les impacts aux équipements

La démarche d'évaluation des impacts des inondations sur les équipements suit la même logique que pour les activités. Cependant, en l'état actuel des connaissances et face à la faiblesse du retour d'expérience sur ce thème, force est de constater que ces dommages sont loin d'être connus avec précision. La plupart du temps on se contente donc d'opérer un simple recensement, en nature, en nombre, en surface et en capacité d'accueil. Seules quelques études de cas vont plus loin et tentent de mesurer le coût des dommages pour certains équipements sensibles (équipements pour lesquels les désordres potentiels ont été mis en évidence).

2.5.1. Recensement, localisation et valorisation des enjeux

Le terme d'équipement est utilisé pour désigner l'ensemble des installations fournissant un service à la collectivité¹⁰⁸. Un recensement fait généralement apparaître les catégories suivantes :

- les équipements hospitaliers ou assimilés (hôpitaux, cliniques, maisons de repos ou de retraite...) ;
- les équipements scolaires (crèches, écoles maternelles et primaires, collèges et lycées, établissements de formation...) ;
- les équipements sportifs (stades, gymnases, piscines...) et de loisirs (espaces verts et jardins publics, bases de loisirs...) ;
- les équipements socioculturels (théâtres, cinémas, salles de spectacles, centres sociaux, musées...) ;
- les équipements culturels (églises, temples, mosquées, cimetières...) ;
- les services publics (administrations, postes, centres de secours...).

À partir d'une telle typologie¹⁰⁹, le recensement et la localisation des équipements sont relativement aisés. Ils peuvent être réalisés grâce à la consultation de plans de villes puis être complétés par des enquêtes terrain (c'est la démarche qui a été adoptée lors de l'étude Loire).

Dans le cas des équipements, les enjeux sont représentés par des valeurs de biens (mobiliers et immobiliers) mais aussi par des niveaux de services rendus aux usagers. Leur valorisation est loin d'être évidente. Il n'existe pas en effet de données nationales utilisables directement pour déterminer des ratios de valeurs mobilières et immobilières par type d'équipement (exprimés par exemple en Francs par m²). Mais le plus délicat concerne la définition d'une valeur de service rendu aux usagers des équipements.

Si certains types d'équipements apportent un service marchand, c'est le cas par exemple des établissements hospitaliers et de tous les équipements pour lesquels l'accès est payant (cinémas, piscines, musées...), d'autres en revanche offrent un service non directement payant (établissements scolaires publics, stades municipaux, bases de loisirs...). L'estimation de la

108. Les réseaux ne sont pas inclus dans cette définition.

109. Notons que pour l'étude Seine, la typologie des équipements a été définie en relation avec les différents postes du MOS de l'IAURIF.

valeur d'utilité pour la société et donc de la valeur du préjudice subi lorsque l'équipement n'est plus accessible nécessite de rechercher des indicateurs monétaires ou de faire appel à des méthodes issues de l'économie (comme l'évaluation contingente par exemple).

La valorisation des enjeux liés aux équipements suppose un recueil de données très important et nécessite de procéder à des enquêtes de terrain auprès des gestionnaires et/ou propriétaires d'équipements. Pour l'étude Seine par exemple, les valeurs immobilières et mobilières des équipements sélectionnés ont été déterminées par enquêtes auprès des différents services concernés.

2.5.2. L'estimation des dommages

Comme pour les activités, **les dommages directs** aux équipements correspondent à des dégâts matériels (aux biens mobiliers et immobiliers notamment) et **les dommages indirects** portent, selon les cas, sur des pertes d'exploitation et/ou d'usage ainsi que sur des coûts de nettoyage.

Dans le cadre de l'étude Loire, pour évaluer les dommages directs et indirects, une enquête sur les dommages subis par des équipements dans différentes régions françaises lors des inondations de l'hiver 1994-1995 a été réalisée. L'impossibilité de calculer des coûts moyens par une approche statistique classique, en raison de l'absence de corrélation forte entre le montant des dommages et des paramètres connus *a priori* (comme la hauteur de submersion), a nécessité le recours à des approches probabilistes. Les résultats ont alors été présentés sous la forme d'un coût moyen (coût le plus probable) auquel a été associé un intervalle de confiance (coût minimum, coût maximum).

Dans le cadre de l'étude Seine, les dommages directs et indirects aux postes MOS « équipements » (autres que réseaux) ont été rapportés à la surface inondée. Un coût de dommages par m² d'équipement a été attribué à chaque classe MOS. En l'absence de données, les coefficients d'endommagement utilisés étaient issus d'une courbe « habitat ». À travers ce calcul, il est apparu que les postes les plus générateurs de dommages étaient en particulier les établissements de santé, les musées et les écoles.

Lors de l'étude Isère, une estimation des dégâts aux équipements a été réalisée pour un certain nombre d'entre eux, notamment ceux gérés par les communes, avec l'aide des services techniques communaux. Pour les autres équipements, des ratios unitaires, provenant du retour d'expérience d'inondations survenues récemment dans le secteur, ont été utilisés.

2.6. Les impacts aux réseaux

Les impacts des inondations sur les réseaux ont été très peu étudiés jusqu'à présent. Le retour d'expérience dans ce domaine est donc faible. Dans la littérature, il n'existe aucune fonction de coût susceptible d'être utilisée pour estimer les dommages directs et indirects. L'évaluation monétaire des impacts *a priori* requiert de travailler en collaboration étroite avec les gestionnaires de réseaux. Il s'agit de faire appel à leur expertise non seulement pour analyser les conséquences financières d'une inondation potentielle sur les réseaux pris séparément les uns des autres, mais aussi pour examiner les effets en chaîne qui se produiraient en cas de survenance d'un événement donné. Cela suppose de raisonner en terme de scénario de crue et de scénario de désordres, dont les conséquences seront évaluées ensuite en terme de coût.

Pour une évaluation *a priori* des conséquences des inondations sur les réseaux, trois étapes se succèdent : la caractérisation des enjeux, l'analyse des désordres et l'estimation des domma-

ges. Pour illustrer cette démarche, les études de cas de la Seine et de la Loire sont à nouveau citées.

2.6.1. La caractérisation des enjeux

Comme pour les équipements, les enjeux liés aux divers réseaux techniques urbains sont représentés par des valeurs de biens (valeur du patrimoine) et des niveaux de services rendus aux usagers.

L'établissement d'une typologie conduit généralement à faire la distinction entre les réseaux de transport individuel et collectif (voies routières, voies ferrées) et les autres réseaux (alimentation en eau potable, assainissement, énergie, déchets, chauffage urbain, télécommunication...). Les ouvrages qui sont directement liés aux réseaux (stations d'épuration, stations de relèvement pour l'assainissement, transformateurs pour l'électricité, stations de traitement d'eau potable, cheminées d'équilibre pour le gaz...) sont parfois pris en considération au niveau des réseaux, ou bien intégrés aux équipements.

Le recensement des éléments de réseaux présents dans les zones inondables ne pose pas de problème particulier (linéaires de voiries, de collecteurs, de canalisations et de câbles enterrés, capacité de desserte des ouvrages...). Leur caractérisation suppose cependant que le chargé d'étude entre en contact avec un grand nombre d'interlocuteurs, du fait de la multiplicité des réseaux et de la diversité des modes de gestion (régie directe, concession, affermage...). Ne serait-ce que pour les voiries, il est nécessaire de contacter les services techniques des collectivités territoriales (pour les infrastructures communales et départementales), les Directions départementales de l'équipement (pour les routes nationales) et les concessionnaires pour les autoroutes.

Ce travail de recensement est plus aisé dans les grandes agglomérations qui généralement ont une bonne connaissance des réseaux et possèdent des plans détaillés, voire des bases de données urbaines et des outils de cartographie. L'estimation de la valeur du patrimoine exposé au risque d'inondation peut se baser sur des ratios que l'on trouve dans la littérature technique (coût du mètre linéaire de tel ou tel type de voirie, coût d'une station d'épuration ayant telle caractéristique technique et telle capacité) qu'il s'agit ensuite de valider auprès des gestionnaires.

Dans le cas de l'étude Loire, on s'est attaché à l'évaluation des enjeux liés aux infrastructures routières, en définissant une typologie des voiries non pas en fonction de leur statut (voies communales, départementales, nationales et autoroutes) mais en fonction des atteintes possibles en cas d'inondation : importance du montant des dommages, nature des dégâts et montant moyen des dommages. Trois types de routes ont alors été distingués : les routes sur levées, les autoroutes et les autres voies de circulation. Le recensement a été réalisé en utilisant le fichier numérisé de la BD Carto de l'IGN (Institut géographique national).

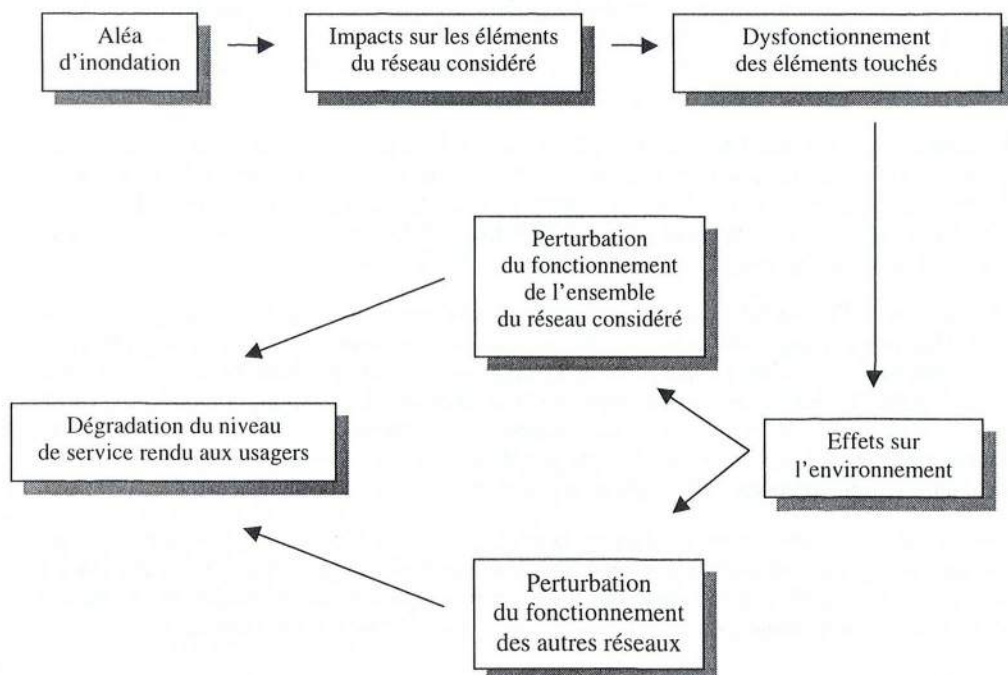
Concernant les autres réseaux, seuls les systèmes d'alimentation en eau potable et d'assainissement ont été étudiés. Les enjeux recensés sont les stations d'épuration et les ouvrages de captage d'eau, à partir des bases de données communales de l'Agence de l'Eau.

2.6.2. L'analyse des désordres

Les réseaux constituent des éléments structurant les territoires. Pour analyser les désordres qui s'y rattachent, il ne suffit pas d'apprécier leur vulnérabilité physique face aux inondations. Il

est nécessaire de caractériser les liens de dépendance qui existent entre les divers éléments d'un même réseau, mais aussi d'identifier les interactions entre différents types de réseaux.

Comme le montre la figure ci-après, la survenance d'un aléa provoque des effets en chaîne. Il s'avère nécessaire d'étudier les enjeux liés aux réseaux en se référant à des scénarios de perturbation, engendrés par une crue donnée, définis en relation avec les gestionnaires.



Pour l'étude Seine, on s'est intéressé aux désordres des inondations sur le réseau routier, en utilisant le modèle global de gestion du trafic disponible à l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France (IAURIF)¹¹⁰. Ce modèle, qui a été calé et validé sur l'ensemble de la Région Ile-de-France, permet d'analyser le fonctionnement du réseau de voiries principales (autoroutes urbaines, voies sur berges, routes nationales, boulevard périphérique) en période normale et en cas de perturbation (fermeture de voies, coupure de tronçons). Les effets d'une perturbation sont traduits en terme de modification de débit et de vitesse de trafic, de rallongement de temps de parcours et d'augmentation du temps passé sur le réseau considéré.

En ce qui concerne les autres réseaux, les systèmes de distribution d'énergie (EDF, GDF), de télécommunication, de production et de distribution d'eau potable ont été étudiés. L'analyse des désordres a été réalisée grâce à la mise en place de groupes de travail thématiques, ras-

110. Le développement de ce modèle de gestion de trafic a impliqué de nombreux organismes dont la Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France et l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS).

semblant autour du chargé d'étude les gestionnaires de ces réseaux. Cette approche a permis de recenser pour chaque type de réseau les cotes déterminant des seuils de perturbation¹¹¹.

2.6.3. L'évaluation des dommages

Les dommages directs aux réseaux correspondent à des dégradations physiques aux réseaux, leur évaluation peut être réalisée par le biais d'une estimation des coûts de réparation, de remise en état de fonctionnement ou de renouvellement. **Les dommages indirects** quant à eux concernent des pertes d'exploitation, des frais de nettoyage et des effets (immédiats ou différés) dus à un arrêt de fonctionnement ou à un fonctionnement en mode dégradé des réseaux. L'interdépendance des installations, au sein d'un même réseau et aussi entre réseaux, rend nécessaire l'évaluation des dommages à partir des scénarios de crue.

L'étude Loire s'est attachée à évaluer plus particulièrement les dommages directs au réseau routier. Des coûts moyens pour les infrastructures routières (hors voirie sur levée ou autoroute) ont été obtenus par « retour d'expérience » auprès de trois départements. Ils correspondent à des dégâts sur la chaussée et ses dépendances. Ils intègrent également les dépenses occasionnées pour le nettoyage et par l'utilisation de matériels divers.

Dans le cas de l'étude Seine, ce sont les dommages indirects au réseau routier qui ont été étudiés. Une méthodologie, basée sur la notion de scénario de crue, a été adoptée. Par rapport à une inondation maximale touchant la totalité de la région Ile-de-France et un état d'aménagement donné, les conséquences de la submersion d'un certain nombre d'axes routiers ont été examinées. Cette situation, qui entraîne une dégradation des conditions de circulation, peut se mesurer en terme d'augmentation du nombre d'heures de déplacement. Elle peut ensuite être valorisée, si l'on affecte un coût au temps passé en déplacement¹¹².

Concernant les autres types de réseaux, la démarche d'évaluation mise en œuvre avec les groupes de travail rassemblant différents gestionnaires de réseaux n'a pas permis d'aboutir à ce jour à des résultats chiffrés. En revanche, elle a provoqué une sensibilisation de ces mêmes acteurs au risque d'inondation et a permis de « mesurer » l'ampleur du phénomène¹¹³.

2.7. Remarques

La présentation des modalités d'analyse et d'évaluation de différents types d'impacts conduit à formuler quelques remarques générales en guise de conclusion.

Au vu des exemples choisis pour illustrer les démarches mises en œuvre sur le terrain, il apparaît que le territoire d'application d'une évaluation *a priori* est généralement circonscrit à ce qui se passe dans la zone inondable. L'aire d'étude est définie par rapport à l'espace occupé par la plus forte crue historique connue ou par rapport aux zones d'expansion des crues que l'on souhaite simuler. Généralement, on ne prend pas en considération les effets des inondations sur les espaces environnants non directement touchés par les inondations. Une exception

111. Voir la communication de Pierre Desgranges, consacrée à l'analyse des désordres et des dommages aux réseaux, présentée dans la deuxième partie.

112. Le rallongement en distance et en durée, du fait de l'inondation, peut être valorisé par un prix de revient au kilomètre de l'usage d'un véhicule à moteur et par une valeur de temps. Pour le cas le plus simple des trajets professionnels, la valeur du temps supplémentaire passé dans son véhicule peut être rapportée au coût salarial horaire.

113. En conclusion de l'étude Seine, il est noté que « pour une crue atteignant le niveau de 1910, l'ensemble des réseaux serait touché et conduirait à la paralysie de la vie économique pour une durée indéterminée ».

est parfois faite pour l'analyse des impacts sur les réseaux qui structurent le territoire et dont les effets se font sentir à différentes échelles spatiales.

Par ailleurs, il faut noter que l'évaluation *a priori* est réalisée en référence à un scénario de désordres physiques défini par rapport à une crue donnée. Bien souvent, on ne prend pas en compte dans les simulations les effets de facteurs humains susceptibles de réduire les impacts (effets liés à l'amélioration de l'organisation des secours ou de l'annonce de crue, effets liés aux réactions des individus face à la crise...). L'importance de ces facteurs a été soulignée notamment dans l'étude Loire où, pour l'estimation des dommages aux activités, la possibilité d'intervention rapide d'une société spécialisée dans le nettoyage après sinistre a été examinée.

La plupart du temps, l'évaluation est menée comme une expérience de laboratoire (même si des enquêtes de terrain sont réalisées pendant l'étude). En d'autres termes, on ne profite pas d'une telle étude pour informer, sensibiliser et communiquer sur le risque. L'exemple de l'étude Seine, pour laquelle des groupes de travail réunissant des gestionnaires de réseaux pour estimer les dommages, fait figure d'exception. Si la démarche n'a pas permis d'évaluer les dommages, elle a cependant provoqué une prise de conscience des acteurs, qui ont constitué des groupes de travail internes afin d'améliorer leurs procédures de gestion de crise. Ce type de résultat est important à noter.

Enfin, en regard des différentes étapes se succédant pour finalement arriver à l'estimation des dommages, le soin apporté à la définition d'une typologie des biens que l'on souhaite analyser, puis au recensement et à la localisation précise des enjeux dans l'espace considéré, est déterminant. Il conditionne la qualité de l'évaluation des dommages. Par ailleurs, l'existence préalable de fonctions de dommage ou d'endommagement constitue un atout important car elle permet de calculer relativement aisément un montant de dommages. Cependant les fonctions disponibles sont en nombre restreint et tous les types de dommages ne peuvent être évalués par ce biais. Il est alors nécessaire de faire appel à une expertise sur les coûts (réalisée à partir d'un scénario de désordres soumis aux experts¹¹⁴), d'élaborer de nouvelles fonctions ou d'utiliser les résultats d'études passées que l'on transpose au cas étudié.

Le choix d'utiliser les fonctions disponibles ou de construire de nouvelles fonctions dépend :

- des moyens financiers et des délais accordés à l'étude ;
- des caractéristiques des sites étudiés¹¹⁵ ;
- de l'exigence de précision souhaitée¹¹⁶.

3. L'AUTOMATISATION DU CALCUL DES DOMMAGES

Pour un événement hydrologique donné, qui détermine les conditions de submersion au niveau des secteurs inondables, l'évaluation des dommages résulte du croisement de données liées à l'occupation des sols, à la nature des biens exposés et aux types d'impacts considérés. Le nombre important d'information à prendre en compte pour estimer un montant de dom-

114. Sous ce vocable, on regroupe les experts des sociétés d'assurance, mais aussi les techniciens des collectivités locales, des services extérieurs de l'État ou des chambres consulaires, les gestionnaires de réseaux...

115. Les types de biens et d'activités exposés dans la zone inondable ainsi que les conditions de submersion du site étudié doivent correspondre à ceux qui sont pris en compte dans les fonctions disponibles.

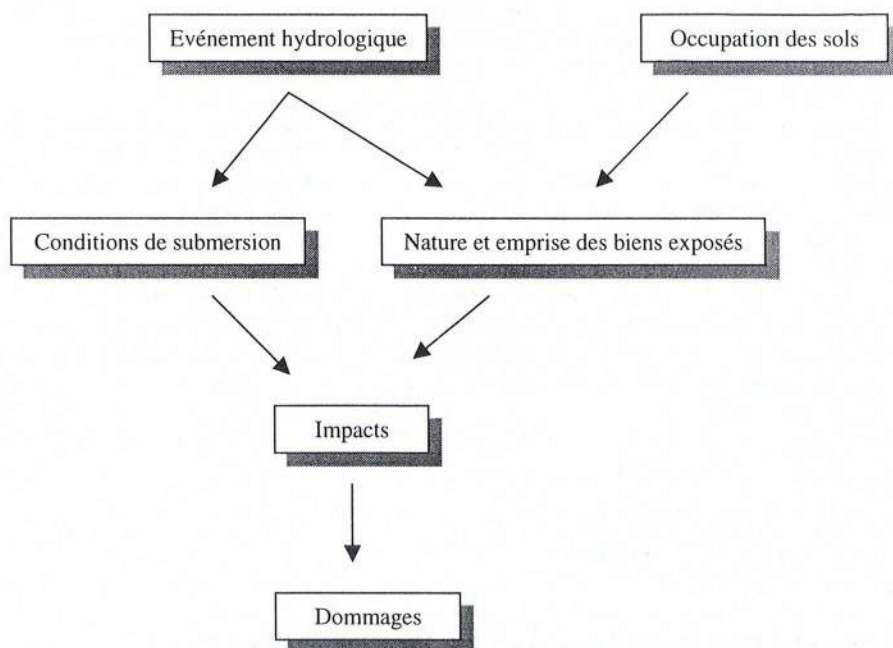
116. Les fonctions existantes permettent d'apprécier surtout des ordres de grandeur et donc de comparer les résultats de divers scénarios de crues ou d'aménagement. Si le territoire étudié est très réduit (échelle communale ou intercommunale), il vaut mieux privilégier une adaptation *ad hoc* des méthodes.

mage rend nécessaire l'utilisation d'outils de calcul automatisés afin de simuler les effets de différents scénarios de crues et/ou d'aménagement à des échelles spatiales variées.

Après une présentation d'exemples d'outils de calcul mis au point dans le cadre d'évaluations *a priori*, quelques résultats chiffrés issus d'études récentes sont exposés.

3.1. Les outils de calcul

Tous les outils de calcul automatisés des dommages sont construits sur un même modèle de représentation du processus de formation des dommages liés aux inondations. Ce processus est schématisé par la figure suivante.



Pour automatiser le calcul des dommages, certains outils utilisent simplement des systèmes de gestion de bases de données, tandis que d'autres font appel à des systèmes d'information géographique (ce qui permet des rendus cartographiques). Les trois exemples qui suivent présentent ces deux cas de figure.

Dans le cas de l'étude Loire, l'outil de calcul des dommages a été construit à partir d'un logiciel gestionnaire de base de données¹¹⁷. Il poursuit deux objectifs :

agréger les données « enjeux » et « dommages » sur des secteurs géographiques, définis *a priori* (les vals par exemple) ou à déterminer ;

117. Voir à ce sujet l'intervention de Claire Devaux-Ros.

– croiser automatiquement les bases de données « enjeux » et « dommages » avec les résultats issus des simulations hydrauliques, ce qui permet d'indiquer les enjeux concernés et le montant des dommages pour chaque type de crue.

Dans le cas de l'étude Seine¹¹⁸, l'outil de calcul met en œuvre un système d'information géographique qui est intégré au logiciel SCARAUZI, développé par le bureau d'étude SIEE. Il permet de manipuler les différentes bases de données produites (modèle numérique de terrain, résultats de simulations hydrauliques, données relatives à des crues historiques, mode d'occupation des sols, base de données sur les désordres, courbes d'endommagement...).

Pour l'évaluation des dommages des crues de l'Orne dans l'agglomération caennaise, le logiciel CALYPSEAU, mis au point par le BCEOM, a été utilisé¹¹⁹. Il constitue un outil de cartographie automatique des zones inondables développé à partir du système d'information géographique ARCINFO. Il peut être directement couplé à un modèle de simulation hydraulique. Il gère différentes couches numériques d'information : la topographie issue d'un MNT (modèle numérique de terrain), le maillage hydraulique avec des cotes d'inondation, les hauteurs de submersion (issues du croisement des deux premières couches), des zones homogènes d'occupation des sols et des fonctions d'endommagement. Le croisement des trois dernières couches d'information fournit les coûts directs des dommages pour la crue considérée.

Pour compléter cette présentation rapide des outils de calcul, un dernier exemple qui n'a pas été exposé lors du séminaire est proposé ici. Il s'agit du modèle CIFLUPÉDE¹²⁰ développé par le CERREVE (Tortierot, 1993). Contrairement aux exemples précédents, ce modèle est basé sur une modélisation simplifiée des phénomènes hydrologiques et hydrauliques. Mais son principal intérêt réside dans le fait qu'il estime les incertitudes liées au calcul du montant des dommages (grâce à des simulations répétées de type Monte-Carlo). Appliqué au bassin de la Loire, ce modèle permet de calculer les dommages directs à l'habitat et aux activités (agricoles, industrielles, artisanales et commerciales) et les dommages indirects aux activités (pertes d'exploitation) pour des crues de périodes de retour différentes. Dans ce modèle, l'estimation du coût des dommages est décomposée en quatre étapes successives :

– l'étape hydrologique permet de définir le débit de pointe de crue (Q_i) et la hauteur d'eau maximale atteinte (H_i) au niveau d'un bief de rivière (auquel est rattachée une station hydrométrique) ; cela pour chaque crue de référence étudiée. Elle permet également d'estimer la période de retour (T_i) des crues correspondant à des seuils d'apparition des dommages sur chacun des secteurs étudiés¹²¹ ;

– l'étape hydraulique permet de calculer la surface inondée (S_i), ainsi que la distribution des hauteurs d'eau (h_{ij}) et des durées de submersion (d_{ij}) sur chacun des secteurs. Cette surface est obtenue par interpolation ou extrapolation de la courbe « hauteur » ou « débit de pointe » mesuré à la station hydrométrique (*versus* surface inondée). Cette courbe est établie à partir de relevés de crues historiques ou de résultats de simulations hydrauliques ;

– les informations obtenues à l'étape précédente sont ensuite croisées avec les données d'occupation des sols de chaque secteur. Pour chaque crue de référence et chaque secteur, on obtient ainsi les caractéristiques de l'inondation (S_i , h_{ij} , d_{ij}) et le pourcentage de la surface inondée que représente chaque type d'occupation des sols (U_{ij}) ;

118. Voir en particulier l'intervention de Laurent Gazull.

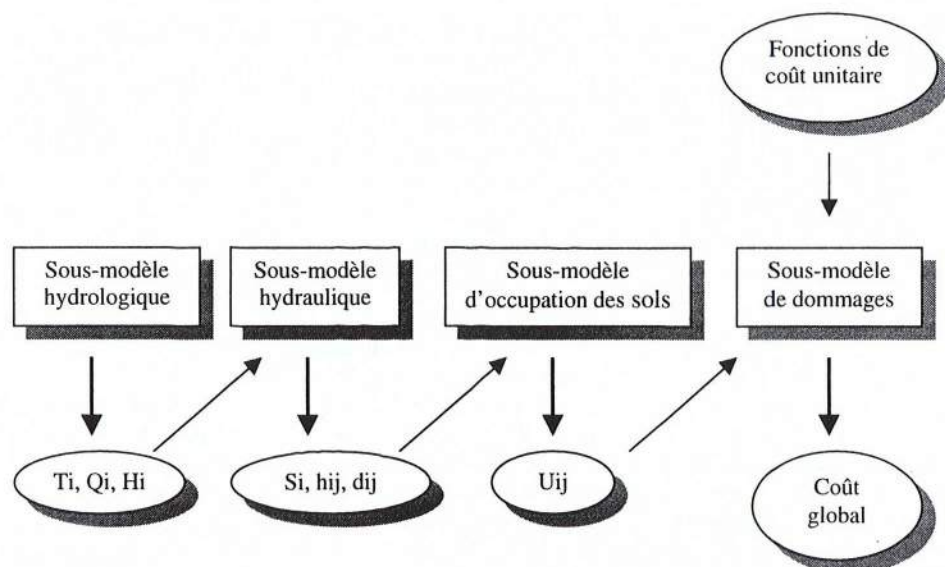
119. Voir l'intervention d'Henri Dumay.

120. CIFLUPÉDE : Coût des dommages des inondations fluviales, procédure d'estimation par une démarche intégrant les sources d'erreurs.

121. Le secteur est l'unité géographique de base sur laquelle est effectué le calcul des dommages. Il s'agit d'une zone de la plaine inondable homogène du point de vue de l'occupation des sols et soumise à un processus d'inondation unique (débordement, remous aval, rupture de digue).

– l'utilisation de fonctions de coût unitaire, dépendant des caractéristiques d'inondation et du type d'occupation des sols, permet d'établir pour chaque crue de référence le coût global des dommages par secteur et par bief de rivière. Les fonctions de coût utilisées proviennent pour partie de la littérature et pour partie d'enquêtes de terrain réalisées sur des zones ayant déjà subi des inondations.

Le processus de calcul est schématisé ci-après.



3.2. Quelques résultats chiffrés

Les résultats de l'évaluation des dommages peuvent être présentés sous la forme d'un coût associé à une crue donnée ou bien sous la forme d'un coût moyen annuel (CMA). Les montants de dommages peuvent être ventilés par types d'enjeux, par type de désordres, ou par zones géographiques (à l'échelle d'une commune, d'une région...).

Avant de présenter quelques résultats, il est important de s'arrêter un instant sur la notion de **coût moyen annuel** des dommages, développée en particulier par le BCEOM dans les années 1970 mais fort peu utilisée à présent. Lorsque le calcul du coût des dommages est effectué pour des crues de périodes de retour différentes¹²², l'ensemble des résultats obtenus permet de reconstituer la courbe d'évolution des dommages en fonction de la fréquence de la crue sur différents secteurs inondés et de calculer par intégration le CMA. Il équivaut à l'espérance mathématique du montant annuel des dommages lié à une crue annuelle maximale (c'est-à-dire à la valeur du coût des dommages que l'on obtiendrait à l'issue d'une répétition infinie des crues).

Exprimé mathématiquement, le CMA est l'intégration des coûts C sur toute la gamme de fréquence annuelle de dépassement F , limitée par un seuil d'apparition des dommages F_0 .

122. Rappelons que la période de retour est l'expression d'une probabilité. Certains hydrologues traduisent cela en ces termes : une crue de période de retour de 100 ans est la crue qui a une chance sur cent d'être dépassée l'an prochain.

$$CMA = \int_0^{F_0} C(F) df$$

Le CMA n'est pas qu'un simple concept mathématique, il présente l'intérêt d'apporter une vision synthétique du niveau d'exposition d'un tronçon de cours d'eau. La période de retour d'une crue, comme le coût des dommages qui lui est associé, étant des variables aléatoires, la valeur la plus intégratrice des dommages reste la moyenne annuelle. En outre, les CMA qui sont calculés sur différents tronçons de rivières peuvent s'additionner pour estimer un niveau d'exposition globale à l'échelle d'une vallée¹²³.

Cependant, l'estimation du CMA soulève un problème de fond : jusqu'à quelle fréquence d'événement peut-on extrapoler l'intensité de l'aléa et son emprise ? Existe-t-il une crue maximale et une emprise maximale ? Dans la pratique, comme au niveau des travaux de recherche, on se limite donc à des phénomènes dont la durée maximale n'excède pas quelques centaines d'année. À ce niveau déjà, il faut s'interroger sur la signification des éléments que l'on considère, car ils correspondent à des fréquences ou à des extrapolations sans moyen de validation rigoureuse.

• **Montants estimatifs des dommages directs et indirects sur l'ensemble de la région Ile-de-France dans la situation actuelle d'aménagement (IIBRBS, 1999).**

Rubrique	Crue cinq centennale	Crue centennale	Crue de 1995
Habitat	11 000 millions de F	4 000 millions de F	1 300 millions de F
Équipements	8 900 millions de F	4 700 millions de F	2 100 millions de F
Activités	44 500 millions de F	13 800 millions de F	3 500 millions de F
Transports routiers	2 500 millions de F	700 millions de F	—
Autres réseaux	10 000 millions de F*	5 000 millions de F*	—
Total	76 900 millions de F	28 200 millions de F	6 900 millions de F

*valeurs entachées d'une forte imprécision

• **Montants des dommages pour une crue centennale de la Garonne dans les départements de Haute-Garonne, du Tarn-et-Garonne, du Lot-et-Garonne et de la Gironde (Syndicat mixte d'étude et de programmation pour l'aménagement de la Garonne, 1989).**

Rubriques	Enjeux	Coût des dommages
Surfaces inondables	68 000 hectares	
Habitat	9 812 maisons	842 millions de F
Agriculture	8 900 hectares	308 millions de F
Entreprises	103 entreprises touchées	pas d'évaluation monétaire
Total		1 150 millions de F

123. Pour calculer le coût des dommages sur l'ensemble d'un cours d'eau pour une crue de période de retour donnée, on ne peut additionner les dommages estimés pour la même fréquence de crue sur chacun des tronçons considérés. En effet, du point de vue hydraulique, il y a rarement homogénéité de période de retour de crue sur l'ensemble d'un cours d'eau.

- **Montant des dommages pour une crue bicentennale de l'Isère à l'amont de Grenoble** (Association Isère-Drac-Romanche, 1994)¹²⁴.

Rubriques	Enjeux	Coût des dommages
Habitat	9 259 logements	566 millions de F
Activités agricoles	135 exploitations, 37 entreprises maraîchères et horticoles	19 millions de F
Activités économiques	6 000 entreprises, 34 300 emplois	394 millions de F de dégâts directs 530 millions de F de dégâts indirects 118 millions de F d'effets induits
Équipements, réseaux et établissements recevant du public.	Centres hospitaliers, bâtiments scolaires, établissements universitaires et de recherche, installations sportives, etc.	380 millions de F
	Réseaux	40 millions de F
	Autres	60 millions de F
Coût des mesures d'intervention et de sauvegarde		0,9 million de F
Coût des mesures de nettoyage		20,4 millions de F

4. L'UTILISATION DES RÉSULTATS D'UNE ÉVALUATION *A PRIORI*

Les évaluations monétaires des dommages potentiels sont réalisées pour répondre aux objectifs suivants :

- estimer les enjeux dans les zones à risques et les désordres dus aux inondations, exprimés au travers des coûts engendrés par un ou plusieurs événements d'inondation d'intensité donnée, ou par le biais d'un coût moyen annuel des dommages ;
- estimer ces mêmes coûts pour divers scénarios d'aménagement et de gestion du risque d'inondation ;
- estimer la réduction des coûts des dommages permise par un projet ou une politique de gestion.

L'objectif prioritaire assigné aux évaluations *a priori* est défini le plus souvent par rapport à des enjeux d'aménagement structurels des cours d'eau. Il s'agit dans la plupart des cas de pouvoir comparer le coût d'ouvrages de protection projetés à la réduction des dommages attendus.

Ainsi, pour l'étude Garonne, l'évaluation des dommages agricoles, pour plusieurs niveaux de crues, devait permettre de calculer les dommages évités pour différents niveaux de protection (annuelle, décennale, cinquantennale...).

De même, dans l'étude Isère, l'analyse économique a été menée en comparant deux situations : la situation avec projet d'aménagement du cours d'eau en amont de Grenoble et une situation sans projet (c'est-à-dire dans le cas où aucun investissement ne serait réalisé). Dans ce dernier cas de figure, appelé « situation de référence », l'étude a montré que les conséquences économiques liées à la survenance d'une crue bi centennale de l'Isère seraient comprises entre 1 100 millions de francs HT et 2 250 millions de francs HT. La différence entre

124. La zone d'étude couvre 1 875 hectares, dont 40 % en zones agricoles et zones vertes et 60 % en zones urbaines et économiques.

les impacts économiques résultant des deux situations (avec et sans aménagement) a permis d'évaluer l'intérêt économique des investissements de protection envisagés.

Dans le cas de l'Orne, le Syndicat mixte de lutte contre les inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant a demandé aux bureaux d'étude de calculer les coûts moyens annuels des dommages dans l'état actuel et dans l'état futur (aménagé), puis de comparer les gains moyens annuels ainsi escomptés aux investissements nécessaires pour réaliser ces aménagements, afin de juger de leur rentabilité.

L'étude Seine, quant à elle, avait pour objectif de mieux appréhender l'impact économique de différents types de crues dont une crue centennale analogue à celle survenue en 1910, de quantifier « l'efficacité hydraulique et économique » des ouvrages existants, de mieux évaluer les risques subsistant, malgré les lacs réservoirs et d'établir une hiérarchisation des aménagements futurs suivant un critère exprimé en terme par exemple de « gain par rapport à la crue de 1910 ».

Citons enfin le cas de l'étude Loire, où les investigations réalisées pour estimer les impacts socio-économiques des inondations n'ont pas pour seul objectif d'estimer l'intérêt d'un nouvel ouvrage écrêteur. Elles doivent permettre d'aider à la définition d'une stratégie de réduction du risque d'inondation à l'échelle de la Loire moyenne, en faisant appel à des mesures non structurelles par exemple (amélioration du système d'annonce de crue, protection et gestion des zones naturelles d'expansion des crues, mesures réglementaires de contrôle de l'occupation des sols dans les zones à risques...). Compte tenu de ces objectifs multiples, les membres de l'équipe du Plan Loire Grandeur Nature précèdent toujours la diffusion des résultats de l'évaluation monétaire des dommages par une présentation chiffrée des enjeux exposés. Le seul montant des dommages est jugé ici insuffisant. Les études économiques doivent permettre d'apprécier les facteurs de vulnérabilité qui expliquent, à l'échelle d'un territoire donné ou pour un type de bien ou d'activité, l'importance des dommages potentiels. Elles doivent enfin permettre de hiérarchiser les enjeux à l'échelle de la Loire moyenne et de mettre en évidence des secteurs particulièrement vulnérables et potentiellement sources de dommages importants.

Au-delà d'une aide à la décision dans la définition des stratégies d'aménagement, sous la forme d'une analyse de rentabilité financière plus ou moins sophistiquée, on constate que les études socio-économiques ont bien d'autres intérêts. Elles permettent notamment d'identifier les différents désordres que provoquerait un événement d'inondation, de mettre en évidence le poids relatif des dommages par type d'enjeux (agriculture, activités, habitat...), de faire l'inventaire des équipements sensibles, ou encore de mieux connaître les secteurs particulièrement exposés. En outre, elles participent largement à une sensibilisation des différents acteurs au risque inondation et à sa gestion (si toutefois, la réalisation des études est menée en partenariat avec les acteurs locaux et si les résultats sont largement diffusés).

CONCLUSION

À l'issue de cette première partie, sur l'état des connaissances et des pratiques dans le domaine de l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations, une conclusion générale s'impose. Elle est organisée autour d'une question centrale : quel est le rôle de l'évaluation des impacts socio-économiques des inondations dans les processus de décisions de gestion du risque ? Elle s'appuie sur les débats qui se sont tenus durant les exposés et la table ronde qui a clôturé le séminaire de janvier 1999. Elle propose des pistes de réflexion pour améliorer le contenu et la forme des évaluations socio-économiques dans une perspective de gestion durable du risque d'inondation.

L'ÉVALUATION DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES, UN ÉLÉMENT D'AIDE À LA DÉCISION POUR LA GESTION DU RISQUE D'INONDATION

Contrairement à d'autres pays (comme l'Angleterre et l'Allemagne), les pouvoirs publics français n'ont pas rendu obligatoire la réalisation d'études à caractère socio-économique en amont de la mise en œuvre de programmes ou de projets de gestion du risque d'inondation. Les évaluations des impacts socio-économiques des inondations ne sont donc pas systématiques. Elles sont réalisées suite à la survenance d'un événement particulièrement catastrophique (qui rappelle aux autorités publiques l'existence du risque et impose d'agir rapidement), lorsqu'un conflit de gestion apparaît et nécessite un arbitrage (dans ce cas le calcul économique est perçu comme un langage de négociation) ou encore dans le cadre de la définition d'une stratégie de gestion du risque (à l'échelle d'un bassin de risque ou d'un bassin versant hydrographique).

La place des études à caractère socio-économique dans les processus de décision et leur influence réelle dans les décisions de gestion du risque d'inondation sont difficiles à définir. Cette situation n'est cependant pas figée. Elle est même amenée à évoluer dans le contexte actuel de recherche d'une meilleure efficacité des investissements et de contrôle des dépenses publiques¹²⁵. Les SDAGE¹²⁶ par exemple tendent désormais à imposer préalablement à la construction de nouveaux ouvrages de protection la réalisation d'études économiques parallèlement aux études hydrauliques.

En considérant comme hypothèse que les connaissances scientifiques et techniques participent à la prise de décision, il apparaît que les études socio-économiques constituent un élément d'aide à la décision au même titre que les études hydrologiques et hydrauliques.

125. Insistons sur le fait que la tendance générale actuelle en matière de prévention du risque et de protection contre les inondations est de ne plus recourir systématiquement à la construction d'ouvrages dont le coût et les impacts environnementaux sont mis en exergue. On cherche par exemple à limiter les dommages en cas de crue à travers une meilleure gestion des zones inondables à l'échelle des bassins versants et à réduire la vulnérabilité des zones exposées grâce à des mesures d'aménagement du territoire.

126. Le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux est une procédure obligatoire de planification réglementaire issue de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Établi à l'échelle du territoire d'une Agence de l'eau, le SDAGE définit les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau, fixe les objectifs de qualité des eaux et de quantité, ainsi que les actions à mener pour les atteindre (sur une période de 10 à 15 ans).

• Des études qui jouent de multiples rôles

Au regard des exemples présentés durant le séminaire, il apparaît que l'essentiel des études réalisées est connecté à des choix de mesures structurelles de protection où les notions d'efficacité et de pertinence des actions sont sous-jacentes. La plupart d'entre elles cherchent en priorité à produire les connaissances nécessaires à la définition des actions qui sont socialement, économiquement et environnementalement acceptables. Elles ont rarement pour fonction de légitimer des projets prédéterminés. Il apparaît en outre que les objectifs qui président à la réalisation des études sont parfois peu précis (on ressent la nécessité de disposer de connaissances sur les impacts socio-économiques sans pour autant savoir précisément ce que l'on fera des résultats). Les objectifs s'affinent au fur et à mesure que les études avancent et leur rôle d'aide à la décision évolue avec le temps.

Dans le cas des bassins de l'Orne, de la Seine, de la Loire et du Rhône, l'objectif principal assigné aux études est de fournir une aide à la définition d'une stratégie cohérente de gestion du risque d'inondation à l'échelle des bassins ou des sous-bassins hydrographiques (faire des choix de planification et de programmation). Sur le bassin de l'Orb, un autre objectif s'est greffé à l'étude socio-économique réalisée peu de temps après la survenance de deux inondations successives : ne pas perdre d'information.

Par rapport à ces différentes études de cas, deux exemples particuliers peuvent être développés. Sur le bassin de la Loire moyenne et sur le bassin du Rhône, les programmes d'étude s'inscrivent en effet dans un contexte politique particulier.

Dans le premier cas, le Plan Loire Grandeur Nature est né au début 1994 de l'arbitrage du gouvernement sur un conflit impliquant l'EPALA dans le cadre de la construction d'un nouveau barrage aux confluent de la Loire et de l'Allier. L'État, l'EPALA et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne se sont entendus pour constituer une équipe pluridisciplinaire d'assistance à la maîtrise d'ouvrage à qui a été confié un programme d'étude de définition d'une stratégie de réduction des risques d'inondation pour les crues fortes de la Loire moyenne¹²⁷. Cette stratégie comporte en fait plusieurs volets :

- prévision : amélioration de l'annonce de crue par le biais de l'extension du réseau CRISTAL ;
- prévention : élaboration de cartes des zones inondables, mise en place de Plans de prévention des risques en vue de réduire la vulnérabilité ;
- protection : définition des besoins en matière de construction de nouveaux ouvrages, de renforcement de digues existantes... ;
- gestion de crise : réalisation de simulation d'organisation des secours, mise en place de plans de secours ;
- gestion post-crise : analyse des besoins pour un redémarrage des activités économiques après une inondation.

L'étude socio-économique a joué ici un rôle aussi important que l'étude hydraulique dans la définition de la stratégie de gestion du risque à l'échelle de la Loire moyenne. En particulier, elle a permis de démontrer qu'il ne suffisait pas de diminuer l'aléa mais qu'il fallait aussi s'attacher à réduire la vulnérabilité dans les secteurs inondables.

127. L'étude consacrée à l'évaluation des enjeux et des dommages dus aux inondations s'inscrit dans cette stratégie.

Dans le second cas, le programme d'étude engagé en 1998 a été motivé par les crues de février 1990 sur le Haut-Rhône et celles d'octobre 1993 et de janvier 1994 à l'aval de Lyon¹²⁸. À la suite de cette série d'événement, le gouvernement a mandaté une mission interministérielle d'enquête sur les crues du Rhône qui a rendu son rapport en avril 1994. Ce rapport met en cause le fort développement économique (agricole et industriel) et urbain en zone inondable. Dénonçant également le dysfonctionnement des systèmes de protection contre les crues, le rapport souligne la nécessité de lancer une vaste réflexion au niveau du bassin du Rhône pour modifier les pratiques actuelles d'occupation de sols en zones inondables et renforcer le dispositif de protection des zones urbanisées contre les inondations. La mission propose également la création d'une structure de coopération sur l'ensemble du bassin pour prendre en charge cette réflexion. C'est en fait une structure existante, l'Institution interdépartementale Rhône-Saône (IIRS) qui, après avoir modifié ses statuts, va devenir le maître d'ouvrage du programme d'étude globale. Ce programme, qui doit aboutir dans un délai de trois ans à la définition d'un plan de gestion sur le bassin, comporte trois volets d'étude : hydrologie/hydraulique, transport solide et occupation des sols. Ce dernier thème doit répondre aux objectifs suivants :

- améliorer les connaissances des enjeux humains, économiques et environnementaux présents aujourd'hui dans les zones inondables de la vallée du Rhône ;
- répertorier les projets de développement ;
- préciser la vulnérabilité actuelle des secteurs soumis au risque d'inondation ;
- fournir des éléments d'aide à la décision pour une gestion de ces zones et la définition d'une stratégie de réduction des risques.

Au regard de ces différents exemples, il serait réducteur de considérer que les évaluations socio-économiques n'ont qu'une fonction d'aide à des choix techniques et financiers de protection contre les crues. Elles peuvent en effet poursuivre d'autres objectifs tels que :

- pouvoir estimer les besoins de financement pour réparer les dommages survenus au cours d'un événement exceptionnel et permettre un redémarrage des activités (montant des indemnisations à octroyer et des crédits d'aide à débloquer) ;
- réorienter l'organisation de l'occupation des sols et faire évoluer les usages des terrains inondables ;
- mettre en évidence l'impact économique des aménagements existants à différentes échelles territoriales et ainsi mieux rendre compte, aux collectivités concernées, du service rendu par les ouvrages¹²⁹.

La gestion du risque devient progressivement un objet de débat social qui doit déboucher sur des choix collectifs explicites. Dans ce contexte, les rôles complémentaires que l'on peut assigner aux études socio-économiques peuvent être les suivants :

- étudier l'efficacité des mesures individuelles et collectives de prévention ou de protection à l'échelle locale ;
- analyser les mécanismes de solidarité autour de la gestion des événements ;
- mesurer les effets des inondations sur le développement local ;

128. Les dégâts de ces deux derniers événements ont été estimés à 1,5 milliard de francs.

129. Les résultats d'une étude poursuivant ce type d'objectif peuvent éventuellement être utilisés pour revoir la répartition des charges financières d'entretien des ouvrages entre les collectivités concernées, de manière à moduler cette participation en fonction du service rendu.

Ajoutons que la réalisation de ce type d'études permet également de maintenir la mémoire collective du risque et de sensibiliser les acteurs locaux¹³⁰. Par rapport à cet aspect, signalons le travail engagé sur le département du Loiret évoqué par Pascal Martin-Gousset¹³¹ : « Avec la maîtrise réglementaire de l'extension de l'urbanisation en zone inondable, les communes sont confrontées à la remise en cause d'un mode de développement fondé sur la consommation illimitée de l'espace. La DDE développe actuellement une démarche originale qui vise à faire prendre conscience aux élus locaux de l'importance du risque et de la nécessité de renoncer à certains types de développement. La réflexion actuellement en cours doit étudier des propositions de nouvelles formes de développement optimal du foncier restant urbanisable et les mécanismes financiers de compensation possibles¹³² ».

• Un enjeu : mobiliser les élus le plus en amont possible

Même si elles sont soutenues par les décideurs politiques, les études socio-économiques sont généralement initiées et portées par des techniciens (agents de l'État, des Agences de l'eau, des collectivités territoriales, des établissements publics de coopération intercommunale...). L'implication des élus au moment de la définition du contenu des études et leur participation à l'étape de préparation de la décision sont très faibles. Les techniciens considèrent à regret cette situation et soulignent les difficultés qu'ils rencontrent pour définir les indicateurs qui sont pertinents pour les décideurs politiques.

Jean-Louis Rizzoli¹³³ souligne à ce propos que « d'une manière générale, on constate une faible mobilisation des élus sur les problématiques de gestion des risques d'inondations, d'autres thématiques attirent davantage leur attention. »

Nicolas Camp'huis¹³⁴ ajoute que « l'on peut même constater un manque de clairvoyance et de volonté d'agir des décideurs politiques. »

Éric Guillaumin¹³⁵ note, quant à lui, que « les décisions sont toujours prises à la suite des inondations. Les études socio-économiques n'intéressent plus les élus locaux une fois l'événement passé. Pour eux, la vraie difficulté est de gérer les crises. »

De son côté, Régis Thépot¹³⁶ constate que « l'argumentaire sur les impacts économiques des inondations n'est pas forcément le critère déterminant pour une décision. Plusieurs autres éléments sont susceptibles d'entrer en ligne de compte : l'acceptabilité sociale des inondations et de la construction d'ouvrages de protection (en particulier dans les zones rurales) ; le nombre de personnes, de logements et d'entreprises concernés ; l'importance des équipements stratégiques vulnérables ; l'impact environnemental des inondations ; le coût d'investissement et de fonctionnement des ouvrages, etc. »

130 Ceci est à mettre en relation avec des aspects de communication sur lesquels nous reviendrons ultérieurement.

131 Direction départementale de l'équipement du Loiret.

132 À ce sujet, il serait intéressant d'étudier si la toute récente loi du 12 juillet 1999 relative au renforcement et à la simplification de la coopération intercommunale offre de nouvelles possibilités.

133. Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine.

134. Equipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature.

135. Institution interdépartementale du bassin Rhône-Saône.

136. Etablissement public d'aménagement de la Loire et de ses affluents.

Nicolas Camp'huis fait également remarquer qu'« *au niveau local, les élus ne cherchent pas nécessairement à connaître le coût des inondations. Ils veulent avant tout savoir si les entreprises situées en zone inondable resteront ou non à la suite d'une crue.* »

Deux questions sont sous-jacentes à ce constat : Comment faire en sorte que les élus s'approprient les études socio-économiques ? Ces dernières peuvent-elles contribuer à faire évoluer la culture du risque des décideurs politiques ?

• Le rôle déterminant du maître d'ouvrage d'étude et d'aménagement

Les études de cas présentées lors du séminaire ont montré le rôle déterminant du maître d'ouvrage public pour prendre en charge un programme d'étude visant à définir une stratégie cohérente de gestion du risque d'inondation¹³⁷.

Qu'il s'agisse d'un syndicat intercommunal, d'un syndicat mixte ou d'une entente interdépartementale, le maître d'ouvrage intervient sur un territoire qui dépasse l'échelon communal et ses compétences englobent à la fois les études et l'aménagement.

Son existence préalable est une condition sine qua non à l'engagement de programmes d'études qui sont lourds à mettre en œuvre et coûteux. C'est lui en effet qui engage les investigations de terrain, rassemble les financements et organise un partenariat autour du projet.

Il est ensuite amené à mettre en œuvre les mesures décidées à l'échelle du bassin versant. Sa pérennité et sa légitimité d'intervention permettent de créer une dynamique d'acteurs et une solidarité de bassin autour de la gestion des risques d'inondation (assurer une permanence sur le sujet, conserver la mémoire du risque, gérer les outils mis en place, mettre à jour les données...). En outre, le fait qu'il soit composé de collectivités territoriales appartenant à un même bassin versant peut ensuite faciliter la mise en place d'actions à l'échelle communale (de contrôle de l'occupation des sols en zone inondables par exemple). Les représentants des collectivités locales présents au sein de la structure intercommunale de maîtrise d'ouvrage peuvent en effet prendre conscience que l'efficacité des décisions collectives se trouvera renforcée par des actions mises en œuvre au niveau communal. Ce point a été souligné lors de la présentation de l'étude réalisée sur le bassin versant de l'Orb à la suite de deux inondations successives.

• L'importance du pilotage des études

En référence aux programmes d'étude réalisés sur les bassins de la Seine et de Loire, et à celui engagé récemment sur le bassin du Rhône, on entrevoit le rôle important joué par le pilotage des études (qui sont réalisées généralement par des groupements de bureaux d'étude). Ce pilotage recouvre des aspects à la fois stratégiques (choix méthodologiques et orientations données aux études) et très pratiques (définition du contenu des études et élaboration des cahiers des charges...). Dans les trois cas (Seine, Loire et Rhône), la maîtrise d'ouvrage des études fait intervenir un Établissement public de bassin, en association avec l'État et les Agences de l'eau. Cependant les modalités de conduite des études diffèrent en fonction des situations préexistantes (en particulier le contexte politique, l'ancienneté et la solidité du maître d'ouvrage, la personnalité des intervenants et la qualité des relations établies entre partenaires).

137. Notons que les évaluations socio-économiques engagées à l'instigation d'une collectivité seule ou d'un petit syndicat intercommunal sont très rares (manque de moyens pour mettre en œuvre des études lourdes, méconnaissance des savoir-faire disponibles et de l'apport de telles études).

Dans le cas de la Seine, le pilotage des études est assuré largement par les Grands Lacs de Seine (qui se sont attaché l'aide d'un expert extérieur pour le volet économique). L'État et l'Agence de l'eau Seine-Normandie, qui font partie du Comité de pilotage, jouent ici un rôle moins déterminant que dans le cas de la Loire¹³⁸. Parallèlement, un Comité technique a également été mis en place pour élargir le partenariat. Cette structure consultative regroupe autour des membres du comité de pilotage des représentants de la région Ile-de-France, de l'IAURIF¹³⁹, du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (direction de l'eau et sous-direction de la prévention et des risques majeurs), de la DRIRE¹⁴⁰ Ile-de-France, des Services de la navigation de la Seine, du Port autonome de Paris et de la Préfecture de police (secrétariat général de la zone de défense de Paris).

Notons également que le programme d'étude, défini par le Comité de pilotage, a été élaboré suivant un processus comportant trois phases successives :

- la définition du cadre général et des objectifs du programme d'études ;
- le lancement d'un marché de définition (sous la forme d'un appel d'offre) pour la rédaction de cahiers des charges des études à mener ;
- le lancement d'un appel d'offre d'étude sur cette base.

Dans le cas de la Loire, l'ensemble du processus d'étude est piloté par trois partenaires étroitement associés au sein du Comité de pilotage (structure décisionnelle) : l'EPALA, l'État et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. Des représentants de ces mêmes institutions se retrouvent également au niveau d'un Comité de suivi technique des études. De plus, une structure d'assistance à maîtrise d'ouvrage a été mise en place : l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature.

Sur le bassin du Rhône, la situation est encore différente. La maîtrise d'ouvrage a été confiée, sur décision des élus locaux, à une structure préexistante n'ayant pas initialement pour vocation d'intervenir dans le domaine de la gestion des risques d'inondation. Ce contexte particulier a conduit l'IIRS à confier le pilotage des études à un expert extérieur. L'absence d'un pilotage institutionnel fort met l'assistant à la maîtrise d'ouvrage, dont le rôle se trouve ici renforcé, dans une situation délicate. En effet, les orientations à donner aux études et les choix méthodologiques qui doivent être faits sont du ressort du Comité de pilotage et non d'un expert extérieur.

Le pilotage des études suppose une participation des mêmes acteurs institutionnels, impliqués au départ, pendant toute la durée du processus de production des connaissances. Tout au long de l'étape de préparation de la décision, ils construisent un référentiel commun qui constitue un atout pour la mise en œuvre d'un futur programme d'action. De plus, à travers le suivi des études et des résultats qu'elles produisent, ils peuvent affiner progressivement la méthodologie voire de réorienter au fur et à mesure les investigations afin de mieux répondre aux objectifs fixés.

On peut citer à cet égard l'exemple du programme d'étude réalisé sur le bassin de la Seine où il est apparu nécessaire lors de la seconde phase d'étude de mettre en place une démarche spécifique pour l'évaluation des impacts des inondations sur les réseaux. C'est ainsi que les gestionnaires de réseaux (transport, énergie, eau, assainissement...) ont été réunis en groupes

138. Notons cependant que si l'Agence de l'eau Seine-Normandie est peu intervenue dans le pilotage direct des études qui ont été réalisées, elle a joué un rôle important lors du lancement de la démarche de réflexion qui a abouti à la définition du programme d'étude sur le bassin de la Seine amont.

139. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.

140. Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement.

de travail pour apporter leur expertise (caractérisation de scénarios de désordres en fonction de différents types de crues et identification des effets sur le fonctionnement des réseaux). Signalons que cette méthode de travail a eu pour effet de sensibiliser ces acteurs aux risques, puisque certains d'entre eux ont décidé de revoir leurs plans de gestion de crise.

• La communication et la diffusion des résultats des études

En liaison directe avec le point précédent se pose le problème de la diffusion des résultats des études. Quelles informations transmettre, sous quelle forme et à qui ? Avant de répondre à cette question largement soulevée lors du séminaire, abordons brièvement un autre aspect : les types de résultats issus des études socio-économiques.

Les évaluations des impacts socio-économiques des inondations sont généralement considérées comme étant incomplètes et imparfaites. Les méthodologies disponibles et les moyens dédiés aux études ne permettent pas de passer au crible de l'évaluation tous les impacts des inondations. On est nécessairement amené à délimiter le champ d'investigation, savant compromis entre les objectifs du ou des commanditaires, les méthodes employées, les moyens financiers dégagés et le temps imparti aux études. En outre, l'échelle territoriale à laquelle est menée l'évaluation joue un rôle important sur la nature et la précision des résultats qui doivent être considérés comme des éléments d'appréciation globale des impacts.

À l'échelle des bassins versants hydrographiques, les incertitudes sur les résultats des études se trouvent gommées. De toute façon, elles ne constituent pas un problème en soi car l'objectif visé est d'obtenir des ordres de grandeur et le plus souvent de comparer les effets de scénarios de crues ou d'aménagement. Dans ce contexte, les maîtres d'ouvrage considèrent que les résultats obtenus sont suffisants et que les méthodes d'évaluation disponibles sont satisfaisantes.

En revanche au niveau d'une collectivité locale ou d'un bassin de risque concernant quelques communes, les résultats des évaluations doivent nécessairement être plus précis car ils sont utilisés pour orienter les décisions locales en matière d'occupation des sols ou d'ouvrages de protection. Les études doivent être plus fines et détaillées (évaluation à l'échelle de la parcelle, du logement, de l'entreprise...). La question des incertitudes sur les résultats est ici beaucoup plus prégnante.

Un changement d'échelle implique donc nécessairement un changement de méthode d'évaluation¹⁴¹. C'est là un des points de conclusion important du séminaire. Il ne s'agit pas cependant d'opposer les approches globales aux approches locales qui, si elles sont menées de front, peuvent s'avérer complémentaires et permettre de hiérarchiser les actions à différentes échelles et de mieux définir les priorités.

En ce qui concerne la communication et la diffusion des résultats des études, les maîtres d'ouvrage sont tous très sensibles à cette question. Ils font preuve d'une grande prudence en la matière et s'interrogent sur les modalités de valorisation des études réalisées. Est-il nécessaire de présenter les hypothèses de travail ? Doit-on afficher les incertitudes sur les résultats ? Faut-il accompagner la présentation des coûts des dommages de fourchettes d'estimations ? Comment informer sans effrayer ? Quelles informations pertinentes doit-on diffuser ?...

141. Les démarches mises en œuvre sur les bassins de la Seine ou la Loire ne peuvent *a priori* être appliquées sur de petits territoires.

Ces questions n'ont pas de réponses simples, d'autant que les études socio-économiques sont rarement conduites dans un objectif de communication sur le risque ou de débat sur sa gestion. Elles restent souvent confidentielles et le cercle des acteurs avertis est circonscrit aux techniciens et aux élus impliqués dans la démarche¹⁴². Les acteurs de la société civile qui occupent les zones inondables (partenaires sociaux, économiques, prestataires de services pour les collectivités, public...) et qui sont bien évidemment concernés au premier chef par les décisions qui seront prises, sont rarement informés de l'existence de telles études et a fortiori des résultats obtenus¹⁴³. Régis Thépot précise, à propos du programme d'études réalisé sur la Loire moyenne, que « *les financeurs gardent la primauté de l'information et décident des éléments qui doivent être publiés* ».

Sur ce même bassin, des efforts de valorisation des résultats des études sont faits à l'heure actuelle. Quatre documents d'information ont été réalisés par l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature puis diffusés aux acteurs institutionnels durant l'été 1999 :

- une note technique qui constitue une synthèse des propositions pour une stratégie de réduction du risque d'inondation pour les crues fortes de la Loire moyenne ;
- un bilan des connaissances acquises sur la propagation des crues et sur les améliorations possibles au système actuel de défense ;
- deux plaquettes sur le risque d'inondation de la Loire moyenne, l'une exposant les travaux de restauration et d'entretien du lit nécessaires à un écoulement optimal des crues fortes, l'autre présentant les enjeux économiques et sociaux dans les vals inondables et l'estimation des dommages que l'inondation de ces vals peut provoquer.

La présentation des résultats nécessite une synthèse et une « traduction » des études dans un langage accessible aux acteurs concernés. Éric Guillaumin signale que dans le cas de l'étude Rhône « *il a été décidé de faire appel à des urbanistes pour simplifier les résultats de l'évaluation des enjeux liés à l'occupation des sols et les rendre digestes pour les décideurs politiques* ».

LE SAVOIR-FAIRE EN MATIÈRE D'ÉVALUATION DES IMPACTS SOCIOÉCONOMIQUES DES INONDATIONS : EN PROGRESSION MAIS PEUT MIEUX FAIRE !

• Des connaissances qui progressent par à-coups

L'état du savoir-faire en matière d'évaluation suit une logique offre/demande. L'offre de méthode s'est constituée en effet en fonction de la demande exprimée par les pouvoirs publics. On peut ainsi remarquer que durant les trente dernières années, les connaissances ont progressé par à-coups. Les programmes de recherches et d'études, permettant le développement des méthodologies d'évaluation, ont souvent été engagés à la suite de catastrophes ou à cause de conflits de gestion. Il en résulte un sentiment de dispersion du savoir, détenu par un nombre restreint de bureaux d'étude et de laboratoires de recherche. Des réflexions récentes sur la

142. Insistons sur le fait qu'il ne s'agit cependant pas d'une volonté de rétention de l'information mais plutôt d'un manque de savoir-faire.

143. Cet aspect dépasse le sujet traité et concerne plus généralement les modalités de concertation/participation des acteurs lors de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques publiques.

politique de gestion des risques naturels soulignent d'ailleurs l'urgence d'améliorer les analyses économiques et de renforcer leur contribution aux choix publics¹⁴⁴.

Les méthodes se sont d'abord développées dans le but de calculer la rentabilité des grands ouvrages de protection. Elles ont ensuite été utilisées pour la définition de mesures non structurelles (réglementation de l'occupation des zones inondables), puis se sont étendues à la définition de schémas d'aménagement combinant des mesures structurelles et non structurelles. De fait, les évaluations se sont intéressées en premier lieu aux effets immédiats et directs des inondations à l'échelon local (communal ou intercommunal). Elles restent majoritairement tournées vers une quantification des dommages. En d'autres termes, elles sont plus financières qu'économiques et la composante sociale est réduite à des données quantifiables (densité de population dans les zones inondables, nombre de personnes touchées, catégories socioprofessionnelles concernées, niveau d'équipement des ménages et de standing des logements...).

En matière de connaissances sur les risques d'inondation, on peut remarquer que l'évaluation des impacts socio-économiques accuse un retard par rapport à l'analyse des aléas (la communauté scientifique s'est surtout mobilisée sur la modélisation des phénomènes physiques). Par son côté transversal, pluridisciplinaire et appliqué, ce type d'évaluation a du mal à se constituer en domaine de recherche. C'est pourquoi le thème est pris en charge principalement par des bureaux d'étude et marginalement par quelques laboratoires de recherche appliquée (appartenant d'ailleurs à des écoles d'ingénieur ou rattaché à des ministères techniques). Les économistes interviennent peu sur le sujet et s'intéressent plutôt aux questions de valorisation de la ressource en eau et de caractérisation économique des usages de l'eau et des fonctions des milieux aquatiques.

• L'évolution de la politique publique de gestion des risques d'inondation

Le souci de « lutter contre les inondations » justifiant le recours quasi systématique à la mise en œuvre d'aménagements lourds fait progressivement place à une approche plus globale de « gestion du risque d'inondation », visant à concilier protection des biens et des personnes et préservation des milieux naturels. Une vision de gestion durable des territoires soumis à un risque d'inondation se fait jour.

Dans ce contexte, les outils et les modes d'évaluation sont amenés à évoluer en se plaçant dans une perspective d'aide à la recherche de solutions de gestion du risque qui associent des mesures structurelles et non structurelles à mettre en œuvre à différentes échelles territoriales (locales, intercommunales, bassin de risque, bassin versant).

• Un changement de perspective en matière d'évaluation des impacts socio-économiques

Les études de cas présentées lors du séminaire traduisent une évolution de méthodologie et un élargissement du champ de l'évaluation. Elles montrent en particulier que l'estimation des dommages (directs et indirects) est insuffisante et qu'il faut **analyser la vulnérabilité** de la société locale face au risque. Elles mettent également en avant qu'il faut s'intéresser aux éléments susceptibles de réduire les dommages : les modalités d'organisation des secours et de

144. Mathot P. et Mariany T., « Inondations : une réflexion pour demain, Rapport de la commission d'enquête sur les causes des inondations et les moyens d'y remédier », Assemblée nationale, 1994, tome 1 (136 p.), tome 2 (338 p.). Bourrellet P.H. (sous la direction de), « Rapport de l'instance d'évaluation sur la prévention des risques naturels », Documentation française, 1997, 702 p.

gestion post-crise, les solidarités institutionnelles et sociales s'exprimant durant et après un événement, la culture du risque des acteurs touchés (mesures de prévention et de protection mises en place chez les particuliers et les entreprises) et le comportement des individus au moment des événements...

L'évaluation des impacts socio-économiques ne peut plus s'enfermer dans une logique coût/avantage mais doit relever plutôt d'une analyse multicritère. Les décisions de gestion du risque d'inondation doivent désormais reposer à la fois sur des calculs économiques (pertes ou bénéfices) mais aussi sur des appréciations plus qualitatives.

Nicolas Camp'huis, lors d'un exposé réalisé au cours des rencontres organisées par le Comité français de la DIPCN (Décennie internationale de la prévention des risques naturels), témoigne de ce changement de perspective engagé avec l'étude Loire : « *Une stratégie de gestion du risque d'inondation qui se cantonnerait à nouveau à des travaux sur les levées ou à de nouveaux ouvrages écrêteur conduirait à un échec. Une diminution des dommages ne peut reposer uniquement sur une réduction de l'aléa hydraulique. Il faut prévoir en priorité de réduire la vulnérabilité des biens exposés aux inondations, améliorer la gestion des moyens humains, matériels et financiers mobilisés pendant et après les crues, mais aussi rechercher des solutions permettant un développement durable des communes présentes dans les zones inondables.* »¹⁴⁵

La remarque de Jean-Louis Rizzoli, au cours du séminaire de janvier 1999, va dans le même sens : « *Si on devait refaire aujourd'hui une nouvelle étude, elle porterait davantage sur l'aspect qualitatif des impacts des inondations.* »

En résumé, on semble se diriger vers des approches mixtes qui combinent des évaluations quantitatives et qualitatives et qui font appel simultanément à un panel de méthodes : le recours à l'expertise, l'utilisation des fonctions de coûts, l'implication des acteurs locaux pour caractériser des désordres et des impacts, les enquêtes de terrain, la mobilisation des diverses sources d'information disponibles localement.

Dans ce contexte, le concept de vulnérabilité aux inondations doit faire l'objet de recherches pour d'une part, mettre en évidence les facteurs de sensibilité et de fragilité du tissu social et économique par rapport au risque et d'autre part, étudier sa faculté de « récupération » après un sinistre.

• Conforter les acquis et développer les connaissances sur certains aspects encore ignorés ou négligés

Les remarques précédentes soulèvent une question : a-t-on les moyens aujourd'hui de réaliser une évaluation selon une vision systémique et une logique de gestion durable du risque d'inondation ?

Mener une évaluation dans cette perspective ne doit pas donner lieu à la recherche d'un contenu standard aux études. Ce contenu est la résultante de plusieurs facteurs : la nature du commanditaire (ses compétences, son territoire d'action, ses responsabilités) et ses objectifs, les moyens disponibles (en temps et en argent) et le type d'évaluation recherché (*a posteriori* ou *a priori*...). Pour prendre une métaphore, il faut faire du « sur-mesure » plutôt que du

145. Nicolas-Gérard Camp'huis, « Une stratégie de réduction des risques d'inondation en Loire moyenne », Comité français de la DIPCN, conférence de Paris sur « La prévention des catastrophes naturelles, l'aménagement du territoire et le développement durable », Paris, Assemblée nationale, 17-19 juin 1999, thème 2 : Actions aux niveaux local et national, p. 56-64.

« prêt-à-porter ». De plus, elle suppose non seulement de connaître précisément les mécanismes de formation des différents impacts et leurs effets en chaîne, mais aussi d'être en mesure de les estimer. Ce qui est loin d'être le cas aujourd'hui.

Certains types d'impacts sont relativement bien connus et les méthodes d'évaluation semblent globalement donner satisfaction. C'est le cas des dommages directs et indirects à l'habitat et dans une moindre mesure aux activités.

Concernant ces dernières, les principales difficultés qui demeurent pour estimer les dommages sont liées à leur très grande diversité. Il serait illusoire de considérer qu'il est possible de définir des fonctions de coût par type d'activité. L'estimation des dommages pour certaines activités particulières (celles qui sont les plus sensibles aux inondations compte tenu de leurs types de production et/ou celles qui constituent un moteur pour l'économie et l'emploi au niveau local) nécessite une approche au cas par cas via une enquête de terrain. Pour les activités plus classiques, une meilleure utilisation du retour d'expérience et le développement des expertises (en relation notamment avec les experts qui interviennent pour le compte des compagnies d'assurance) doivent permettre d'améliorer sensiblement l'évaluation des dommages.

L'estimation des dommages aux équipements et aux réseaux est encore en retrait par rapport aux thèmes précédents. Une distinction doit être faite entre les biens eux-mêmes (superstructures et infrastructures) et les services rendus aux usagers. L'évaluation des dommages aux biens ne pose pas de difficultés méthodologiques particulières. Le retour d'expérience reste cependant insuffisant pour arriver à définir des ratios de coûts. En revanche, l'estimation monétaire des impacts des inondations sur les niveaux de services mais aussi, dans le cas des réseaux, sur les effets en chaîne induits par un événement est plus délicate. Elle passe nécessairement par une collaboration étroite avec les gestionnaires d'équipements et de réseaux établie au cas par cas.

Les impacts des inondations sur la santé des personnes touchées (santé physique et psychologique), sur le patrimoine culturel et historique des communes, sur les paysages et l'environnement ne sont pas pris en compte pour l'instant dans les évaluations. Les méthodes mises au point par les économistes dans le domaine de l'environnement pourraient *a priori* être utilisées pour évaluer ces types d'impacts. Mais leur utilisation suppose une implication plus forte des économistes sur le thème des inondations.

Les effets des inondations sur le développement et les finances locales ou encore sur les marchés fonciers et immobiliers sont rarement estimés à l'heure actuelle. Cependant quelques expériences récentes montrent que des approches empiriques se mettent en place. Leur développement doit être encouragé.

Rappelons enfin qu'une démarche globale d'évaluation conduit à considérer simultanément plusieurs échelles d'analyse (la parcelle, le secteur homogène du point de vue de l'aléa ou de l'occupation des sols, la zone inondable dans son ensemble, le bassin de risque...). Ceci met alors en évidence les effets négatifs et positifs des inondations. Au niveau local, là où survient l'inondation, les impacts s'expriment essentiellement en terme de dommages (directs et indirects). Mais si on prend comme référence spatiale une région par exemple, on peut s'apercevoir que l'inondation produit des effets positifs (économie générée par l'activité de réparation et de reconstruction, transfert d'activité des entreprises touchées vers des établissements concurrents installés hors des zones inondables, produits financiers des établissements de prêts...). S'intéresser aux bénéfices des inondations au même titre qu'aux dommages dans le but de les comparer suppose donc de passer d'un argumentaire de type financier à

un raisonnement de nature micro-économique ou macro-économique¹⁴⁶. Ce passage suppose l'engagement de nouveaux travaux de recherche appliquée.

• Le cas particulier de l'évaluation des impacts environnementaux des inondations

Les bénéfices que l'on peut tirer des inondations ne portent pas uniquement sur les activités économiques. Ils concernent également les hydrosystèmes. Au même titre que d'autres types d'impacts, l'évaluation des effets des inondations sur l'environnement doit considérer deux dimensions :

- une évaluation des atteintes aux milieux naturels (destruction, perturbation, dégradation) : qualité des eaux (de surface et souterraines), des sols, des écosystèmes ;
- une évaluation des bénéfices environnementaux des inondations (recharge des nappes, fonctionnement des écosystèmes aquatiques)¹⁴⁷ ;

Dans le cas des inondations, les dommages à l'environnement résultent des effets des pollutions engendrées par les événements (pollutions liées à des débordements de réseaux, à l'arrêt de fonctionnement des stations d'épuration, à la détérioration d'équipements industriels...), mais aussi des effets des facteurs physiques de l'inondation elle-même (dégradations liées à la vitesse du courant, à la durée de submersion, au transport de matériaux et de boues durant l'événement...). Ces aspects sont actuellement absents des études. Il faut d'ailleurs préciser que dans le domaine de l'évaluation économique des dommages à l'environnement en général, les travaux sont non seulement peu nombreux mais ils concernent surtout l'estimation des conséquences écologiques d'accidents industriels. On peut s'interroger sur les possibilités de transfert directes de ces connaissances au cas particulier des inondations. En outre, compte tenu des méthodes d'évaluation disponibles, seuls certains dommages écologiques semblent pouvoir être chiffrés aujourd'hui. Il s'agit du coût des mesures de sauvegarde (prévention et atténuation des atteintes à l'environnement) et du coût de remise en état (nettoyage, traitement de la pollution). Les éléments ne pouvant faire l'objet d'une évaluation économique concernent par exemple la diminution de la biodiversité, l'atteinte à une valeur patrimoniale commune, la disparition transitoire ou permanente d'individus ou d'espèces faunistiques et floristiques, l'atteinte à la valeur intrinsèque des éléments naturels.

Concernant les effets bénéfiques des inondations, leur évaluation a pour but de mesurer l'intérêt de préserver ou de restaurer les fonctionnalités des milieux naturels que sont les zones inondables (non urbanisées). Considérer que les fonctions naturelles des zones inondables

146. La microéconomie peut être définie comme une méthode d'analyse structurée autour de deux hypothèses fondamentales : le principe de rationalité (les agents économiques sont caractérisés à travers leurs préférences et/ou les objectifs qu'ils cherchent à atteindre, tout en respectant des contraintes qui limitent les choix possibles) et le marché comme mode de coordination (les agents s'efforcent d'atteindre leurs objectifs exclusivement par l'échange marchand). Une démarche de type microéconomique ne s'interroge donc pas sur ce qui a déterminé les objectifs, mais elle analyse comment les agents agissent et interagissent de façon à satisfaire au mieux leurs objectifs. D'un point de vue méthodologique, elle s'oppose à l'approche macroéconomique qui vise à expliquer comment se déterminent des quantités agrégées (la production, la consommation, l'investissement...) et des indices globaux (taux d'inflation, taux de chômage...). La diversité des comportements et des objectifs est occultée dans la mesure où la macroéconomie raisonne en terme d'agent économique représentatif (un consommateur et une entreprise représentatifs résumant à eux seuls les décisions de l'ensemble des ménages et du secteur productif).

147. À cet égard soulignons que la récente loi d'orientation et d'aménagement durable du territoire, en date du 25 juin 1999, met en avant la contribution positive des espaces naturels à la prévention des risques d'inondation notamment.

sont génératrices de bénéfices pour la collectivité au même titre que des aménagements artificiels revient :

- à envisager la politique de préservation/restauration des zones inondables non urbanisées comme une option d'aménagement possible ;
- à évaluer les effets environnementaux des mesures de protection structurelle pour les comparer aux effets de la préservation ou de la restauration des milieux.

Les tentatives d'évaluation sont également peu nombreuses et portent uniquement sur certaines fonctions : fonctions d'écêtement des crues, d'épuration et de préservation de la ressource (recharge des nappes d'accompagnement). Les résultats de ses évaluations apportent des indications permettant de comparer différentes options d'aménagement ou de faire la démonstration que les investissements de préservation ou de reconquête des zones inondables présentent un intérêt économique pour la collectivité.

Aujourd'hui l'estimation des impacts environnementaux est donc loin d'être évidente compte tenu de la difficulté de délimiter le champ d'évaluation, de la faiblesse du retour d'expérience et des problèmes de mise en œuvre des méthodes d'évaluation (analyse contingente, méthode des prix hédonistes, méthode du coût des trajets...). En pratique, la fiabilité de ces méthodes est contestée. En outre, elles sont difficiles à appliquer car elles nécessitent une grande masse de données et ont un coût élevé. Il est donc permis de s'interroger sur la faisabilité de prendre en compte cette dimension dans les évaluations des impacts socio-économiques des inondations.

QUELQUES ÉLÉMENTS DE RÉFLEXION POUR ALLER PLUS LOIN...

Répondre aux besoins, qui viennent d'être exprimés, en matière de développement des connaissances sur les impacts socio-économiques des inondations et leur évaluation suppose un couplage entre des études de terrain, sollicitées par les collectivités territoriales ou leurs groupements, et des travaux plus approfondis menés dans le cadre de programmes de recherches, soutenus par l'État. Mais le plus urgent est sans doute d'une part, de mieux capitaliser et valoriser le savoir-faire déjà acquis et d'autre part, d'organiser le retour d'expérience. Le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement comme les Agences de l'eau ont nécessairement un rôle moteur à jouer à cet égard (définir les missions, désigner des maîtres d'œuvre, dégager les moyens nécessaires).

• Capitaliser le savoir-faire et valoriser les acquis

Si les travaux en matière d'évaluation des impacts socio-économiques sont relativement nombreux¹⁴⁸, ils demeurent mal connus des utilisateurs potentiels car peu diffusés. La constitution d'un centre de ressource rassemblant en un même lieu l'ensemble des études et recherches disponibles sur le sujet permettrait de résoudre ce problème (ces travaux financés sur des fonds publics doivent en effet pouvoir être consultés facilement). On peut s'appuyer sur une structure existante, en l'occurrence le centre de documentation de la Sous-direction de la prévention et des risques majeurs au Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

Au cours de la table ronde du séminaire, l'intérêt de disposer d'un guide méthodologique sur la manière de conduire les évaluations a été souligné. Le présent travail d'analyse critique du

148. La bibliographie réalisée dans le cadre de ce travail donne un premier aperçu de l'importance des travaux déjà réalisés sur le sujet.

savoir-faire disponible constitue une première base pour la définition du contenu d'un tel guide. Toutefois, il est nécessaire de pousser plus avant cette analyse, une fois constitué le centre de ressource. Il est également indispensable de constituer un groupe de travail ad hoc au niveau national pour conduire son élaboration.

La diffusion du savoir-faire peut passer également par l'organisation de programmes de formation utilisant les résultats du séminaire qui s'est tenu en janvier 1999. Par ailleurs, il semblerait également intéressant de mettre en place un nouveau séminaire de travail, mais cette fois organisé autour des pratiques étrangères afin de confronter les expériences et de mettre en évidence les possibilités de transferts méthodologiques. La richesse des synthèses réalisées par des experts étrangers montre bien l'intérêt d'un tel séminaire (voir la troisième partie de l'ouvrage).

• Organiser le retour d'expérience

L'organisation du retour d'expérience va de paire avec la capitalisation du savoir-faire et la différence entre les deux est ténue. L'objectif visé est d'améliorer les connaissances sur les impacts, d'affiner les méthodes d'évaluation et d'alimenter les réflexions afin d'améliorer la politique de prévention des risques d'inondation dans son ensemble.

Au niveau national, l'organisation du retour d'expérience passe par une mise en réseau des acteurs qui engagent des études socio-économiques ou y participent afin d'échanger les expériences. Au niveau local, elle suppose de créer une dynamique d'acteur autour du recueil d'information à la suite de la survenance des événements. Concernant cet aspect, rappelons que les tentatives de recours aux sources d'information constituées à la suite des inondations ont montré une inadéquation entre les données disponibles sur le terrain et les objectifs d'utilisation, tout en soulignant leur intérêt potentiel. Il ne s'agit pas simplement de définir des protocoles de recueil, de mise en forme et de diffusion des données. Il convient également de mettre en place un processus d'intéressement des acteurs concernés (chambres consulaires, organismes sociaux, collectivités, préfectures, experts d'assurance...) pour s'assurer de leur participation¹⁴⁹. Les informations ainsi recueillies doivent ensuite alimenter une base de données nationale (à ce sujet il est nécessaire de tirer les leçons de l'expérience menée au début des années 1980).

Mais l'organisation du retour d'expérience ne doit pas s'arrêter à ce niveau. Elle doit en effet se traduire par la réalisation plus systématique d'évaluations socio-économiques à l'amont des projets et à la suite des événements majeurs. Les pouvoirs publics ont un rôle à jouer pour inciter (via un système d'aide financière aux maîtres d'ouvrage) ou rendre obligatoire (via les textes réglementaires) la mise en œuvre d'études économiques à l'amont des projets.

Signalons que la Mission d'inspection spécialisée de l'environnement (MISE) a remis en mai 1999 au Ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement un rapport relatif à l'organisation du retour d'expérience dans le domaine des risques naturels. Ce rapport définit trois principaux objectifs à assigner à un retour d'expérience institutionnalisé : constituer une base de données nationale, fournir des analyses pertinentes des événements et assurer une diffusion de l'information traitée. Pour analyser les événements catastrophiques, il préconise de procéder en trois temps : une analyse dans les jours qui suivent l'accident ou la catastro-

149. Parmi les acteurs concernés, il ne faut pas oublier les compagnies d'assurance et de réassurance, la Fédération française des sociétés d'assurance, l'Assemblée plénière des sociétés d'assurances dommages et la Caisse centrale de réassurance qui, de leur côté, recueillent des informations, constituent des bases de données... pour leurs propres besoins. Rappelons que la CCR a engagé en 1997 une réflexion sur l'organisation d'un retour d'information sur les dommages dus aux inondations.

phe, puis une nouvelle analyse plus approfondie dans un délai de 3 à 6 mois et enfin une troisième, deux ans après (notamment pour étudier les enseignements tirés du sinistre et vérifier l'engagement des mesures de prévention). Pour mener à bien le retour d'expérience, le rapport suggère la création d'une structure centrale à caractère technique et spécialisée sur les risques naturels, à l'image du Bureau d'analyse des risques et pollutions industrielles (BARPI).

Enfin la mise en place d'un Observatoire national des zones inondables et des risques d'inondations pourrait compléter ce dispositif, afin d'analyser à différentes échelles spatiales et temporelles le rôle joué par les estimations des impacts socio-économiques dans les décisions de gestion du risque d'inondation et plus globalement d'évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre.

EXEMPLES ET ÉTUDES DE CAS

PRÉAMBULE

La seconde partie rassemble les communications du séminaire de janvier 1999, classées en fonction du découpage en trois grandes familles d'évaluation, retenu dans la partie précédente.

Les deux premières communications se rapportent à l'évaluation *a posteriori*. Bernard Dartau, du Conseil général de l'Hérault, présente l'étude économique réalisée à la suite de deux crues successives de l'Orb (décembre 1995 et janvier 1996). Son exposé met en avant les sources d'informations utilisées pour réaliser un bilan post-catastrophe, les principaux résultats obtenus et l'utilisation qui en est faite. La communication de Claire Arnal, du BRGM, traite d'une recherche à caractère méthodologique réalisée sur le site de Nîmes entre 1993 et 1996. Ce travail avait pour objectif d'analyser les conséquences financières, économiques et sociales de l'événement d'octobre 1988.

Le troisième exposé entre dans la catégorie de l'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité. Il porte sur la méthode Inondabilité, élaborée et mise en œuvre par le CEMAGREF. Nicolas Gendreau présente les principes généraux de cette démarche qui repose sur une modélisation des aléas, une quantification des vulnérabilités pour différents usages du sol et un croisement de ces deux dimensions, dont les résultats sont traduits sous une forme cartographique.

Les huit communications suivantes sont rattachées à la famille des évaluations *a priori*. Le programme d'études, concernant l'évaluation des effets des ouvrages de protection (existants et futurs) sur les dommages dus aux inondations de la Seine et de la Marne en région Ile-de-France, est présenté par Jean-Louis Rizzoli, des Grands Lacs de Seine. Cet exposé de cadrage introduit la présentation de Laurent Gazull, de la société STRATEGIS, qui porte sur l'outil d'aide à la décision développé dans le cadre de ce programme d'études. Claire Devaux-Ros, de l'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature, expose le contenu d'un autre programme d'études important réalisé sur le bassin de la Loire moyenne. Elle développe les principes méthodologiques retenus pour évaluer les enjeux et les dommages liés aux crues du fleuve dans cette partie du bassin. Une troisième étude de cas est abordée par Henri Dumay, du BCEOM, qui traite de l'évaluation des dommages des crues de l'Orne dans l'agglomération de Caen. La démarche qui est développée ici repose sur le calcul d'un coût moyen annuel des dommages, comparé aux gains moyens annuels escomptés grâce à des aménagements.

Les quatre derniers exposés concernent l'estimation économique de quelques impacts spécifiques. L'évaluation des désordres et des dommages aux réseaux techniques urbains, mise en œuvre dans le cadre du programme d'études sur les impacts des inondations en région Ile-de-France, est abordée par Pierre Desgranges, de Territoire Conseils Associés. L'exposé de Yann Laurans, du bureau d'étude ASCA, est consacré à l'estimation des dommages agricoles. Il fournit des informations détaillées sur la méthodologie d'évaluation employée au cours du programme d'études sur les impacts socio-économiques des crues de la Loire. Bruno Ledoux, de la société BLC, traite de la question des impacts des inondations sur les activités industrielles, artisanales et commerciales. Il fait état de la démarche développée également sur le bassin de la Loire moyenne. Le dernier exposé, présenté par Bruno Roudier de la société EDATER, porte sur les effets des inondations sur la fiscalité locale. Il démontre l'importance de cette dimension dans une évaluation *a priori*.

L'ÉTUDE ÉCONOMIQUE DES CRUES DU BASSIN DE L'ORB DE DÉCEMBRE 1995 ET DE JANVIER 1996.

Bernard DARTAU

Conseil général de l'Hérault

1. CONTEXTE

L'Orb est un fleuve côtier localisé entre le Rhône et les Pyrénées. Son bassin versant comprend un secteur montagneux et une plaine littorale assez courte. Les zones inondables sont concentrées à l'aval du bassin.

Durant les mois de décembre 1995 et de janvier 1996, le bassin de l'Orb a connu à deux reprises des épisodes pluvieux intenses. Les précipitations, arrivant sur des sols déjà détrempés, ont entraîné non seulement des débordements de cours d'eau, mais également des phénomènes de ruissellement et d'érosion. Suite à ces deux événements très rapprochés, la quasi-totalité des communes du bassin a fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle (soit 53 communes).

Afin de mieux cerner l'impact économique de telles crues, dont la période de retour a été estimée à cinquante ans, le Conseil Général de l'Hérault a engagé la réalisation d'une étude sur les dommages directs occasionnés par ces événements. Deux bureaux d'étude ont participé à ce travail : SIEE et Bruno Ledoux Consultant.

L'évaluation des impacts économiques des crues de l'Orb n'a pas donné lieu à des enquêtes systématiques auprès des communes sinistrées. L'utilisation des sources d'information centralisant des données thématiques pour l'ensemble des communes a été privilégiée. Par ailleurs, il a été tenté de séparer les dégâts dus aux débordements des cours d'eau et ceux ayant trait aux phénomènes de ruissellement¹⁵⁰. En effet, sur certains secteurs les phénomènes de ruissellement ont parfois causé plus de dégâts que les inondations proprement dites.

Seuls les dommages directs aux équipements publics, aux activités, aux ménages et à l'agriculture ont été évalués au cours de cette étude. Les conséquences des dommages indirects sur l'économie régionale n'ont pas été estimées.

150. Durant l'événement pluvieux du mois de décembre 1995, l'intensité des pluies observées est comprise entre 200 et 400 mm par jour sur deux jours. Pour celui de janvier 1996, l'intensité pluvieuse a atteint de 200 mm sur un jour.

2. LES SOURCES D'INFORMATION EXPLOITÉES ET LES RÉSULTATS OBTENUS

2.1. Les déclarations communales

Un essai d'exploitation des dossiers de demandes d'indemnisation au titre des CATNAT a été tenté. Ce travail très lourd a donné en fait peu de résultats. Les déclarations de dommages fournies par les mairies (53 communes concernées) se sont avérées de qualité très hétérogène et leur contenu est généralement peu précis. Elles ont permis une première vision d'ensemble plutôt qu'un bilan précis par commune. Les informations portées dans ces dossiers concernaient, de manière très inégale : la voirie et les réseaux d'assainissement, les équipements municipaux, les particuliers, les entreprises et plus rarement l'agriculture.

2.2. Les crédits de « secours d'extrême urgence » accordés par le Premier ministre

Cinq cent mille francs ont été débloqués par les services du Premier ministre au titre de crédits de « secours d'extrême urgence ». Sur cette somme, 437 000 francs ont été affectés à 96 familles parmi les plus sinistrées. Le reste a été utilisé essentiellement pour le remboursement des frais engagés par les communes pendant le Plan ORSEC (Organisation des Secours).

2.3. Les dommages causés aux équipements publics

Concernant les équipements publics, les estimations des dégâts ont été faites sur la base des dossiers de demandes de subvention pour réparation ou renouvellement. Il est délicat de distinguer les dépenses de travaux qui auraient dû être faits de toutes les façons et celles qui sont liées directement à l'événement (la catastrophe peut être considérée comme une occasion pour renouveler des équipements vétustes !).

- Les dommages aux infrastructures routières ont été estimés à partir d'enquêtes auprès des services compétents :

- pour les routes nationales, les subdivisions de la direction départementale de l'Équipement (DDE) ;

- pour les routes départementales, le conseil général ;

- pour les voiries communales, les dossiers de demande de réparation ou de renouvellement ont été consultés en préfecture ou au conseil général.

Pour les voiries, les dégâts liés à la crue sont estimés à 22 millions et ceux liés au ruissellement à 78 millions de francs.

- Concernant les réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement, les sources d'information sollicitées ont été les suivantes : le Conseil général, les subdivisions de la direction départementale de l'Équipement (DDE) et de la direction départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF). Seuls les dommages ayant suscité des demandes de subvention ont été pris en compte.

Pour les stations d'épuration (situées la plupart du temps en zone inondable) et les réseaux d'assainissement, les dégâts sont évalués à 13 millions de francs.

• Certains équipements publics ont fait l'objet d'enquête auprès des entreprises gestionnaires. Il s'agit de la Société des autoroutes du Sud de la France, de la Compagnie nationale d'aménagement du Bas-Rhône Languedoc (gestionnaire d'équipements hydrauliques), d'EDF, de France Télécom, de la SNCF et de Voies navigables de France (gestionnaire du canal du Midi). Les dommages totaux se chiffrent à 17 millions de francs. Sur ce total, les dégâts dus aux inondations s'élèvent à 12,5 millions de francs et ceux dus au ruissellement sont estimés à 4,5 millions de francs.

2.4. Les dommages agricoles

L'Orb et ses affluents semblent responsables de la plus grande partie des dégâts causés à l'agriculture. Cependant il n'est guère possible de faire la distinction entre les dommages liés strictement à l'inondation et ceux liés au ruissellement et au glissement de terrain. L'information sur les dommages provient des rapports de la DDAF réalisés au titre des calamités agricoles. Il apparaît que les principaux dommages agricoles correspondent à des destructions de terrain par érosion ou par ravinement. Leur montant est évalué à 20 millions de Francs.

2.5. Les dommages des ménages

En l'absence d'enquêtes directes auprès des personnes sinistrées, les dommages aux particuliers ont constitué ici le volet le plus difficile à cerner. Les compagnies d'assurance sollicitées pour fournir de l'information n'ont pas répondu favorablement à la demande. Ce sont les experts d'assurance qui ont constitué la principale source d'information. Les dégâts totaux aux particuliers ont été estimés, avec une très grande prudence, entre 75 et 80 millions de francs. Le coût moyen des dommages par logement sinistré a été évalué à 30 000 francs.

2.6. Les dommages aux activités

Concernant les dommages aux entreprises, les informations proviennent de la Chambre de commerce et d'industrie. L'exploitation des demandes d'aides financières faites par les entreprises auprès des chambres consulaires constitue un travail important et peu utile dans le cas des évaluations post-catastrophes, car ces organismes gèrent les dossiers dans l'urgence et ne mettent pas en forme l'information pour qu'elle soit exploitable par un évaluateur.

L'exploitation de ces dossiers apporte néanmoins des informations plus qualitatives sur les difficultés rencontrées par les entreprises au lendemain du sinistre pour redémarrer ou sur la part de dommage qui est réellement supportée par les acteurs sinistrés. Dans le cas présent, il est apparu que, malgré l'ampleur des dommages, les entreprises avaient relativement bien « supporté » l'événement compte tenu des aides financières apportées rapidement et des retards de paiement accordés. Aucun déménagement ni faillite d'entreprises n'ont été observés.

Pour les 171 entreprises qui ont été touchées, le montant total des dommages a été estimé à 80 millions de francs.

3. LA VALEUR DU BILAN ET LES PERSPECTIVES D'UTILISATION

Au départ le conseil général a engagé cette étude, avec le soutien du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, sans un objectif très précis. Il considérait

simplement qu'il fallait « profiter » de la catastrophe pour la décrire le plus possible et qu'il convenait de mener des investigations pour ne pas perdre d'information.

À l'issue de cette évaluation, il apparaît que, compte tenu de la grande disparité de précision des informations recueillies, les montants des dommages avancés sont à manipuler avec beaucoup de précaution. Même si le bilan reste imprécis, il constitue un élément d'aide à la décision significatif.

Les résultats de cette étude économique ont permis d'activer la création d'un syndicat mixte (département, communes) pour gérer les crues à l'échelle du bassin de l'Orb. Ils ont été utilisés également pour motiver une prise en charge communale des problèmes liés aux inondations et des éventuels aménagements de rivière à réaliser. Au-delà du Syndicat mixte, on a aujourd'hui, sur le bassin versant de l'Orb, une mosaïque de petits syndicats intercommunaux qui, à leur échelle, prennent part à la politique de lutte contre les inondations.

Ce travail s'inscrit dans le cadre plus global ; celui d'un contrat de rivière engagé sur le bassin de l'Orb, pour lequel des études hydrologiques et hydrauliques ont été menées. Le Syndicat mixte souhaite utiliser ces études pour confirmer l'aléa, améliorer la prévision des crues et définir un programme d'aménagement et de gestion de l'Orb.

Soulignons pour conclure que, dans le cadre d'un schéma de protection, ce n'est pas le critère économique qui est essentiel (impact des crues) mais plutôt l'acceptabilité des travaux (par le contribuable, les financeurs, les personnes touchées) et les possibilités de financement qui sont offertes au maître d'ouvrage.

L'ÉVALUATION DE L'IMPACT ÉCONOMIQUE ET FINANCIER DE LA CATASTROPHE DE NÎMES D'OCTOBRE 1988.

Claire ARNAL et Philippe MASURE

BRGM

1. INTRODUCTION

Les catastrophes naturelles entraînent des préjudices humains et des perturbations, physiques, économiques, sociales, institutionnelles et environnementales difficiles à mesurer. Cette recherche sur la catastrophe de Nîmes (inondation du 3 octobre 1988) avait pour but d'aborder le problème de l'impact économique et financier des catastrophes naturelles, de fixer les grandes lignes d'une approche méthodologique et d'analyser la représentativité des données financières disponibles. Elle n'a pas inclus le coût des secours et les dépenses de prévention qui ont été décidées à la suite de la catastrophe. Elle ne tient pas compte des dommages auxquels on ne peut attribuer une valeur marchande : affectifs, psychologiques, patrimoniaux, etc..

La méthode retenue a consisté à : rechercher et analyser la nature des données pertinentes, comparer et recouper celles-ci en vue d'une estimation globale du coût de la catastrophe, faire une analyse critique des résultats ainsi obtenus et enfin tirer des conclusions pour une approche économique de la vulnérabilité.

Les données économiques et financières ont été distinguées selon les critères suivants :

- les dommages directs : ce sont les biens endommagés ou détruits par la catastrophe. Les coûts directs correspondent au remplacement ou à la réparation des actifs physiques affectés (pertes de biens productifs et non productifs) ;
- les effets indirects : ce sont les pertes de revenus immédiats et futurs des agents économiques, directement imputables à la catastrophe (charges financières de reconstruction, biens et ressources qui ne seront pas produits, services qui ne seront pas fournis). Ces dommages s'expriment exclusivement en termes monétaires (pertes d'exploitation, chômage technique, frais financiers liés à la reconstruction). En contrepartie, la catastrophe peut générer des recettes indirectes (recettes liées à la reconstruction, encaissement des frais financiers par les banques, etc..) qui doivent également être prises en compte ;
- les effets secondaires : ils correspondent aux répercussions de la catastrophe sur l'économie. Pour les collectivités affectées, les indicateurs sont l'inflation, la dégradation des finances publiques, la détérioration de la balance des paiements, la modification du capital investi... Pour les particuliers et les entreprises, le principal paramètre retenu est le taux d'endettement.

Si la comptabilisation des coûts directs et indirects permet de mesurer le poids financier d'une catastrophe, l'analyse des effets secondaires permet d'en évaluer l'impact économique sur les victimes, entreprises et particuliers, ainsi que sur les collectivités.

2. LES DOMMAGES DIRECTS DE LA CATASTROPHE DE NÎMES

On s'accorde à estimer le montant des dommages directs à 4 175 MF. Cette estimation est entachée d'une forte incertitude car elle résulte de déductions effectuées à partir des données disponibles, qui restent très partielles.

La somme des aides recueillies s'élève à 3 216 MF. Cette donnée étant plus souvent identifiée et accessible, elle nécessite cependant d'être validée. Les indemnisations apportées par les assurances s'élèvent à 1 900 MF, l'apport de l'État à 1 050 MF et les dons divers ont été de 266 MF.

Le solde, de l'ordre de 960 MF, est couvert par l'autofinancement supporté par les victimes.

Il ressort de cet exercice que la principale difficulté de l'évaluation du poids financier d'une catastrophe est le recueil des données pertinentes, caractérisées par leur dispersion et leur insuffisance. Les données n'ont pu être fixées qu'après confrontation de nombreuses sources documentaires, leur validation n'a pas toujours été possible.

2.1. Caractérisation des données

Les informations traitées relatives aux dommages directs sont de deux types : données concernant l'estimation des dommages, données concernant les indemnisations et les aides diverses.

Les données relatives aux dommages sont pour la plupart contemporaines de la catastrophe (au plus tard six mois après l'événement). Les données concernant les indemnisations sont largement postérieures et certaines datent même de 1992, soit quatre ans après l'événement.

La qualité des données est très marquée par l'usage que l'on voulait en faire. Les données concernant les dommages avaient essentiellement pour but de fixer l'ampleur de la catastrophe et, pour une part non négligeable, d'attirer l'attention sur les mesures à prendre (effet d'appel ou d'annonce). Elles ne sont donc pas parfaitement fiables. Par contre, les données sur les aides financières apportées ont été généralement comptabilisées de manière explicite par les différents « donateurs ».

L'hétérogénéité de ces données, en termes de précision et de fiabilité, rend difficile la comparaison du coût d'une catastrophe et des financements destinés à la réparation ou à la reconstruction.

2.2. Analyse des données

L'analyse des données relatives aux coûts directs a été réalisée selon trois approches différentes, en considérant : la nature des dommages, les agents économiques sinistrés et l'origine du financement des pertes (bailleurs de fonds et agents économiques sinistrés).

a) Analyse des coûts par nature des dommages

L'évaluation effectuée ne porte que sur 56 % du montant global estimé (4 175 MF) car les données récoltées sont incomplètes. Les dommages se répartissent en trois catégories : bâtiments (13 % du total), voiries et réseaux divers (18 % du total), matériel, mobilier et agencements industriels (18 % du total).

b) Analyse des coûts par agents économiques sinistrés

Elle s'est révélée également très difficile, ce qui a conduit à croiser les informations concernant les dommages subis et les indemnisations. Les montants de dommages validés par la méthode des croisements ne représentent que 42 % du montant total des dommages estimés.

L'ensemble « commerçants, artisans et industriels » représente la majorité des agents économiques sinistrés avec 38 % des dommages estimés (1 600 MF) ; viennent ensuite les particuliers avec 28 %, les municipalités avec 14 % et l'État avec 10 %.

La précision des données varie avec les acteurs. Les dommages causés aux biens publics (mairie, État, établissements publics) sont bien identifiés. Ils ne le sont que partiellement pour les entreprises et les particuliers car les sources d'information relatives aux biens privés sont très dispersées et hétérogènes.

Pour les entreprises, seuls 48 % des dommages estimés sont clairement identifiés dans les sources détaillées ; pour les particuliers ce taux est de 21 %.

c) Analyse de l'origine et de la ventilation des financements

Les principaux bailleurs de fonds (État, assurances et collectivités) ont une comptabilité qui leur permet de savoir ce que leur a coûté un sinistre. De ce fait, le financement des réparations des dommages est bien connu. Toutefois, les agents économiques bénéficiaires ne disposent pas toujours d'une comptabilité leur permettant de faire apparaître les aides reçues.

L'État a dépensé 1 057 MF (25 % des coûts directs) dont 644 MF d'indemnisations et 413 MF de travaux et d'investissements pour les établissements publics et lui-même. Les assurances ont remboursé 1 865 MF (45 % des dommages directs) au titre de l'indemnisation des catastrophes naturelles. Le complément, soit 1 253 MF, est financé par quelques dons et aides exceptionnelles (294 MF) ou par l'autofinancement des victimes (959 MF soit 23 %).

3. LES EFFETS INDIRECTS

Les effets indirects concernent à la fois les pertes économiques qui sont imputables à la catastrophe, mais aussi les gains d'activités nouvelles qu'elle génère pour la gestion de la crise ou la reconstruction.

Afin d'analyser les transferts qui s'effectuent entre agents économiques et zones géographiques, on a distingué, d'une part, les principaux agents économiques (les agriculteurs, les particuliers, les commerçants et artisans, les industriels, les collectivités territoriales et l'État) et, d'autre part, les zones géographiques et économiques de référence. Ces dernières sont divisées en trois catégories :

- la zone interne : elle correspond au territoire directement touché par la catastrophe où s'observent les dommages directs ;

– la zone d'influence : territoire périphérique concerné économiquement par les retombées de la catastrophe, où sont situés les acteurs participant à la reconstruction, les acteurs économiques qui se substituent aux sinistrés, mais aussi les entreprises dépendantes des producteurs sinistrés ;

– la zone externe : peu concernée par l'incidence économique de la catastrophe étudiée. Elle est mise à contribution dans les opérations financières concernant l'indemnisation et la reconstruction (banques et assurances).

On a distingué également deux types de pertes : les pertes de production non compensables et les pertes de production compensables. Les premières sont supportées durant ou immédiatement après la catastrophe. Elles correspondent aux biens ou aux services qui ne peuvent être produits ni consommés du fait de l'événement (par exemple, le pain qui n'aura pas été produit au moment de l'inondation par un boulanger sinistré, ne sera pas fourni par un autre boulanger car il ne pourra être acheminé). En revanche, les secondes sont le reflet d'un transfert de production de la zone sinistrée vers la zone d'influence. En reprenant l'exemple précédent, le pain non produit par le boulanger sinistré sera fabriqué et distribué par un boulanger voisin à partir d'un certain temps de réaction.

Les pertes non compensables dépendent de la capacité à résoudre la crise. Elles sont d'autant plus élevées que la période de crise et de récupération est longue. Les pertes compensées constituent un transfert de richesse de la zone sinistrée vers la zone d'influence. La préparation des collectivités à la gestion de crise peut donc limiter de manière sensible le poids financier d'une catastrophe et son impact économique.

3.1. Caractérisation des données

Le montant des coûts indirects est très difficile à appréhender et on n'a pu que l'estimer dans cette recherche. Dans le cas de Nîmes, l'essentiel des coûts indirects correspond aux frais financiers liés à l'autofinancement de chacun des agents économiques sinistrés auxquels il faut ajouter :

– pour les particuliers, les pertes dues au chômage technique et au différentiel de loyer lié au relogement ;

– pour les artisans, commerçants et industriels, la baisse de productivité, les indemnités de chômage payées aux salariés et les frais de trésorerie dus au délai de paiement des indemnités ;

– pour les collectivités, les diminutions d'impôts liées aux pertes de revenus des sinistrés.

Le montant des gains indirects est tout aussi difficile à estimer. Ces gains correspondent aux bénéfices ou à la valeur ajoutée réalisés sur l'activité économique induite par la catastrophe (substitution, reconstruction). Les entreprises situées dans la zone d'influence bénéficient de cette situation.

3.2. Analyse des données

Le montant total des coûts indirects a été estimé à 1 905 MF (ce qui correspond à 46 % des coûts directs), dont 1 363 MF dans la zone interne, 5 MF dans la zone d'influence et 537 MF dans la zone externe.

À partir de ces estimations, nous avons cherché à déterminer le mouvement des flux financiers liés à la catastrophe. Dans chaque zone, on observe d'une part, des décaissements et

d'autre part, des encaissements dus à l'activité économique induite par la reconstruction. Les décaissements correspondent au coût total du sinistre, soit à la somme des dommages directs et indirects (c'est-à-dire 6 080 MF). Cette somme se décompose en pertes non compensables pour un montant de 221 MF dans la zone sinistrée et en encaissements générant une activité économique pour 5 859 MF.

Les décaissements et encaissements par zone sont indiqués dans le tableau récapitulatif ci-dessous (les montants sont exprimés en millions de francs).

Rubriques	Zone sinistrée	Zone d'influence	Zone externe	Total
Financement externe			3 216	3 216
Autofinancement	959			959
Dommages directs	4 175			4 175
Dommages indirects	1 363	5	537	1 905
Décaissements totaux	2 322	5	3 753	6 080
Encaissements	26	1 932	3 901	5 859
Solde	- 2 296	1 927	148	- 221

Les décaissements et encaissements observés dans les différentes zones traduisent un appauvrissement des sinistrés et un enrichissement des agents économiques qui se substituent à l'activité sinistrée ou qui participent à l'activité de reconstruction. L'appauvrissement financier est strictement égal aux décaissements. L'enrichissement s'apprécie différemment selon qu'il s'agit d'une région (zone économique), où il s'exprime en valeur ajoutée, ou d'un agent économique, où il s'exprime en bénéfices réalisés. C'est ainsi que dans la zone sinistrée, on a découvert que les entreprises et les collectivités territoriales ont financé 2 024 MF, soit l'essentiel des décaissements. L'État et les assurances se sont révélés, dans la zone externe, les agents ayant supporté le plus fort décaissement (3 459 MF). Mais il s'agit, pour les assurances de la restitution de fonds collectés préalablement.

Les entreprises et les banques sont les agents économiques qui ont encaissé l'essentiel des flux financiers dans la zone d'influence (1 920 MF) et dans la zone externe (3 901 MF). À ces encaissements correspondent des bénéfices évalués arbitrairement à 300 MF dans la zone d'influence et à 600 MF dans la zone externe. Les valeurs ajoutées sont de 990 MF dans la zone d'influence et de 2 000 MF dans la zone externe.

Il ressort de cette analyse qu'il y a eu :

- un décaissement global des particuliers relativement faible (144 MF sur 2 300 MF), grâce aux indemnisations et aides diverses reçues (ceci ne doit pas cacher qu'ils ont cependant supporté des taux d'endettement élevés) ;
- un appauvrissement des collectivités territoriales ;
- un enrichissement global du secteur des entreprises, avec cependant appauvrissement dans la zone sinistrée et enrichissement dans sa périphérie ;
- des décaissements et encaissements de l'État, des banques et assurances sans réelle représentativité économique à l'échelle de leur zone de référence qui est le pays.

4. LES INDICATEURS FINANCIERS DES EFFETS ÉCONOMIQUES

L'étude des répercussions d'une catastrophe sur l'économie des personnes privées, des entreprises, des collectivités ou encore d'un pays, ne peut s'effectuer directement. En revanche, il est possible de les mesurer au travers d'indicateurs financiers caractéristiques des agents économiques ou des zones géographiques affectées.

Concernant les agents économiques, le principal indicateur est le **taux d'endettement**. Celui-ci correspond au rapport entre les dettes contractées pour financer la reconstruction des biens détruits et le revenu annuel. On peut également ajouter les frais connexes tels que frais financiers, le différentiel de loyer, etc. Ce ratio est à rapprocher de la **capacité d'endettement** des agents économiques étudiés. Si le taux d'endettement lui est inférieur, la reconstruction peut s'effectuer et les agents économiques disposent encore d'une certaine capacité d'investissement. S'il lui est égal, la reconstruction peut s'effectuer mais il n'y a pas de possibilité d'investissement dans d'autres secteurs. S'il est supérieur, la reconstruction ne sera que partielle ou impossible.

La principale observation qui peut être faite sur la catastrophe de Nîmes, est que l'autofinancement moyen supporté par les agents économiques est très important (environ 25 %). Rapporté à leurs revenus annuels, il est de nature à paralyser les capacités d'investissement des agents considérés pendant plusieurs années.

Dans l'hypothèse d'un emprunt sur cinq ans, le taux d'endettement est de l'ordre de :

- 12% pour les particuliers (cas d'une famille dont les revenus sont de 120 kF/an) ;
- 7 % du chiffre d'affaires annuel pour les artisans (commerçants et industriels) ;
- 7 % du budget annuel (1 500 MF) pour la ville de Nîmes ;
- pour l'État, il est négligeable, ainsi que pour le conseil général et le conseil régional.

La modification de la capacité d'endettement des agents économiques ne caractérise ni un appauvrissement ni un enrichissement. Il faut connaître l'état ou l'âge des biens détruits et remplacés pour apprécier l'impact économique réel de la catastrophe. L'appauvrissement sera d'autant plus grand que des investissements récents ont été détruits. Au contraire, le remplacement d'investissements anciens évitera la consommation de financements destinés à leur entretien.

Afin de déterminer l'impact économique d'une catastrophe, il convient donc de connaître la valeur vénale du patrimoine détruit et la répartition zonale des flux financiers. Cette remarque met en évidence que des indicateurs tels que le PNB ou le PIB sont très insuffisants pour exprimer l'incidence d'une catastrophe car ils ne font que traduire l'activité de reconstruction et non la disparition de biens et leur remplacement, pas plus que l'appauvrissement d'une zone géographique au profit d'une autre.

5. ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ D'UNE COLLECTIVITÉ À TRAVERS LES IMPACTS ÉCONOMIQUES ET FINANCIERS D'UNE CATASTROPHE

L'étude du cas de Nîmes a permis de mettre en évidence que les biens exposés appartenant à une collectivité peuvent être classés selon leur sensibilité par rapport aux coûts directs et indirects :

- **Éléments à coûts directs et indirects significatifs** : entreprises à valeur d'actifs élevée employant un nombreux personnel à l'échelle de la zone économique considérée, et à production stratégique, au plan national ou international (l'entreprise Michelin est un bon exemple pour la ville de Clermont-Ferrand).

- **Éléments à coûts indirects prédominants** : voies de communication dont la destruction est susceptible de ralentir significativement l'économie de la zone considérée (ponts, routes...), réseaux d'alimentation en eau, en énergie, etc.

- **Éléments à coûts directs prédominants** : centres sociaux, entreprises à valeur d'actifs élevée n'employant qu'un nombre de personnel peu important au regard de la zone économique considérée, à production non stratégique au plan national ou international.

- **Éléments à valeur stratégique élevée pendant la crise ou contenu humain élevé et à valeur économique secondaire** (hôpitaux, écoles, centres de télécommunication, centres de secours...)

Ce classement doit permettre l'analyse de la vulnérabilité économique des collectivités. En effet, l'analyse a priori de la valeur des biens exposés, exprimée en terme de valeur directe, de valeur d'activité (montant potentiel des coûts indirects liés à la cessation d'activité d'un centre de production) et de valeur fonctionnelle (montant potentiel des dommages indirects liés à l'endommagement d'un organe fonctionnel tel que conduite d'eau, transport etc.), met en évidence les « enjeux », biens à fort contenu financier et/ou économique. L'analyse de la sensibilité aux aléas de ces enjeux permet de déterminer la vulnérabilité globale de la collectivité.

Il est clair que l'analyse décrite ci-dessus en termes financiers ou économiques peut et doit être pratiquée selon des critères humains, sociaux, patrimoniaux...

LA MÉTHODE INONDABILITÉ

Nicolas GENDREAU

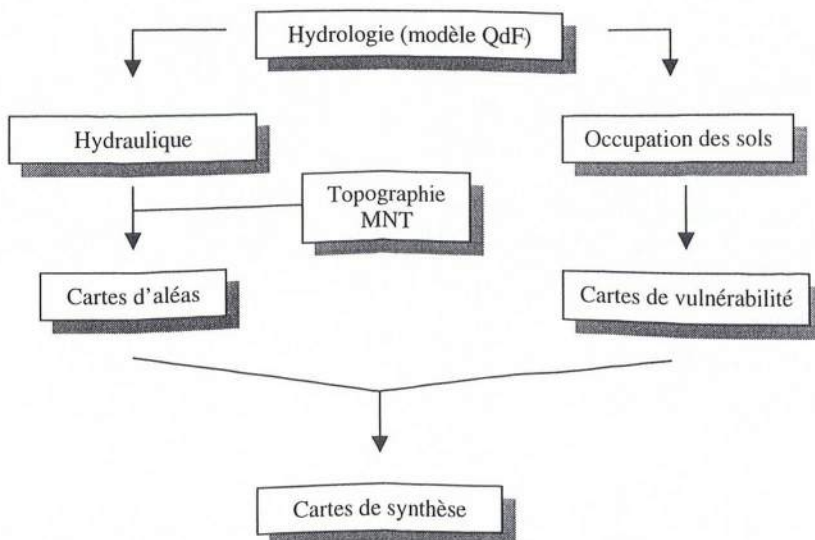
CEMAGREF de Lyon – Unité de recherche hydrologie-hydraulique

1. PRINCIPES DE LA MÉTHODE

La méthode Inondabilité est une approche de prévention qui s'intéresse à des décisions en matière d'aménagement avant la survenance des événements (on ne s'intéresse pas à ce qui se passe en période de crise, en cas d'apparition d'une crue). Il s'agit d'une méthode de gestion des bassins versants qui a pour but de donner des éléments d'aide à la décision aux différents acteurs pour qu'ils aménagent le territoire. Deux démarches sont menées en parallèle, pour *in fine* définir s'il y a un risque ou pas, en fonction du niveau de chacun des paramètres :

- une démarche classique d'ingénieur qui va aboutir à des cartes d'inondation (cartes d'aléa : étendues des crues pour différentes périodes de retour) ;
- une démarche de quantification de la vulnérabilité à partir des mêmes paramètres que pour l'aléa.

Le schéma suivant présente la méthode Inondabilité dans ses grands principes.



À travers la méthode Inondabilité, l'analyse de l'aléa vise à une quantification et une représentation spatiale de cette composante du risque à l'échelle du bassin versant. Les différentes caractéristiques de la crue, permettant d'évaluer l'aléa, sont ramenées à une variable unique exprimée en période de retour de la première crue inondante (baptisée TAL¹⁵¹) et mesurée en années.

L'analyse de la vulnérabilité poursuit des objectifs identiques de représentation spatialisée de cette composante du risque. Elle correspond à une définition des besoins de protection ou de risque maximal acceptable, en relation avec le type d'occupation des sols. Cette occupation des sols est traduite en terme de vulnérabilité. Les objectifs de protection sont déterminés à partir d'une enquête locale qui prend en compte les spécificités des demandes. Quelques valeurs guides peuvent néanmoins être retenues, comme le montre le tableau ci-après.

Valeurs guides d'objectifs de protection en zone rurale et en zone urbaine¹⁵².

	Saison au cours de laquelle se produit l'inondation	Durée de submersion maximale acceptable	Hauteur de submersion maximale acceptable	Fréquence de submersion maximale acceptable	Vitesse des eaux maximale acceptable
Maraîchage, Légumes en champs, Horticulture	Printemps	instant à 1 jour		5 ans	0,25 m/s
	Été - automne	1 à 3 jours		5 ans	0,25 m/s
Vergers	Printemps - été	1 jour	1 mètre	10 ans	0,5 m/s
	Hiver	1 mois		1 an	
Serres	Toute l'année	1 à 3 jours	1 mètre	5 ans	
Prairies permanentes	Printemps	10 jours		1 an	
	Automne - hiver	1 mois		1 an	
Pavillon résidentiel sans étage		instant	0,5 mètre	100 ans	0,5 m/s
Industries		instant	30 à 60 cm	1 à 100 ans	
Commerces		instant	30 à 60 cm	5 ans	
Camping	Printemps - été	instant	50 cm	10 ans	0,5 m/s
Terrain de sport		1 jour		1 an	

À l'issue d'une concertation avec les acteurs concernés d'un même bassin versant (pour une prise en compte des attentes collectives et individuelles), l'objectif de protection de chaque parcelle est défini à l'aide d'un triplet :

- période de retour : T.
- durée maximale de submersion : d.
- profondeur d'eau maximale : p

151. T pour période de retour et AL pour aléa.

152. Gilard O *et al.*, « Guide pratique de la méthode Inondabilité », rapport du CEMAGREF pour les Agences de l'eau et le ministère de l'Environnement., Étude inter-Agences n° 60, 1998, 158 p.

Pour chaque parcelle, ce triplet est ensuite transformé par équivalence hydrologique en une variable unique (baptisée TOP¹⁵³), qui correspond à la période de retour équivalente à l'objectif de protection retenu.

On dispose ainsi pour chaque parcelle d'une estimation de l'aléa et de la vulnérabilité en des termes comparables : une période de retour. Le niveau de risque est alors défini, le long d'un cours d'eau, en comparant parcelle par parcelle la quantification de l'aléa (TAL) et celle de la vulnérabilité (TOP). Il est traduit à l'aide de cartes comportant des pastilles de couleur :

- une parcelle telle que son objectif de protection (TOP) est inférieur à son niveau d'aléa (TAL) sera considérée comme en sécurité, voire même disposant d'une marge de sécurité négociable estimée par l'écart TAL-TOP. Elle est en situation de « crédit de protection » et représentée dans la cartographie par une pastille verte ;
- une parcelle telle que son objectif de protection (TOP) est supérieur à son niveau d'aléa (TAL) sera considérée comme à risque. L'intensité du risque sera estimée par l'écart entre TOP-TAL. La parcelle sera en situation de « déficit de protection » et représentée dans la cartographie par une pastille rouge ;
- le cas des parcelles non inondées par la plus forte crue connue ou simulée est traité séparément et se traduit par l'attribution de pastilles jaunes.

2. UN RETOUR SUR LES DÉMARCHES ÉCONOMIQUES CLASSIQUES

Les éléments suivants ont motivé la démarche suivie par la méthode Inondabilité. Tout d'abord, on estime qu'il y a beaucoup d'incertitudes sur l'évaluation des dommages. Ensuite, on constate que l'on a du mal à apprécier les effets indirects des inondations. Enfin, on ne s'intéresse jamais à la plus-value retirée par les individus qui sont installés en zone inondable (terrain moins cher, zone plate...). En outre lorsque l'on réalise une analyse coût-avantage classique, on compare des coûts de dégâts résiduels par rapport à des coûts d'aménagement en fonction de la période de retour choisie comme référence.

On trouve alors qu'il y a un optimum théorique qui permet de déterminer l'objectif de protection¹⁵⁴. C'est ce que montre le schéma de la page suivante. La détermination d'un optimum économique global conduit à une modification de l'occupation des sols dans les zones inondables. De fait, quelques années après, cet optimum se décale vers la droite. Ce qui rend nécessaire de nouveaux travaux de protection.

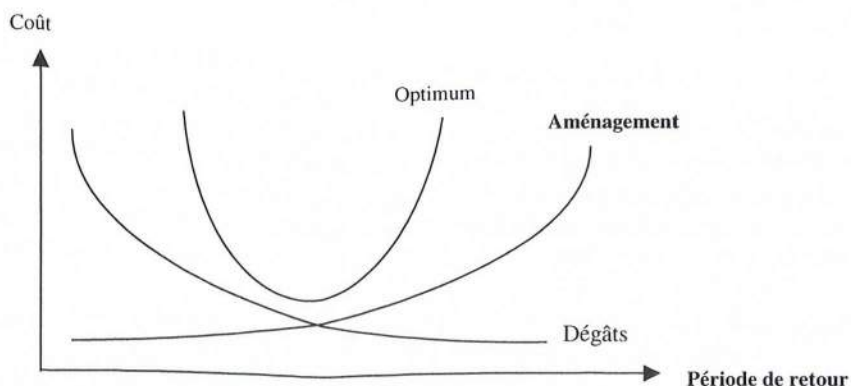
Pour contourner le problème, plutôt que de travailler dans le champ de l'économie, la méthode Inondabilité cherche à évaluer la sensibilité de l'occupation du sol par des paramètres hydrologiques.

De façon pratique, on va estimer :

- qu'une zone urbaine peut tolérer une inondation en moyenne une fois tous les cent ans ;
- qu'une zone d'habitat dispersé tolère une inondation une fois tous les dix ans à cinquante ans ;
- qu'une zone agricole peut tolérer des inondations plus fréquentes.

153. T pour période de retour et OP pour objectif de protection.

154. Des travaux hollandais, réalisés avec des approches de ce type, ont conduit à définir des objectifs de protection correspondant à des périodes de retour de 12,5 millions d'années ($p = 8.10^{-6}$).



La détermination d'un optimum théorique de protection

3. ATOUTS ET INCONVÉNIENTS DE LA DÉMARCHE

La méthode Inondabilité est opérationnelle, elle a été testée plusieurs fois sur le terrain. Le résultat final est simple : des cartes de couleur, différents scénarios (disparition ou apparition de pastilles) pour une réelle stratégie d'aménagement. Il apparaît que les acteurs au niveau local adhèrent à ce type de démarche et arrivent à exprimer leur propre vulnérabilité. Avec les acteurs qui participent à la démarche, on peut mettre en place un jeu de négociation qui aboutit à des transferts de volumes d'eau d'un secteur à un autre et qui revient à sur-inonder certaines zones pour en protéger d'autres. Se met ainsi en place une sorte de « marché du risque », car il devient possible d'échanger des pastilles vertes contre des pastilles rouges. Cependant, les potentialités réelles de la méthode Inondabilité ne doivent pas faire oublier ces limites.

- Première limite : la démarche ne comporte pas de volet économique. Des pistes de recherche sur l'analyse coût-avantage et plus particulièrement sur l'analyse contingente sont actuellement développées pour apporter des éléments de réponse économique dans l'aide au choix de scénarios. L'analyse contingente paraît intéressante car l'idée de la démarche est bien de supprimer des pastilles rouges pour mettre à la place des pastilles vertes. Pour que ce système soit mis en place, il faut évaluer ce que sont prêts à recevoir les individus (en terme de compensation monétaire éventuellement) pour accepter d'être sur-inondé. L'analyse contingente doit aider à évaluer les flux monétaires à mettre en place.

- Seconde limite : on travaille sur les concepts de période de retour. Mais cette notion est-elle bien comprise des décideurs ? Lorsque l'on affiche une période de retour centennale, le décideur croit-il qu'il ne pas être inondé avant 100 ans ou a-t-il conscience qu'il a une probabilité d'être inondé tous les ans de 0,01. Il y a là un problème de perception des probabilités qui peut être un handicap dans la méthode.

- Troisième limite : protéger une zone au détriment d'une autre nécessite de proposer des mesures compensatoires. Quelles mesures de compensation mettre en place (pour des sur-inondations) ? Comment peuvent s'intégrer les assurances dans ce type de mesure ? Sur quelles bases définir des compensations financières pour que tout le monde s'y retrouve ?

4. CONCLUSION

La méthode Inondabilité permet d'apporter des éléments de réponse opérationnels pour une gestion équilibrée des bassins versants, en prenant notamment en compte de façon explicite une mesure du risque basée sur un croisement de l'aléa et de la vulnérabilité. Il est néanmoins nécessaire de conforter la notion de vulnérabilité et de lui donner de la consistance économique pour la rendre, dans la mesure du possible, plus objective. Des travaux de recherche en liaison avec des économistes sont en cours dans ce sens. Ces travaux ne considèrent pas la vulnérabilité comme uniquement liée aux dommages, mais tentent de prendre en compte aussi les bénéfices de l'occupation du sol en zone inondable par des approches innovantes.

L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DES OUVRAGES EXISTANTS ET FUTURS SUR LES DOMMAGES LIÉS AUX CRUES DE LA SEINE ET DE LA MARNE EN RÉGION ILE-DE-FRANCE

Jean-Louis RIZZOLI

Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine

1. LE BASSIN DE LA SEINE ET L'AGGLOMÉRATION PARISIENNE

La Seine constitue le plus tranquille des grands fleuves français. À Paris, les valeurs extrêmes des débits naturels de la Seine, si ces mots ont encore un sens après plusieurs siècles d'aménagement, peuvent être évaluées à 2 500 m³/s pour les crues importantes et à 25 m³/s lors des étiages les plus marqués. Le débit moyen est quant à lui de l'ordre de 250 m³/s.

La répétition d'inondations relativement lentes, mais dont l'ampleur peut être importante, a rendu nécessaire l'écêtement des crues les plus fortes menaçant les lieux habités et les centres vitaux de l'agglomération parisienne.

Les crues catastrophiques de 1910 et de 1924, en particulier, ont conduit le département de la Seine à entreprendre un important programme de construction de barrages-réservoirs (en 1926, il avait d'ailleurs été décidé de réaliser 1 milliard de m³ de stockage). Afin de poursuivre la mission de l'ex-département de la Seine, l'Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine (IIBRBS) est créée en 1969. Elle regroupe les départements de Paris, des Hauts-de-Seine, de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne. L'institution est ainsi chargée de construire et d'exploiter les lacs-réservoirs en vue d'assurer la protection contre les inondations et la régulation des débits d'étiage des rivières sur le territoire des collectivités qui la composent.

2. LE POTENTIEL DE L'INSTITUTION

L'Institution possède quatre lacs-réservoirs, localisés sur des terrains imperméables (soit sur les massifs granitiques du Morvan, soit sur les argiles du Gault de la Champagne humide) :

- le lac-réservoir de Pannecière-Chaumard est un ouvrage en béton, à voûtes multiples, établi dans la haute vallée de l'Yonne, d'une capacité de 80 millions de m³ ;
- le lac-réservoir Seine, ou lac de la forêt d'Orient, constitué de digues en terre, est établi en dérivation de la Seine, d'une capacité de 205 millions de m³ ;

– le lac-réservoir Marne, ou lac du Der-Chantecoq, délimité aussi par des digues en terre, est établi en dérivation de la Marne, d'une capacité de 350 millions de m³ ;

le lac-réservoir Aube, constitué par deux digues en terre et implanté comme les deux précédents en Champagne humide, est réalisé en dérivation de l'Aube, d'une capacité de 170 millions de m³.

C'est ainsi environ 830 millions de m³ qui peuvent être stockés dans ces ouvrages, des capacités d'environ 800 millions de m³ pouvant être mobilisables pour le soutien des étiages et de 820 millions de m³ pour l'écêtement des crues.

3. LA GENÈSE DE L'ÉTUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE

La crue décennale de janvier 1982 a relancé le débat sur l'opportunité de création de nouveaux ouvrages de régulation. À la demande du préfet Vochel, toutes les possibilités d'aménagement devaient être étudiées pour réduire la vulnérabilité de la région Ile-de-France y compris l'amélioration de l'annonce de crue.

L'IIBRBS a, dans cette perspective, étudié un certain nombre de projets tels que la création de barrages sur l'Yonne, la création d'une zone d'expansion des crues dans le secteur de la Bassée (sur la Seine en limite de l'Ile-de-France) et le projet de lac-réservoir des Côtes de Champagne.

L'étude des projets de l'Yonne a démontré qu'il était nécessaire de se fixer des objectifs de protection à l'aval pour améliorer la gestion des ouvrages. L'Institution a alors décidé d'avoir un objectif quantifiable en terme monétaire et de lancer une étude économique des dommages dus aux inondations.

4. LE DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE SOCIO-ÉCONOMIQUE

Deux années (1990-1992) furent nécessaires pour élaborer conjointement le programme d'étude. Différents partenaires furent réunis et associés à la démarche : l'Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN), le ministère de l'Environnement, la direction régionale de l'Environnement d'Ile-de-France (DIREN) et le conseil régional d'Ile-de-France (CRIF). Le programme défini à l'époque prévoyait :

- de quantifier pour l'urbanisation actuelle l'impact économique des crues historiques de 1910, 1955 et 1970 ;
- d'apprécier l'efficacité hydraulique des lacs-réservoirs ;
- d'afficher les risques d'inondation sur une cartographie et de mesurer les gains des scénarii d'aménagement.

• La première phase d'étude s'est étalée de mai 1992 à août 1994. Elle a mobilisé plusieurs acteurs : IIBRBS, AESN, DIREN Ile-de-France, ministère de l'Environnement, CRIF et CERGRENE. L'analyse empirique des désordres et dommages, résultant des différentes crues de la Seine et de la Marne dans l'agglomération continue d'Ile-de-France, a permis :

d'identifier les sources de données et de les collecter ;

de créer un modèle numérique de terrain et de le croiser avec des informations concernant l'occupation des sols.

Cette première phase a également permis de se faire une idée assez précise des difficultés humaines, économiques et sociales qui se présenteraient en cas d'une inondation qui aurait la même ligne d'eau que 1910, 1955 et 1970 dans les conditions économiques actuelles et sans l'action des lacs-réservoirs. Les résultats ont souligné l'importance des protections locales et permis de dégager les ordres de grandeur des différents dommages directs et indirects dus aux crues. En particulier, le coût d'une crue « centennale » a été évalué à 53 milliards de francs. Il est très important et a été multiplié par 6 environ (en valeur actuelle) depuis 1910, selon les estimations que nous connaissons de cette catastrophe. La vulnérabilité de la région parisienne a donc été considérablement augmentée du fait de son urbanisation.

Les résultats de cette première phase d'étude ont été diffusés largement pour faire réagir les services concernés et obtenir des données supplémentaires validées.

Dommages (en milliards de francs) dus à une crue type de la Seine entre Melun (77) et Mantes (78) et de la Marne à l'aval de Meaux (77), sans l'action des barrages réservoirs.

		1910	1955	1970
Dommages directs	Logements	14,4	3,5	1,2
	Activités	13,4	4,4	2,1
	Équipements et divers	5,5	2,0	0,6
	TOTAL des dommages directs	33,3	9,9	3,9
Dommages indirects	Pertes d'exploitation et divers	8	2,1	1,9
	Intervention des services de secours	0,25	0,1	0,05
	Électricité	4,2	2,5	1,00
	Distribution de l'eau	0,55		
	Transports routiers	2	0,2	0,05
	Métro	3,15		
	RER	0,45		
	SNCF	0,5	0,3	
	TOTAL des dommages indirects	19,1	5,2	3
TOTAL des dommages directs et indirects		52,4	15,1	6,9

Il restait indispensable de valoriser des scénarii d'aménagement par une approche économique. Dans ces conditions, pour la seconde phase d'étude, il a été décidé de lancer un marché de définition en 1995. Il permit de définir les moyens pour approcher l'évaluation des impacts des ouvrages existants et futurs avec une précision à l'échelle du département. Il s'agissait de développer les volets hydrologique et hydraulique sur le bassin amont et sa région, d'approfondir le volet économique (activités, équipements, réseaux), de faire un inventaire qualitatif et quantitatif des protections locales, de réaliser une modélisation hydraulique et d'élaborer un outil d'évaluation des dommages pour différents scénarii de crues et d'aménagements. Cet outil devait en outre gérer, par l'intermédiaire d'un système d'information géographique (SIG), les modèles hydraulique et économique, le modèle numérique de terrain (MNT) et les bases de données.

• La seconde phase d'étude se déroula de mai 1996 à décembre 1998. Les acteurs étaient les suivants : IIBRBS, AESN, DIREN Ile-de-France, ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, CRIF et CERGRENE. Parallèlement fut mis en place un comité de suivi, composé du service de navigation de la Seine, du Port autonome de Paris, de la direction ré-

gionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement d'Ile-de-France (DRIRE), de l'Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France (IAURIF), de la direction régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (DREIF) et de la préfecture de police (secrétariat général de la zone de défense). L'aire d'étude a été portée aux limites administratives de la région.

Conçue comme un approfondissement de l'étape précédente, cette seconde phase d'étude était articulée autour de trois volets :

- l'élaboration d'un modèle hydraulique capable de restituer le plus finement possible, les niveaux d'inondation associés à différents scénarii d'aménagement ;
- des compléments d'analyse économique pour affiner la caractérisation des désordres et la quantification des dommages ;
- la mise à disposition d'un outil informatique d'évaluation des dommages liés aux crues de la Seine, de la Marne et de l'Oise, en région Ile-de-France, suivant différentes configurations d'aménagements actuels et futurs.

Cet outil, baptisé ALPHEE, couple le modèle hydraulique utilisé comme moteur interne de calcul et le modèle d'évaluation socio-économique des dommages.

5. BILAN

Les études réalisées entre 1992 et 1998 sont relativement lourdes et nécessitent un partenariat et un engagement de la part de différents acteurs sur la durée.

Coût de ces études (en francs courants hors taxes)

	Volet hydraulique	Volet SIG	Volet économique	Coût total
Première phase (1992-1994)	437 000	805 000	682 000	1 924 000
Seconde phase (1996-1998)	2 280 000	1 725 000	1 008 000	5 013 000

Cette étude permet de définir des objectifs cohérents de protection en région Ile-de-France et d'avoir une vision globale dans la mise en œuvre des moyens capables de les atteindre. Elle s'inscrit donc dans le cadre général d'actions de protection et de prévention que l'institution souhaite développer.

Les principaux enseignements résident dans l'appréciation des niveaux de risques. Cette étude a en effet permis de mettre en évidence la montée en puissance des dommages en fonction des crues. Elle a également démontré l'importance des effets de seuils, mis en exergue les points faibles de protection, souligné l'efficacité des protections linéaires et les conséquences d'une rupture. Enfin, elle a permis de mieux définir l'impact des lacs-réservoirs existants.

L'outil, dénommé « ALPHEE », qui fait partie de cette étude, permet différentes applications. Des scénarii d'aménagement peuvent être comparés. Le suivi de l'évolution d'une crue en temps réel est rendu possible. Ainsi, des scénarii d'aide pour la protection civile peuvent être présentés. Cet outil constitue en outre un moyen de sensibilisation aux risques de crues.

Le tableau suivant présente les impacts socio-économiques des scénarii testés par rapport au coût des enjeux surfaciques de la crue de 1910 en l'absence de barrages-réservoirs (estimés à 44 000 MF). Les gains sont exprimés en millions de francs.

Scénarii	Gain par rapport à la crue de 1910	Gain moyen annuel	Observations
Avec les lacs-réservoirs actuels	- 26 000	- 1 000	
Lac des Côtes de Champagne	- 2 700	- 140	
Utilisation du champ d'expansion de la Bassée	- 3 500	- 190	
Barrage de l'Yonne	- 8 300	- 310	Études détaillées à entre- prendre.
Suppression du champ d'expansion de la Bassée (10 000 ha)	+ 5 000	+ 160	Gains basés sur une gestion théorique optimiste.

L'OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION DÉVELOPPÉ DANS LE CADRE DE L'ÉTUDE SEINE

Laurent GAZULL
STRATEGIS

Cette communication vient en complément de l'intervention de Jean-Louis Rizzoli concernant une présentation générale de l'étude des impacts des ouvrages existants et futurs de l'IIBRBS¹⁵⁵ sur les dommages liés aux inondations de la Seine et de la Marne en région Ile-de-France. Elle présente l'outil hydraulique et économique, mis en place à cette occasion.

1. POURQUOI UN OUTIL INFORMATIQUE ?

Deux raisons principales justifient le choix d'élaborer un outil informatique permettant de définir des objectifs cohérents de protection contre les crues de la région parisienne et les moyens à mettre en œuvre pour les atteindre : l'ampleur de la zone d'étude considérée et le nombre de scénarios à étudier.

- L'ampleur de la zone d'étude et donc de la masse d'information à prendre en considération a orienté naturellement l'équipe vers la mise en place d'une base de données géographique recensant l'ensemble des informations à traiter.

La zone d'étude se traduit en effet par un nombre important d'entités géographiques. Les inondations de la Seine, de la Marne et de l'Oise concernent 300 communes, ce qui représente environ 10 000 îlots INSEE¹⁵⁶ touchés, environ 30 000 zones d'occupation des sols différentes (en regard du mode d'occupation des sols de l'IAURIF¹⁵⁷), 800 tronçons routiers d'intérêt majeur susceptibles d'être coupés, 500 équipements sensibles (publics et privés) qui peuvent paralyser l'économie de la zone (transformateurs EDF, stations d'épuration, stations d'alimentation en eau potable...), 2 500 casiers hydrauliques sur environ 250 km de linéaire de rivière à étudier.

Par ailleurs, de nombreuses informations sont associées à ces entités géographiques. Elles sont d'ordre hydrologique-hydraulique (pour les casiers, avec des échanges possibles entre casiers et avec le lit mineur). Elles correspondent aussi à des cotes d'alertes (utilisées pour décider de stopper le fonctionnement de certains réseaux) ou encore à des nombres d'abonnés (pour le cas des équipements).

155. Institution interdépartementale des barrages réservoirs de bassin de la Seine.

156. Institut national de la statistique et des études économiques.

157. Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France.

- Le nombre de scénarios à étudier rendait nécessaire l'utilisation d'un outil informatique. Une dizaine de grandes options d'aménagement étaient possibles et une dizaine de crues étaient intéressantes de prendre en considération, soit une centaine de simulations hydrauliques à valoriser afin de comparer les résultats en terme de dommages évités.

2. LES FONCTIONNALITÉS DE L'OUTIL

L'outil, dénommé ALPHEE, a été conçu de manière à assurer les fonctions suivantes.

- Construire un scénario d'aménagement : appliquer l'action des barrages actuels sur des hydrogrammes particuliers, définir les caractéristiques de l'écoulement (ce qui correspond à des niveaux de protection, des capacités d'écoulement dans le lit mineur...)
- Simuler hydrauliquement ce scénario, à travers un modèle hydraulique à casier.
- Intégrer les résultats des simulations au sein d'une base de données géographique, afin de les croiser avec des données d'enjeux (en terme d'habitat, d'activités économiques...).
- Calculer les dommages directs et indirects sur l'ensemble de la zone considérée.
- Cartographier de manière simplifiée les zones inondables (informations spatialisées sur la connaissance de l'aléa), analyser la rentabilité des aménagements en les comparant entre eux, obtenir des statistiques par rapport à des indicateurs sur les inondations et les dommages à différentes échelles géographiques (communale, départementale, voire régionale).

3. LE CONTENU DE L'OUTIL

Nous présenterons ici la mécanique d'intégration à des fins d'automatisation et de mise en valeur des calculs contenue dans l'outil informatique. Le cœur de cet outil est une base de données qui comprend un certain nombre d'objets géographiques sur lesquels ont été calculés les dommages. Ces objets peuvent :

- être surfaciques, comme les classes d'occupation des sols ;
- se présenter sous forme d'entités ponctuelles (comme les postes EDF, les usines de production d'eau, les stations d'épuration...) qui correspondent à des équipements sensibles pénalisant l'activité économique ou représentant en tant que tel des dommages potentiels importants ;
- ou encore se trouver sous forme d'entités linéaires, comme les voies de communication (avec, sur ces voies, des points d'interruption de trafic).

La partie la plus importante du travail a été « de mettre en musique » l'ensemble de ces informations sous des formes relationnelles, mais aussi de trouver des liens entre l'information hydraulique et les enjeux socio-économiques, afin de procéder à une valorisation des dommages.

On retrouve ici la notion de casier hydraulique avec des informations sur l'occupation des sols (un casier présente une combinaison d'occupation des sols), sur les activités (nombre de sala-

riés, répartition des salariés entre différentes classes d'activités) pour caractériser les enjeux surfaciques au niveau des casiers¹⁵⁸.

Comme il n'y a jamais de correspondance exacte entre la définition du casier, des classes d'occupation des sols et celle des îlots INSEE, il a été nécessaire de procéder à des analyses spatiales (croisement de différentes couches) et à des analyses statistiques, afin de répartir les entités considérées à l'intérieur des casiers.

Ces entités ont ensuite été associées à un certain nombre de tables de référence qui définissent, pour chaque type d'occupation des sols, des enjeux directs et indirects. Des courbes d'endommagement sont également adjointes à ces types d'occupation des sols (habitat, activités, agriculture, équipement, zones naturelles...).

Des liens directs ont été créés entre les équipements sensibles et les casiers hydrauliques, ainsi qu'avec la structure administrative du territoire (le casier appartient à une commune, à un département... qui a une certaine population, une certaine richesse...).

Autour de la base de données, a été construit un outil convivial et opérationnel (création d'une interface cartographique des résultats) avec une valorisation des résultats à l'échelle du casier, de la commune et du département. On peut ainsi avoir la cartographie du nombre de logements inondés/touchés, du nombre de personnes inondées/touchées, du nombre de salariés concernés..., la cartographie des surfaces inondées par communes....

4. CONCLUSION

L'automatisation des calculs est un aspect important au vu du nombre de scénarios à calculer et de la possibilité de redéfinir ultérieurement de nouveaux scénarios.

La constitution de la base de donnée constitue l'autre aspect important. L'étude a permis de mettre au point des méthodologies d'intégration de données qui existent. Ces méthodologies peuvent être utilisées pour nourrir la base de connaissance et faire vivre l'outil.

158. Les informations concernant l'occupation des sols sont fournies par l'outil cartographique « mode d'occupation des sols » développé par l'IAURIF. En l'absence d'un tel document numérique, les techniques de photo-interprétation peuvent être utilisées pour connaître l'occupation des sols. Les données permettant de caractériser les activités sont récupérées au travers des îlots INSEE.

ÉVALUATION DES ENJEUX ET DES DOMMAGES POTENTIELS LIÉS AUX INONDATIONS DE LA LOIRE MOYENNE

Claire DEVAUX-ROS

Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature

1. CONTEXTE

L'équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature (PLGN) est composée de sept personnes. Elle est un intermédiaire entre les maîtres d'ouvrage du PLGN et les prestataires de service. Elle a été créée avec l'idée d'associer trois partenaires (État, Établissement public d'aménagement de la Loire et de ses affluents, Agence de l'eau Loire-Bretagne) dans le pilotage d'études. De fait, elle a deux structures au-dessus d'elle : un comité de pilotage et un comité technique, constitués tous les deux de représentants des trois partenaires cités. Les missions qui lui ont été confiées dans le cadre du Plan-Loire sont les suivantes :

- l'étude Loire moyenne (2/3 du temps et du budget d'étude) ;
- une mission d'assistance pour des études de mesures complémentaires pour atténuer les effets des crues (renforcement du système de levées), des études sur la restauration et l'entretien du lit de la rivière, une étude visant à enrayer l'enfoncement de la ligne d'eau à l'étiage, pour des travaux sur la restauration et la gestion écologique des milieux naturels.

2. L'ÉTUDE LOIRE MOYENNE

Deux démarches ayant un même objectif sont menées en parallèle : définir une stratégie de réduction du risque d'inondation pour les crues fortes de la Loire moyenne, répondre à la question de l'intérêt d'un ouvrage écrêteur complémentaire (le Veudre). Ces deux démarches se traduisent sous la forme de deux volets d'études :

- un volet hydraulique : modélisation de la propagation de différents types de crues, dans la situation actuelle du lit de la Loire et avec différents scénarios d'aménagement pour diminuer le niveau de l'aléa. Il occupe 2 personnes à plein-temps et représente 6 millions de francs d'étude.
- un volet socio-économique : recensement des enjeux exposés, évaluation des dommages potentiels pour différents niveaux de crue (au regard des résultats de la modélisation hydraulique), compléter les évaluations quantitatives à l'aide d'approches plus qualitatives qui sont restées à l'état exploratoire (impacts indirects : fiscalité locale, redémarrage des activités après événement, dynamique économique, perspective d'évolution des enjeux exposés à

l'horizon 2020). Il occupe 1,25 personne à temps plein et le budget d'étude correspondant est de 4 à 4,5 millions de francs.

Les approches quantitatives complétées par les démarches qualitatives donnent des critères socio-économiques qui, confrontés à des critères hydrauliques et d'autres critères tels que le coût des investissements à consentir pour répondre à la stratégie fixée, apportent des éléments de décision aux maîtres d'ouvrage.

3. MÉTHODE CONCERNANT LE VOLET SOCIO-ÉCONOMIQUE

Après avoir analysé ce qui avait été fait jusqu'à présent (en particulier pendant et après la thèse de Jean-Philippe Torterotot¹⁵⁹), l'équipe a cherché à mettre en place une méthode nouvelle devant répondre aux exigences suivantes :

- avoir une méthode simple, rapidement opérationnelle (ce qui supposait d'accepter de n'estimer que des ordres de grandeur), communicative et adaptée au contexte de la Loire moyenne (cette méthode n'a pas la vocation à être extrapolée directement sur d'autres sites) ;
- pouvoir distinguer séparément des évaluations d'enjeux et des estimations de dommages (expliquer la relation entre un enjeu donné et un montant de dommages, accéder à une analyse plus qualitative de la vulnérabilité) ;
- avoir la possibilité de croiser le volet hydraulique avec le volet socio-économique (intégrer les deux types de modèles).

3.1. Principes généraux de la méthode

- Décomposition du territoire en thèmes d'occupation des sols : habitat (bâtiments à usage d'habitation), population (touchée et concernée), activités économiques non agricoles (entreprises quelle que soit leur taille), activités agricoles (sièges d'exploitation, surfaces cultivées, types de culture...), bâtiments et équipements publics, réseaux (voiries, STEP, eau potable, EDF, SNCF, télécommunication). Pour l'analyse des enjeux, tous les thèmes ont été traités. Pour l'analyse de dommages, seuls les thèmes de l'habitat, de l'activité (dont l'activité agricole) et équipements-voiries ont été considérés. Les impacts pris en compte dans les calculs sont les dommages directs et les pertes d'exploitation pour les activités économiques non agricoles.

- Définition d'une unité spatiale d'évaluation pouvant directement correspondre au modèle hydraulique : casier ou unité du couloir d'écoulement. Chaque unité fait en moyenne de 1 à 2 km² (sur certains vals agricoles, elle peut être plus grande ; en revanche en zone urbaine elle est plus petite). On a environ 450 km de cours d'eau (plus les affluents) et 600 km de levées.

3.2. Organisation de la méthode (appliquée à chaque thème d'occupation des sols)

En premier lieu, elle passe par la création d'une typologie spécifique à la problématique des enjeux et à celle des dommages. Deux grandes étapes viennent ensuite :

- la constitution d'une base de données « enjeux » et d'une base de données « dommages » (bases de données vivantes dans le sens où les mises à jour sont faciles) ;

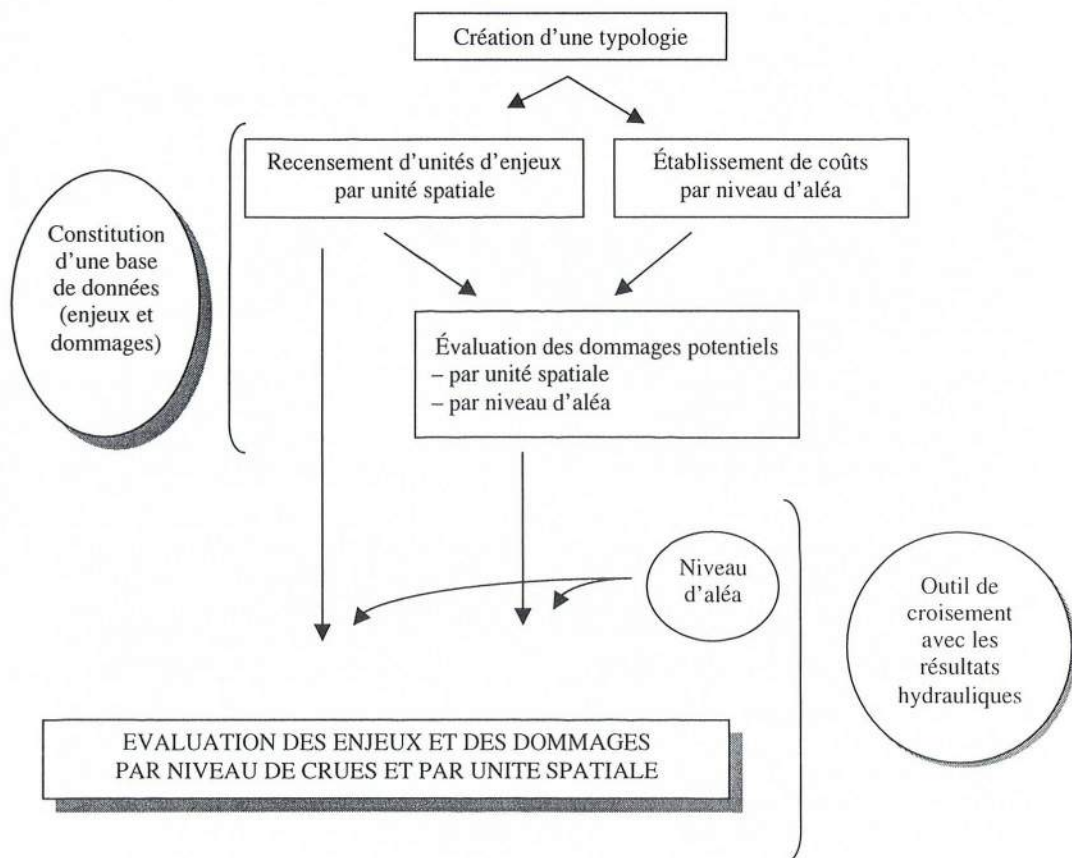
159. Torterotot Jean-Philippe, « Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes », thèse de doctorat de l'École nationale des ponts et chaussées, 1993, 284 p et annexes.

– le croisement avec les résultats des simulations hydrauliques, à l'aide d'un questionnaire de bases de données.

Dans le cadre de la première étape, deux études sont menées en parallèle : le recensement d'unités d'enjeux (suivant la typologie retenue et par unité spatiale) et l'établissement de coûts moyens (suivant la typologie et éventuellement en fonction de paramètres de submersion). Les unités d'enjeux ne sont pas des surfaces (mais simplement des unités) et les coûts moyens ne sont pas des fonctions d'endommagement. Ces coûts moyens sont établis principalement à l'aide d'un retour d'expérience (dires d'experts d'assurance) et de quelques enquêtes réalisées par l'équipe (notamment sur les équipements publics).

Le croisement des unités d'enjeux avec les coûts moyens permet d'obtenir les bases de données « dommages », par unité spatiale et par niveau d'aléa (combinaison de certains paramètres de submersion). Notons que dans le cas de l'habitat et des équipements, les coûts moyens ne dépendent pas des paramètres de submersion.

Les simulations hydrauliques vont préciser le niveau d'aléa. En intégrant ces résultats hydrauliques dans la base de données, à l'aide du système de gestion de bases de données (SGBD), on obtient ainsi une évaluation des enjeux et des dommages pour chaque niveau de crue. Ces résultats peuvent ensuite être agrégés à une échelle géographique donnée (au niveau d'un val ou de plus grandes unités).



4. QUELQUES RÉSULTATS ET LEUR FIABILITÉ

Les résultats de l'étude, qu'ils se présentent sous la forme d'enjeux ou de dommages, peuvent être synthétisés sous la forme de cartes (édition non automatique).

Concernant les enjeux socio-économiques à l'échelle de la Loire moyenne, on a près de :

- 300 000 personnes en zones inondables ;
- 115 000 logements ;
- 13 600 entreprises (dont 500 ont plus de 20 salariés) ;
- 72 000 emplois (dont 34 000 dans des entreprises de moins de 20 salariés) ;
- 1 550 équipements collectifs ;
- 8 500 hectares de cultures spécialisées ;
- 76 500 hectares de cultures traditionnelles ;
- 1 500 sièges d'exploitation ;
- 165 stations d'eau ;
- et 2 500 km de routes.

Concernant les dommages, l'estimation indique un ordre de grandeur de :

- 3 à 4 milliards de francs pour la crue cinquantennale ;
- 6 milliards de francs pour la crue centennale ;
- 18 milliards de francs pour la crue cinq centennale ;
- 40 milliards de francs pour une inondation totale de tous les vals (inondation de type 1856, *Atlas des zones inondables*).

Si on regarde la répartition thématique des dommages : en moyenne et quel que soit le niveau de crue, on s'aperçoit que les entreprises concentrent au moins 60 % des montants, les logements 25 %, l'agriculture 10 % et les thèmes « équipements et voiries » de l'ordre de 5 %. Des cartes permettent de mettre en évidence les concentrations géographiques des dommages autour des agglomérations d'Orléans et de Tours, du Val d'Authion et des pôles secondaires comme Saumur, Blois, Giens, Sully et le val de Vienne.

Les évaluations d'enjeux sont considérées comme relativement fiables (la fiabilité est directement liée aux sources de données). On est plus réservé sur les résultats concernant l'évaluation des dommages, tout en estimant qu'ils sont corrects pour l'habitat et l'agriculture, moyens pour les équipements et pour la voirie, plus incertains pour le thème des activités non agricoles.

Plus on agrège les résultats et plus la fiabilité augmente. C'est pourquoi, et en particulier pour ce qui concerne les dommages, on ne fournit pas d'évaluations à l'échelle du casier car elles n'ont que peu de signification. La fourchette d'incertitude sur les évaluations des dommages n'a pas été quantifiée, à l'exception de certains thèmes (habitat, agriculture, équipements) pour lesquels on a donné un minimum et un maximum, à l'aide d'une approche probabiliste.

La méthode est perfectible. Certaines améliorations ont d'ores et déjà été introduites, en ajoutant une cote topographique moyenne associée aux enjeux (cela est fait pour toutes les unités du couloir d'écoulement). Les autres types d'améliorations nécessiteraient un investissement et des moyens supplémentaires importants, sans garantir un gain dans la précision des estimations et sans nécessairement améliorer les ordres de grandeur déjà évalués.

L'ÉVALUATION DES DOMMAGES DES CRUES DE L'ORNE DANS L'AGGLOMÉRATION CAENNAISE

Henri DUMAY

BCEOM

L'évaluation des dommages des crues de l'Orne a été effectuée en 1997 par un groupement composé du BCEOM et de SAGERI, à la demande du Syndicat mixte de lutte contre les inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant¹⁶⁰.

Ce travail s'inscrit dans la continuité de plusieurs études techniques, réalisées par SOGREAH en 1994 et 1996, dans lesquelles des aménagements hydrauliques de protection contre les inondations ont été proposés, testés et chiffrés sommairement. Il vise d'une part, à calculer les **coûts moyens annuels** des dommages directs dans l'état actuel puis dans l'état futur (après aménagement) et d'autre part, à comparer les **gains moyens annuels** ainsi escomptés aux investissements nécessaires pour réaliser les aménagements proposés.

Cette communication présente la démarche d'évaluation des dommages directs qui a été suivie et les principaux résultats obtenus.

1. CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'Orne dans sa partie aval traverse quelques communes importantes dont la ville de Caen, ce qui représente globalement 170 000 habitants. Dans ce secteur, on trouve des enjeux très diversifiés en terme d'habitat, d'activités, d'équipements et de réseaux divers.

Sur le plan hydraulique, il faut noter la proximité de l'exutoire en mer (l'Orne est soumis aux fluctuations de marées) et la présence d'un réseau complexe de canaux.

Le secteur d'étude connaît des inondations récurrentes : une crue historique de 1926 (dont la période de retour est estimée à 100 ans), deux crues en 1990 et 1993 (de fréquence décennale), une crue en janvier 1994 (dont la période de retour est d'environ deux ans et correspond au seuil de débordement) et la crue de janvier 1995 (de fréquence trentennale).

Les phénomènes physiques sont ici relativement complexes car on est dans un système transitoire lié à des crues qui s'étalent sur plusieurs jours et à une fluctuation du niveau marin. On a donc un phénomène de remplissage et de vidange qui conduit à tenir compte non seulement

160. La zone d'étude couvre 10 communes. Elle est comprise entre Louvigny, commune située juste à l'amont de l'agglomération caennaise, et la ville de Ouistreham qui est localisée à l'embouchure du fleuve. Ce qui représente une quinzaine de kilomètres de linéaire de cours d'eau.

du débit de pointe mais aussi du volume. Ainsi, la crue de 1995 est en terme de débit proche de celles de 1990 et 1993, mais en terme de volume et de hauteur elle avoisine une période de retour trentennale.

2. L'APPROCHE ÉCONOMIQUE DES DOMMAGES

L'étude économique a porté principalement sur les dommages à l'habitat et aux activités. Par ailleurs, un repérage d'équipements singuliers susceptibles d'être inondés a été effectué (transformateurs EDF, station d'épuration, dépôt pétrolier, gares ferroviaire et maritime, parkings souterrains...). Mais les éléments ainsi répertoriés n'ont pas fait l'objet de calcul du coût des dommages. La démarche d'évaluation des dommages a été décomposée en étapes successives qui sont présentées ci-après.

2.1. La caractérisation du site

L'étude hydraulique, réalisée précédemment par SOGREAH, a permis de définir l'aléa pour des crues types (décennale, trentennale et centennale) qui ont servi de référence pour le calcul des dommages.

Une topographie relativement précise du site, issue d'un modèle numérique de terrain (MNT), a été établie à partir d'une photo restitution complétée par des relevés de terrain.

Différentes classes d'occupation des sols ont été définies : habitat individuel et collectif, activités industrielles et commerciales... Une dizaine de types d'activité a été distinguée (la difficulté de la démarche est d'avoir un nombre de type relativement restreint mais suffisamment représentatif pour être intégré dans des valeurs homogènes).

2.2. La connaissance des enjeux

Un recueil d'informations d'ordre général a été effectué sur la zone d'étude afin de mieux cerner son profil économique. Après consultation d'articles de presse et d'ouvrages réalisés localement, divers organismes ont été contactés (collectivités, administrations, chambres consulaires, gendarmerie, pompiers...). À partir de toutes ces données, des zones représentatives d'enquêtes ont été définies et des enquêtes ont été réalisées auprès des riverains, des entreprises et des commerces.

2.3. L'estimation des dommages

Pour chacune des crues historiques relevées, les dommages ont été évalués au niveau des îlots d'enquête (correspondant à des types d'occupation des sols), en cherchant à tenir compte des effets de seuils, c'est-à-dire des hauteurs d'eau limites à partir desquelles les dommages prennent un poids économique important.

Concernant l'habitat, l'évaluation des dommages a porté sur les biens immobiliers et mobiliers. Pour les commerces et les entreprises, ont été évalués les dommages matériels (biens immobiliers et mobiliers, stocks) et les pertes d'exploitation.

La méthode d'évaluation des dommages, mise en œuvre par le BCEOM, vise à reconstituer une courbe fréquentielle des dommages en fonction de la hauteur d'eau. Des courbes de dommages ont été établies pour l'habitat pavillonnaire, l'habitat collectif, les activités indus-

rielles et portuaires, ainsi que pour les activités commerciales. Les dommages matériels sont exprimés en Francs par hectare. Les pertes d'exploitation sont traduites en pourcentage de chiffre d'affaire annuel.

Grâce aux courbes élaborées on peut, par intégration, définir le **coût moyen annuel** des dommages (espérance mathématique du dommage moyen annuel).

2.4. La mise en œuvre d'un outil de calcul automatique

Le BCEOM a mis au point un outil de cartographie automatique des zones inondables appelé CALYPSEAU. Développé à partir d'un système d'information géographique, ce logiciel gère différentes couches numériques d'information :

- la topographie, issue d'un MNT ;
- le maillage hydraulique avec des cotes d'inondation ;
- les hauteurs de submersion (cartes d'iso aléas obtenus par croisement des deux premières couches) ;
- les zones homogènes d'occupation des sols ;
- les fonctions de dommages liées à la hauteur d'eau par classe d'occupation des sols.

Le croisement des trois dernières couches d'information fournit les coûts directs des dommages liés aux inondations pour une crue donnée.

2.5. La méthode de calage

Dans le cas présent, on avait la chance d'avoir simulé des crues observées et d'avoir quantifié des dommages, pour lesquelles on avait par ailleurs des estimations globales. Il s'est avéré qu'en appliquant la méthode CALYPSEAU, on ne retombait pas sur les mêmes chiffres. D'une manière générale, on avait une estimation qui était plus forte.

En modifiant la cote de calage des habitations, on s'est aperçu que l'on arrivait avec le logiciel à reconstituer approximativement les dommages pour une cote de construction égale à 30 cm par rapport au terrain naturel. Cela a permis de définir les différentes zones à l'intérieur desquelles on avait des dommages :

- jusqu'à 30 cm de hauteur d'eau, c'est le seuil des constructions pour lequel le dommage est relativement faible (en dehors des réseaux et des infrastructures) ;
- de 30 cm à 60 cm, c'est le niveau pour lequel apparaissent les premiers dommages ;
- de 60 cm à 1,30 m, les dommages sont déjà plus conséquents (mais les gens ayant une certaine culture du risque mettent une partie de leurs biens à l'abri) ;
- de 1,30 à 3 m, c'est l'inondation du rez-de-chaussée ;
- au-dessus de 3 m, c'est l'inondation de l'étage.

2.6. Les résultats des calculs

Le coût moyen annuel des inondations est de l'ordre de 8,4 millions de francs (dans l'état actuel) et de 1,56 million de francs (dans l'état futur par rapport au scénario d'aménagement testé). Le coût des travaux de protection est estimé à 150 millions de francs. Le bilan (hors intérêts d'emprunts) est de 7 millions de francs de gain annuel.

On aurait pu faire une analyse beaucoup plus fine afin de mieux définir l'intérêt du projet, en considérant que :

$$\text{Bilan} = \text{Revenu (dommage évité)} - \text{Dépenses (d'investissement et d'entretien)}$$

Mais cela n'était guère possible compte tenu des résultats obtenus en matière d'estimation des dommages (précision de l'ordre de 30 %). Ces résultats mettent cependant en évidence que le projet est économiquement viable et cela s'avère suffisant.

3. CONCLUSION

À l'issue de cette étude, plusieurs observations peuvent être faites en regard des résultats obtenus et de la démarche d'évaluation retenue.

• L'influence du type de crue sur l'ampleur des dommages

Les plus petites crues débordantes sont l'élément significatif d'estimation des dommages. Le coût moyen annuel des dommages est peu influencé par les crues exceptionnelles. Or on a souvent tendance, dans les calculs économiques, à prendre en compte les crues exceptionnelles. Du point de vue coût/efficacité, les aménagements pour des petites périodes de retour sont plus intéressants que des grands aménagements (d'un point de vue strictement économique).

• La précision de l'aléa hydraulique

Le modèle hydraulique donne généralement de bons résultats (de l'ordre de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres) ainsi que le MNT (avec les moyens modernes de photo restitution on a des précisions de l'ordre de 10 à 20 cm). Mais il y a un élément qui est totalement inconnu et qui est pourtant indispensable : le niveau du bâti par rapport au terrain naturel (qui ne peut être connu que par enquête de terrain). On a donc une hétérogénéité qui pose des difficultés dans le calage de la méthode de calcul.

• L'identification de l'état d'occupation des sols

On définit un certain nombre de zones types dans lesquelles on agrège une occupation des sols très hétérogène (au regard des types d'habitats, des types d'activité, de la densité, de la nature des constructions, de la sensibilité au risque). On extrapole ensuite ces données et les résultats sont hasardeux.

• Le coût unitaire des dommages

Il est relativement précis en zone urbaine en ce qui concerne l'habitat. En revanche le coût des dommages à l'hectare en zone industrielle et commerciale est peu précis, voire aléatoire (car on agrège des activités très différentes qui conduisent à des résultats à prendre avec précaution).

• Certaines nuisances sont difficiles à appréhender et présentent des effets induits à long terme que l'on ne perçoit pas immédiatement, par exemple :

- les phénomènes de sédimentation, de corrosion, d'humidité... dans les réseaux souterrains ;
- les interruptions d'activités dans la zone soumise au risque et à l'extérieur ;

les effets psychologiques ;

- la dépréciation des biens (on le voit encore actuellement sur Nîmes où dans certaines zones les maisons ne se vendent plus car il y a un risque potentiel) ;
- l'impact environnemental sur les milieux naturels ;

– les mesures de sécurité et de secours ;

Aujourd'hui, les études concernant l'évaluation des dommages ne peuvent être faites dans un contexte purement économique. Elles doivent s'intégrer dans une démarche globale d'aide à la décision tenant compte simultanément de différentes dimensions (économique, sociale, politique, environnementale...). Dans ce contexte, l'objectif d'une étude d'évaluation des impacts économiques des inondations ne doit pas rechercher la précision. Il vaut mieux en fait avoir des éléments d'aide à la décision globaux.

L'ANALYSE DES DÉSORDRES ET DES DOMMAGES AUX RÉSEAUX

Pierre DESGRANGES

Territoire Conseils Associés

Les désordres et dommages occasionnés aux réseaux techniques urbains par les inondations ont été analysés dans le cadre de l'étude des impacts des inondations de la Seine et de la Marne en région Ile-de-France. L'objet de cette communication est de présenter la démarche d'évaluation retenue, qui est très liée aux spécificités de la région parisienne.

1. REMARQUE PRÉLIMINAIRE

Par convention, on distingue généralement des dommages surfaciques (que l'on peut rattacher directement à un type d'occupation des sols de manière proportionnelle) et des dommages non surfaciques (pour lesquels on ne peut pas évaluer le dommage en proportion d'une surface).

Typiquement, les réseaux entrent dans cette seconde catégorie. Il n'y a pas de relation directe entre un point de coupure et le dommage car cela dépend de la structure du réseau (maillage, interconnexions...). L'extension du dommage s'étend au-delà du point de coupure, ce qui crée une difficulté supplémentaire d'évaluation.

2. LES RÉSEAUX ÉTUDIÉS ET LA DÉMARCHE D'ÉVALUATION

Les items considérés dans cette étude sont les suivants : les réseaux de transport (RATP, SNCF), les infrastructures routières, les télécommunications, l'énergie (EDF, GDF), la production et la distribution d'eau, la navigation fluviale (abordée plus sommairement).

Il s'avère impossible d'intégrer à un outil de calcul automatique l'évaluation de ces dommages (comme on peut le faire pour des dommages surfaciques). Il y a en effet des problèmes de relation entre l'évaluation économique et la description de l'occupation des sols. Cela a imposé une démarche spécifique pour intégrer les résultats à la mécanique de calcul de l'outil informatique développé dans le cadre de l'étude générale¹⁶¹.

Lors de la première phase d'étude, il s'est agi de dégager une approche méthodologique et de constituer une base de donnée des désordres (impact physique de la crue). Quand on passe à

161. Voir à ce sujet la communication de Laurent Gazull concernant l'outil d'aide à la décision développé dans le cadre de l'étude Seine.

l'évaluation des dommages, cela suppose que l'on sait faire une estimation monétaire pour aboutir à une analyse coût/avantage.

Durant cette étape, on s'est rendu compte des problèmes de précision des estimations monétaires des dommages concernant les réseaux. Sur le montant total des dommages estimé à 50 milliards sur la zone agglomérée d'Ile-de-France, on avait 10 milliards uniquement pour les réseaux et beaucoup d'incertitudes sur la validité de ces chiffres et surtout sur leur sensibilité à certaines hypothèses.

La seconde phase d'étude a eu pour objectif de lever ces imprécisions, afin de pouvoir rapporter les montants des dommages concernant les réseaux aux autres calculs réalisés dans le cadre de l'étude générale.

Pour ce faire, des acteurs susceptibles d'enrichir l'information et d'affiner les évaluations (gestionnaires, exploitants de réseaux, responsables d'établissements publics ou parapublics) ont été réunis au sein de groupes de travail thématiques (transports, eau, énergie...). Ces derniers avaient pour fonction :

- dans un premier temps, d'améliorer la connaissance des désordres : comment déterminer les seuils de vulnérabilité des équipements (à traduire en cote de perturbation des installations, puis d'arrêt de fonctionnement des installations) et leurs conséquences techniques (des cotes d'implantation d'équipement avaient été recueillies lors de la première phase d'étude) ;
- dans un second temps, de tenter de chiffrer les conséquences économiques des crues sur les réseaux.

Les dommages indirects qu'il s'agissait d'évaluer concernaient les pertes pour l'exploitant et pour les usagers (pertes de valeur d'usage, par exemple le temps perdu en cas de perturbation de trafic), ainsi que les conséquences économiques de la non-fourniture d'un service.

La démarche retenue pour faire avancer l'évaluation a été de proposer aux groupes d'acteurs des scénarios de crue, qui puissent permettre aux gestionnaires de travailler sur du matériel concret (pouvoir dire si tel ou tel élément particulièrement stratégique fonctionne ou non en cas d'inondation). À partir d'un scénario de crue donné, le groupe de travail est conduit à bâtir progressivement un scénario de désordre et de dommage pour l'ensemble des réseaux.

Cette démarche pose le problème du choix de l'interlocuteur à impliquer dans le groupe de travail. Compte tenu de la complexité de fonctionnement des réseaux, il n'est pas évident de trouver l'acteur qui a une vision suffisamment globale et précise de la situation.

3. LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DE L'ÉTUDE

Face à la masse d'information potentielle à collecter, il est indispensable de hiérarchiser l'information de façon à pouvoir se focaliser sur les enjeux majeurs (par exemple, de l'eau dans la gare de Lyon signifie qu'une bonne partie du réseau de transport public est perturbée).

Chaque gestionnaire de réseau a tendance à donner un schéma de fonctionnement coupé du reste du monde. Or, on ne peut pas raisonner « réseau par réseau » car ceux-ci sont largement interdépendants. Par exemple, si l'on s'intéresse à une usine de traitement des ordures ménagères, même si l'équipement est à l'abri de l'inondation, il faut considérer également que les camions qui transportent les déchets ne vont pas nécessairement pouvoir arriver à l'usine.

Deux types de réseaux semblent particulièrement importants à prendre en considération dans ce type d'évaluation : les voiries et la fourniture en énergie.

L'étude s'est terminée sans que l'on puisse aller au bout de la démarche engagée avec les groupes de travail. Ceci est lié au fait que la mobilisation a été longue à naître, à cause de problèmes de sensibilité des acteurs, de confidentialité des informations et de difficulté à raisonner en terme de risque. En outre, ce type d'étude est susceptible de remettre en cause des certitudes techniques et éventuellement d'amener les gestionnaires à modifier les modalités de fonctionnement des réseaux.

La possibilité d'échanges fructueux entre l'évaluateur et les gestionnaires de réseaux implique la création d'un climat de confiance au sein du groupe de travail. Au départ, certains acteurs ont du mal à fournir des informations qui mettent en évidence leur vulnérabilité face au risque. À titre d'illustration, nous prendrons l'exemple du fonctionnement du métro en cas de survenance d'une inondation et par rapport au strict aspect de fourniture d'énergie. Le gestionnaire (en l'occurrence la RATP) a considéré – sur la base d'informations fournies par EDF – que les deux tiers de son approvisionnement en énergie étaient assurés dans le cas d'une crue de type 1910 et que cette quantité était suffisante pour gérer convenablement le réseau. Par la suite, les informations fournies par EDF ont été remises en cause.

À l'issue de ce travail, les dommages aux réseaux n'ont pu être quantifiés, à l'exception des infrastructures routières. Pour ce cas précis, on a construit des scénarios de crue, identifié des points de coupure potentiels, transféré cette couche d'information sur un modèle pour simuler les trafics en situation perturbée et on a introduit des indicateurs économiques qui ont permis de calculer les dommages.

Ce travail fournit des renseignements qualitatifs très riches sur l'ensemble des réseaux et qui sont exploitables. En outre la démarche de concertation est bien lancée et les acteurs semblent prêts à jouer le jeu. On a par exemple une sensibilisation nette au niveau de la direction des transports terrestre, pour que les gestionnaires de réseaux aillent plus loin dans la caractérisation de leurs réponses face à un événement grave (ce qu'ils peuvent faire, quelles protections techniques, comment ils peuvent traiter le risque).

L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES DOMMAGES À L'AGRICULTURE

Laurent BARBUT, Yann LAURANS, Isabelle DUBIEN

AScA

Le texte aborde en premier lieu le contexte de l'évaluation réalisée, puis ses enjeux méthodologiques, et présente enfin la démarche opérationnelle et les principaux types de résultats obtenus. Il s'intéresse en conclusion au problème du passage d'une évaluation des dommages à l'approche plus complète de la vulnérabilité agricole.

1. CONTEXTE DE L'ÉVALUATION RÉALISÉE

1.2. Contexte général

Les méthodes et les résultats dont il va être question ici s'inscrivent dans une série d'études dépassant assez largement la simple évaluation de dommages causés aux activités agricoles par une inondation. En effet :

- Les auteurs développent également des recherches et études sur la stratégie de gestion des hydrosystèmes, avec différentes approches de l'évaluation économique des phénomènes hydrauliques : retombées positives et négatives d'ouvrages de stockage, évaluation du « service rendu » par les vallées alluviales du point de vue de la protection contre les inondations, impact d'une inondation ou de l'inondabilité sur le dynamisme communal...
- Les résultats présentés ici, qui concernent plus particulièrement l'activité agricole, ont été acquis dans le cadre d'une participation d'AScA aux travaux de l'Équipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature, qui avaient pour objectif de réaliser une évaluation des enjeux économiques (de tous types) liés à une inondation de la Loire moyenne, et une quantification des dommages directs potentiels d'un tel événement.

1.2. L'étude Loire moyenne

Commanditée par l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature, elle vise à associer aux scénarios d'inondation de la Loire fournis par une modélisation hydraulique une évaluation financière des dommages occasionnés aux biens exposés. Son territoire d'investigation est le champ maximal d'expansion des crues en Loire dite « moyenne », soit la portion du fleuve comprise entre le bec d'Allier (approximativement situé à Nevers) et l'embouchure de la Maine (située aux environs d'Angers).

Le travail présenté s'intéresse à l'activité agricole, que l'on retrouve à des degrés d'importance divers dans l'ensemble des vals de la Loire moyenne¹⁶². Son objectif était double :

1) **Recenser et caractériser**, de la manière la plus fiable et la plus précise possible, les activités agricoles présentes dans les zones exposées à une inondation majeure de la Loire moyenne. Ces zones sont connues par l'Atlas des zones inondables existant pour la Loire moyenne. Par ailleurs, ce travail de caractérisation des enjeux devait être compatible avec la modélisation hydraulique de la propagation des crues réalisée en parallèle par l'Équipe Pluri-disciplinaire. Cette exigence se traduisait concrètement par la nécessité de fournir les résultats du recensement des activités agricoles à l'échelle de l'unité hydraulique d'un modèle¹⁶³, soit une unité spatiale à la fois très précise¹⁶⁴ et totalement indépendante de tout découpage administratif¹⁶⁵.

2) **Évaluer les dommages** financiers potentiels directs qu'occasionnerait un tel événement, dont les principales caractéristiques (période d'occurrence, durée, vitesse du courant, hauteur d'eau) sont fournies par la connaissance historique et la modélisation hydraulique. Ces dommages peuvent concerner les différents éléments entrant dans le processus économique de production agricole : le matériel, les bâtiments, les animaux, les stocks, les cultures ou les plantations en place. Ils sont potentiels dans la mesure où on s'intéresse à un événement futur et hypothétique, et ils peuvent être directs (destruction, endommagement...) ou indirects (diminution du potentiel agronomique des sols, de la valeur génétique du troupeau...). Pour des raisons tenant à l'état des connaissances, on ne s'est intéressé qu'à l'évaluation des dommages directs¹⁶⁶.

Chacun de ces deux objectifs du travail à réaliser (*recenser et évaluer*) pose ses propres problèmes méthodologiques, sur lesquels nous reviendrons. Ils ne doivent cependant pas pour autant être considérés comme deux dimensions compartimentées, et réalisables en deux étapes successives (*recenser puis évaluer*). Leur articulation était au contraire au centre même de la méthodologie élaborée pour y parvenir car ils sont largement interdépendants. Ainsi, par exemple, le choix de critères de caractérisation de l'agriculture pour le recensement doit se faire en fonction des éléments qui apparaissent déterminants en matière d'évaluation des dommages¹⁶⁷. Réciproquement, les critères choisis influent sur le mode de calcul des dommages¹⁶⁸. C'est ce que montre le schéma de la page suivante :

162 Le lit majeur de la Loire moyenne est constitué de petites vallées parallèles au lit mineur du fleuve, séparées de celui-ci par une levée artificielle et/ou un bourrelet naturel, et dénommé « vals ».

163 Les unités de base du modèle utilisé sont des casiers ou des segments du lit de la rivière, et c'est à leur échelle qu'il fournit ses résultats (hauteur d'eau, vitesse du courant...).

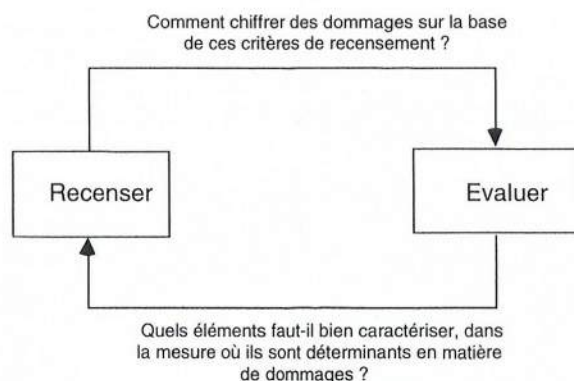
164 Plus de 1 600 unités hydrauliques sur la zone d'étude, soit des superficies allant de la dizaine à la centaine d'hectares.

165 Plusieurs unités par commune et souvent plusieurs communes par unité...

166 On peut considérer en première approximation que les dommages directs sont les dommages entraînant une destruction matérielle immédiate ou quasi immédiate et que les dommages indirects portent sur une période de temps plus longue que la crue, et peuvent être d'une nature différente (psychologiques, économiques...).

167 Par exemple, il pourra s'avérer inutile de chercher à distinguer les différentes céréales entre elles car elles subissent grossièrement des dommages équivalents.

168 Par exemple, si le nombre d'animaux présents n'a pas été retenu comme critère de caractérisation, le mode de calcul des dommages subis par les stocks de fourrages ne pourra y faire référence.



Cette nécessaire articulation des deux objectifs de recensement et d'évaluation nous a donc amenés à concevoir une méthodologie « sur mesure », adaptée aux sources d'informations et aux moyens disponibles, qui mène en quelque sorte « de front » les deux aspects du travail à réaliser. Elle repose sur un certain nombre de choix, effectués à la lumière des contraintes imposées et des sources d'information mobilisables.

La suite de ce texte tentera ainsi d'apporter quelques éclairages sur les connaissances disponibles aujourd'hui en matière d'évaluation monétaire de dommages directs agricoles, et abordera ensuite les limites de ces approches, en tentant de tracer une voie possible pour les dépasser. Elle est structurée en trois parties :

- les enjeux méthodologiques de l'évaluation de dommages lorsqu'elle s'applique à l'activité agricole ;
- la démarche opérationnelle et les principaux types de résultats disponibles à ce jour ;
- enfin, les limites de cette approche et les voies de dépassement.

2. LES ENJEUX MÉTHODOLOGIQUES DES ÉVALUATIONS DES DOMMAGES AGRICOLES

2.1. Une échelle d'investigation généralement vaste recoupant des territoires souvent diversifiés

Le premier élément déterminant de ce type d'évaluation est l'**ampleur** et la **forme** des zones à étudier :

- l'ampleur parce que la gestion d'un hydrosystème, si on veut l'approcher de façon suffisamment globale, suppose le plus souvent des linéaires de lit majeur importants¹⁶⁹ ;
- la forme du territoire concerné par la gestion des crues, en étroit fuseau, qui recoupe donc de nombreuses régions agricoles aux orientations différentes.

Ainsi, la Loire moyenne dont il est question ici se caractérise par sa **diversité** du point de vue agricole : on y retrouve en effet la quasi-totalité des filières agricoles existantes sur le territoire français (grandes cultures, élevage bovin lait et viande, élevage hors sol, cultures maraî-

169. En France, les phénomènes de crues torrentielles des zones méditerranéennes constituent une relative exception à ce premier point (linéaires relativement courts).

chères, horticulture, arboriculture, viticulture...). Par ailleurs, la nature de ce territoire (lit majeur de la Loire), est elle-même source d'avantages comparatifs (lentilles sablonneuses pour la culture d'asperges, aptitudes des sols alluviaux au maraîchage, facilité d'irrigation...) ou de contraintes spécifiques (prairies inondables), qui expliquent la présence de certaines productions dans ce terroir particulier.

Sur le plan méthodologique, cette diversité a pour conséquence de multiplier les problématiques et donc les acteurs susceptibles de bien les connaître. En effet, de nombreuses filières agricoles représentées dans le val de Loire fonctionnent aujourd'hui de manière spécialisée¹⁷⁰, et leurs différents opérateurs (producteurs, conseillers, transformateurs, organes de commercialisation ou d'approvisionnement) ne peuvent expertiser que leur propre filière.

2.2. Des sources d'information complémentaires mais non homogènes

La caractérisation des activités agricoles exposées au risque d'inondation ne peut s'appuyer que sur les sources de données mobilisables, qui sont les statistiques d'une part et les acteurs locaux d'autre part. Le second enjeu méthodologique à prendre en compte est constitué par le fait que ces différentes sources ne se recouvrent pas, et ne recouvrent jamais directement l'échelle d'investigation recherchée in fine, à savoir les casiers du modèle hydraulique.

• Les statistiques

Le fichier SIRENE de l'INSEE permet, a priori, de recenser les sièges d'exploitations agricoles en zone inondable (adresse précise), voire de les caractériser à l'aide d'un code représentant l'orientation technico-économique de l'exploitation (horticulture, viticulture, agriculture/élevage...). Un certain nombre de recoupements effectués tout au long de l'étude nous permet de porter sur ce fichier les appréciations suivantes :

- il fournit une estimation assez fiable du nombre d'exploitations, les défauts de mise à jour (nouvelles installations) étant relativement compensés par des cessations d'activités ;
- il apporte en revanche assez peu d'informations en matière d'orientation des exploitations.

Ce fichier reste toutefois une source d'information assez intéressante dans l'optique de ce travail, surtout parce qu'il permet des **localisations précises**.

Les **autres fichiers** susceptibles de fournir les adresses¹⁷¹ des exploitations agricoles (DDAF, chambres d'agriculture, MSA) sont peu mobilisables, pour deux raisons :

- ils sont rarement exhaustifs, car ils ont leurs objectifs propres : recensement des irrigants, recensement des éleveurs bovins pour l'attribution des primes PAC... ;
- pour des raisons de confidentialité, ils sont très difficilement accessibles, sinon de façon agrégée, ce qui n'est pas le plus intéressant pour ce type de travail.

Le **recensement général agricole** (RGA) est assez complet en matière d'occupation des sols mais comporte plusieurs défauts pour le travail à réaliser :

- il est obsolète car il date de 1988 alors que les structures et les orientations agricoles ont considérablement évolué en 10 ans ;

170 C'est le cas notamment du maraîchage, de l'horticulture, de l'arboriculture, de la viticulture et de l'élevage de volailles hors sol.

171 L'importance de l'adresse dans le cadre de ce travail vient de la nécessité de recenser des activités en zone inondable, cette dernière n'ayant évidemment aucun lien avec les découpages administratifs existants (communes...).

– il fournit des informations à l'échelle communale, ce qui ne permet pas d'isoler la zone inondable ;

– il est inexact en matière de superficie agricole utilisée par commune car il fournit les superficies exploitées par les exploitants recensés dans la commune, ce qui ne garantit pas leur appartenance au territoire communal.

Le **traitement d'images satellites** (Corine Land Cover), enfin, est susceptible de fournir à l'inverse une appréciation fiable des superficies agricoles situées en zone inondable, y compris à l'échelle recherchée (unité hydraulique du modèle). En revanche le détail de la mise en valeur de ces sols agricoles (cultures, prairies, vergers, vigne....) ne doit pas être considéré comme fiable à l'échelle de précision recherchée (centaine d'hectares).

• *Les acteurs locaux*

Les **employés de mairie** sont généralement susceptibles de fournir le nombre d'exploitations agricoles de la commune situées en zone inondable, sauf dans les villes importantes. En revanche, leur connaissance des orientations et du niveau d'équipement de ces exploitations est très inégale.

Les **conseillers agricoles de chambres d'agriculture**, anciennement organisés par secteurs mais de plus en plus par filières, possèdent généralement une bonne vision d'ensemble de leur « espace » de travail (échelle de quelques cantons). Ce sont donc a priori des informateurs intéressants. Cependant, les filières spécialisées possédant de plus en plus leurs propres structures de conseil, la connaissance de certains secteurs d'activités du val de Loire (horticulture, maraîchage, arboriculture...) échappe à ce type d'informateurs.

Les **conseillers spécialisés** (techniciens de coopératives ou responsables de structures coopératives de conseil et/ou de recherche-développement) possèdent généralement une bonne vue d'ensemble de la filière dont ils s'occupent, à l'échelle d'un département, voire d'une région. Mais cette connaissance est limitée à une production particulière.

2.3. La nécessité d'évaluer avec peu de références

• *Des travaux de recherche très fragmentaires*

Un passage en revue rapide des principaux organismes de recherche s'intéressant à l'agriculture (INRA, organismes de filières...) nous a permis de constater que très peu de travaux existaient sur les dommages subis par les cultures en cas d'inondation. De même en matière d'évaluation économique des dommages à l'agriculture, peu de références méthodologiques semblent disponibles, hormis les approches basées sur les indemnisations ou certains travaux précédents de l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire sur l'agriculture spécialisée des vals d'Orléans et de Tours.

• *Des retours d'expérience difficiles à utiliser*

Afin d'évaluer les dommages liés à un événement non observé sur la Loire de mémoire humaine, il est légitime de chercher des retours d'expérience à propos d'autres inondations ayant eu lieu en France au cours de la période récente. Outre les moyens d'investigation limités accordés à ce thème, abordé uniquement sur le territoire national (Meuse, grand Ouest,

Rhône...), cette source d'information est apparue difficile à utiliser, pour les raisons suivantes :

- les caractéristiques des événements observés diffèrent sensiblement de ce que « devrait être » une crue majeure de la Loire, rendant difficile l'extrapolation des résultats : crues torrentielles dans le Sud-Est, crues très lentes dans l'Ouest, délais d'annonce inférieurs... ;
- les activités agricoles touchées ne sont pas forcément les mêmes, ou présentent une importance très différente sur le territoire considéré (l'élevage bovin est beaucoup plus important dans l'Ouest par exemple, ce qui peut changer notablement les possibilités d'entraide et d'évacuation des animaux vers des zones hors d'eau) ;
- le fonctionnement du système de remboursement au titre des « calamités agricoles » a ses particularités propres, qui aboutissent souvent à ne pas indemniser un certain nombre de dommages¹⁷² (prairies par exemple), sur lesquels on ne retrouve alors pas d'estimations de pertes économiques dans les rapports disponibles en DDAF ou au ministère de l'Agriculture.

2.4. Cinq principes en réponse à ces enjeux

Ces différents enjeux méthodologiques nous ont amenés à adopter les cinq principes suivants dans l'évaluation des dommages réalisée :

- adapter à chaque filière agricole le niveau de précision spatiale à rechercher : on sera par exemple beaucoup plus précis sur la localisation des serres horticoles (dans tel ou tel casier) que sur celle des grandes cultures, d'une part parce qu'elles représentent des enjeux économiques beaucoup plus importants et d'autre part parce que leur diversité rend les interpolations beaucoup plus hasardeuses à leur sujet ;
- croiser les différentes sources d'information, puisque nous avons souligné qu'aucune n'était exhaustive ;
- se limiter à deux modes de représentation de l'activité agricole, le type de siège d'exploitation (comprenant les animaux pour les exploitations d'élevage) et le type d'occupation du sol. Ces deux descripteurs globaux ont en effet été jugés comme les plus compatibles avec les sources de données disponibles, à la différence du recensement du cheptel présent par exemple ;
- adopter des montants de dommages unitaires uniques pour l'ensemble des territoires de la Loire moyenne, mais prendre en compte la diversité en leur associant systématiquement un intervalle de dispersion ;
- mobiliser fortement l'expertise locale pour l'évaluation des dommages, en raison de l'absence de références et de la difficulté d'utilisation des retours d'expérience.

3. UNE DÉMARCHE OPÉRATIONNELLE EN CINQ ÉTAPES

• *Premier recensement des sièges d'exploitation sur la base de SIRENE*

Cette première étape s'inspire largement d'une méthodologie mise au point par ASca pour le recensement des activités économiques non agricoles dans une vallée inondable. Elle consiste dans un premier temps à croiser les adresses du fichier SIRENE avec :

- des plans détaillés fournis par les communes ;

172. Pour des raisons de seuils de déclenchement de l'indemnisation qui ne sont pas atteints.

– la délimitation des zones inondables de l'Atlas et des unités hydrauliques du modèle fournis par l'Équipe pluridisciplinaire à l'échelle du 1/25 000.

À l'issue de ce croisement, on dispose d'une estimation du nombre de sièges d'exploitations situés en zone inondable, que l'on affine et actualise dans un second temps par un passage en mairie.

• *Élaboration d'une typologie des sièges d'exploitations et premier recensement de l'occupation des sols*

Cette seconde étape est basée sur :

– l'exploitation du RGA 88, avec deux principaux aspects : l'occupation des sols (disponible à l'échelle communale), et les orientations technico-économiques d'exploitations ou OTEX (disponibles seulement par petite région agricole¹⁷³) ;

– la recherche de retours d'expérience et l'analyse des premiers travaux de l'Équipe pluridisciplinaire sur l'agriculture spécialisée.

Elle vise à définir les types d'occupation du sol et les types de sièges d'exploitation à retenir pour le recensement des enjeux et l'évaluation des dommages. Deux typologies (une pour les sièges, une pour les types d'occupation du sol) comportant chacune une dizaine d'unités ont été formulées à l'issue de cette seconde étape. Elles seront précisées plus loin (exposé des principaux résultats).

• *Consultation d'experts locaux*

Cette troisième étape était basée sur la consultation, sur l'ensemble des vals de Loire, de trois types d'acteurs : techniciens « généralistes » de chambres d'agriculture, techniciens spécialisés de groupements ou d'organismes d'appui à certaines filières spécialisées, experts fonciers exerçant leur activité dans la zone d'étude.

Ces entretiens ont permis de répartir les sièges d'exploitation recensés préalablement dans les différents types choisis (à l'échelle de la commune mais pas nécessairement du casier), de formuler des hypothèses d'évolution de l'occupation des sols depuis 1988, de différencier le val et le reste de la commune en matière d'occupation des sols agricoles et enfin de tester différentes hypothèses d'endommagements aux cultures, bâtiments, stocks et animaux pour les scénarios de crues à étudier.

• *Élaboration des enjeux par unité hydraulique*

L'objet de cette quatrième étape est de transposer à l'échelle de l'unité hydraulique du modèle les résultats obtenus à l'échelle de la commune à l'étape précédente, à savoir :

– la répartition des sièges d'exploitation par types dans la zone inondable ;

– les caractéristiques de l'occupation des sols dans la zone inondable (RGA 88 actualisé et corrigé par la comparaison val/hors-val).

Elle est basée d'une part sur des investigations complémentaires menées pour certaines filières particulières représentant des enjeux très concentrés et d'autre part sur diverses techniques d'interpolation pour les autres filières agricoles.

173. Cette notion de PRA se recoupant assez bien avec celle de « val de Loire », cette échelle apporte tout de même des informations intéressantes.

• *Élaboration de la matrice définitive des dommages unitaires*

Cette dernière étape consiste à formaliser, sous la forme d'une matrice, les dommages unitaires de chaque type d'occupation du sol et de chaque type de siège d'exploitation pour différents événements hydrauliques. Ces derniers sont répartis en :

- deux périodes possibles d'occurrence d'une forte crue (printemps correspondant à avril/mai et automne correspondant à mi-septembre/mi-novembre). Il est évident qu'en matière de dommages agricoles la distinction de ces deux périodes est indispensable. En effet les stades des cultures, l'état des stocks ou encore les possibilités de resemis diffèrent notablement entre les deux périodes et introduisent des différences importantes en matière de dommages ;
- quatre aléas par période permettant de distinguer les dommages selon les caractéristiques de la crue (vitesse, hauteur d'eau) dans l'unité hydraulique où l'on se situe. Si le nombre de quatre aléas a été conservé par souci d'homogénéité avec l'ensemble des autres travaux de l'Équipe Pluridisciplinaire, leur définition a été adaptée aux spécificités de l'activité agricole. En la matière en effet, une plus grande hauteur d'eau ou l'existence d'un courant sont souvent des éléments déterminants d'une forte variation de l'endommagement¹⁷⁴. La définition d'un même aléa (auquel correspond donc un seul coefficient de dommages) ne saurait ainsi comporter plusieurs combinaisons hauteur/vitesse¹⁷⁵ dans la mesure où l'un de ces paramètres est souvent déterminant de manière isolée.

Le coefficient de dommages unitaire pour une période de crue et un aléa donnés a été calculé de la manière suivante :

• pour un hectare d'une occupation du sol de chaque type, en multipliant :

- un coefficient (pourcentage) dit « de période » correspondant à la fraction de la production annuelle de l'hectare considéré concernée par la crue. Cette notion vaut surtout pour les cultures à cycle court, dont on peut faire plusieurs cycles par an : un cycle pourra être complètement détruit sans que la totalité de la production annuelle le soit (les autres cycles restant faisables) ;
- un coefficient (pourcentage également) dit « d'endommagement »¹⁷⁶ qui caractérise l'ampleur de la destruction de récolte affectant l'hectare considéré ;
- une somme en kF correspondant à la valeur totale de la production de l'hectare considéré¹⁷⁷, à laquelle il faut rajouter son coût de reconstitution dans le cas de plantations pluriannuelles.

• pour un siège d'exploitation de chaque type, en faisant la somme :

- de la valeur des dommages au matériel (en distinguant matériel de cultures, équipements de traite, matériel d'irrigation) ;
- de celle des stocks (de céréales, de fourrages, d'intrants) ;
- de celle des bâtiments agricoles.

174. Ainsi par exemple une culture de maïs presque à maturité peut résister assez bien à une submersion assez prolongée, mais sera presque entièrement détruite s'il y a un fort courant. De même une variation de deux mètres de hauteur d'eau modifie considérablement les dégâts aux stocks de céréales (cellules verticales) ou de foin (balles empilées).

175. Comme c'est le cas par exemple dans l'Atlas des zones inondables.

176. Ces notions de coefficients de période et d'endommagement avaient déjà été introduites dans les travaux du Plan Loire sur l'agriculture spécialisée.

177. C'est généralement le produit brut/ha, auquel on rajoute les éventuelles primes PAC si elles sont perdues du fait de l'inondation. Les produits bruts moyens à l'hectare ont été notamment repris dans les barèmes de calamités agricoles des six départements concernés, complétés par avis d'experts.

Chacun de ces postes correspond à la multiplication d'un coefficient d'endommagement et de la valeur totale du matériel, des stocks ou des bâtiments (sauf pour certains types de matériel peu sensible où on a raisonné sous forme de forfait de nettoyage/remise en état). Les différents coefficients d'endommagement retenus s'appuient sur les hypothèses issues des avis d'experts recueillis lors de la troisième étape. Les valeurs totales du matériel, stocks ou bâtiments proviennent elles aussi principalement des avis d'experts, en raisonnant sur une exploitation « moyenne » modélisée.

4. LES PRINCIPAUX RÉSULTATS

L'évaluation des dommages agricoles réalisée en Loire moyenne a permis en premier lieu de faire apparaître les **critères hydrauliques** plus spécifiquement importants pour l'agriculture : la durée de submersion, la saison d'occurrence maximale de la crue, les vitesses, critères qui, par exemple, sont moins pertinents lorsqu'on s'intéresse aux habitats, que la hauteur d'eau.

Deux **typologies** ont ensuite été produites (cf. Encadrés 1 et 2), qui prennent en compte la quasi-totalité de la diversité de l'agriculture française puisque celle-ci se retrouvait dans le val de Loire, et dont les critères discriminants sont liés à l'objectif d'évaluation des dommages potentiels d'une inondation majeure.

Enfin, des **matrices d'endommagement** ont été réalisées. Elles permettent d'associer à chaque type de sièges d'exploitation ou d'occupation du sol, pour un aléa et une période d'occurrence maximale de la crue donnés, une valeur unitaire de dommages. Chacune de ces valeurs est encadrée par un intervalle de dispersion. Ces minima et maxima ont été calculés sans tenir compte de l'incertitude existante sur les coefficients d'endommagement (car cette incertitude est inévaluable, ces coefficients étant eux mêmes incertains) mais en prenant en compte les variations que l'on pouvait rencontrer localement sur les produits bruts des cultures, la valeur des stocks, la valeur des équipements et celle des bâtiments. L'intervalle de dispersion correspond donc à la dispersion « que l'on peut estimer ».

5. LA « VRAIE » ÉVALUATION RESTE-T-ELLE À FAIRE ?

L'évaluation, dont nous venons de présenter les caractéristiques et les principaux résultats, n'aborde à notre sens qu'une dimension quantitative de la **vulnérabilité**¹⁷⁸ de l'activité agricole au phénomène d'inondation, à savoir l'évaluation monétaire des dommages directs qu'elle risque de subir. Bien que constituant un premier pas intéressant, elle laisse de côté de nombreuses autres dimensions de la vulnérabilité, plus qualitatives, pour trois raisons :

– tout d'abord, elle s'intéresse soit à la parcelle, soit aux bâtiments, équipements et stocks concentrés au siège des exploitations. Elle ignore ce faisant la logique propre de l'exploitation agricole prise dans son ensemble, qui est probablement une composante clé de la vulnérabilité (notamment à travers le « degré de dépendance » du système de production de la zone inondable : les animaux peuvent-ils être transférés sur les terres de coteaux ? la totalité de la surface agricole est-elle inondable ?...). Par ailleurs, la vulnérabilité dépend également de la nature des filières agricoles auxquelles les exploitations appartiennent et des liens de solidarité (assurantielle, coopératives, entraide) auxquels elles peuvent prétendre : la dimension du territoire apparaît donc également fondamentale dans l'approche de la vulnérabilité.

178. Qui peut se définir comme la sensibilité d'une activité à la submersion.

– ensuite, elle est essentiellement centrée sur un cycle annuel de production (à l'exception des calculs de dommages aux cultures pérennes). Certaines dynamiques de fonctionnement des systèmes de production, largement pluriannuelles (dizaine d'années pour l'amélioration génétique d'un troupeau par exemple), sont ainsi négligées.

– enfin, elle ne s'intéresse qu'aux dommages subis et jamais aux bénéfices éventuellement retirés du caractère inondable (nature des sols, apports éventuels d'éléments fertilisants), qui peuvent constituer aussi un élément du bilan de la vulnérabilité.

Au total, approcher véritablement la vulnérabilité de l'agriculture aux inondations nécessite de prendre en compte son fonctionnement en terme de « système », avec ses différents niveaux spatiaux (le système de production, la filière, le territoire) et ses dynamiques temporelles (trajectoires d'exploitations, évolution des filières). Une telle approche est donc beaucoup plus globale que l'évaluation des dommages présentée ici, et représentative des quelques travaux du même type réalisés à ce jour sur cette question. La « véritable » évaluation reste donc en quelque sorte à réaliser (les auteurs engagent actuellement des recherches en ce sens), avec une méthode à définir mais en tout état de cause basée sur les concepts de système agricole et de système de production. Compte tenu des différentes dimensions de la vulnérabilité (économique, sociale, psychologique...), ses résultats ne s'exprimeront probablement que mal en un seul chiffre monétaire, mais on peut d'ores et déjà envisager l'intérêt qu'ils présenteront :

– du fait des éventuels renversements de perspective qu'ils pourraient apporter, par exemple entre certains types d'exploitations très capitalistiques et produisant un chiffre d'affaires à l'hectare très élevé, d'une part, et des systèmes de production plus extensifs, d'autre part. Les premiers subissent certes des dommages très importants, mais pourront dans certains cas s'avérer peu vulnérables (s'ils sont bien assurés et si leur cycle de développement n'est pas pluriannuel par exemple). Les seconds ont des dommages a priori faibles mais peuvent s'avérer beaucoup plus vulnérables (parce qu'ils ne sont pas insérés dans une filière solide par exemple) ;

– en matière d'appréciation des véritables marges de manœuvre de l'agriculture face aux inondations, élément indispensable à la bonne réussite des négociations à réaliser dans le cadre des politiques de prévention. Les agriculteurs sont en effet souvent les propriétaires et/ou les gestionnaires effectifs des terrains concernés par ces politiques, qu'il s'agisse de mettre en place des casiers de surstockage ou de maintenir des champs d'expansion de crue.

Encadré n° 1 : Typologie de l'occupation des sols

- **Prairies de fauche ou d'ensilage** : on a distingué le mode d'exploitation des prairies en raison de la différence qu'il introduit en terme de dommages. En effet, une inondation de printemps qui endommage totalement la coupe de fauche représente une perte d'herbe de mars (début de la pousse) à mai ou juin (date de la coupe), alors que la perte est moindre dans le cas d'une prairie pâturée (durée de la crue + ressuyage).
- **Prairies pâturées** : cf. ci-dessus.
- **Cultures d'hiver** : ce type regroupe les céréales d'hiver (blé, orge) et le colza, qu'il n'est pas apparu nécessaire de distinguer du point de vue de l'évaluation des dommages. En revanche il importait de distinguer cultures d'hiver et cultures de printemps du fait de l'importance du stade cultural dans l'évaluation des dommages.
- **Cultures de printemps** : ce type regroupe les principales cultures de printemps (maïs, tournesol), qu'il n'est pas apparu nécessaire de distinguer du point de vue de l'évaluation des dommages.
- **Vigne** : ce type regroupe les vignes AOC et les vignes destinées à la production de vin de table. Les écarts de dommages au sein de ce type sont pris en compte dans l'intervalle de dispersion.
- **Asperges et fraises** : un type particulier a été fait pour ces deux productions, qui représentent des surfaces très faibles, mais des dommages unitaires très élevés.
- **Vergers** : les dommages à l'hectare de ce type proviennent des travaux du Plan Loire.
- **Légumes frais de plein champ** : ce type représente toutes les productions légumières de plein champ du val de Loire (betterave, pomme de terre, poireau...). Elles ont pour caractéristique commune de très mal résister à la submersion prolongée. La valeur des dommages à l'hectare est une moyenne pondérée (par rapport aux superficies qu'elles occupent dans la zone d'étude) des différents produits bruts de ces cultures.
- **Maraîchage sous abri** : les dommages à l'hectare de ce type proviennent des travaux du Plan Loire, et correspondent à la situation de l'Orléanais. Cette occupation du sol étant beaucoup plus rare dans le reste de la Loire moyenne, cette approximation est satisfaisante.
- **Horticulture sous serres** : ce type est issu de la typologie horticole réalisée par le Plan Loire, et regroupe des occupations du sol présentant des dommages très élevés à l'hectare : pépinières sous serres, horticulture sous serres, horticulture florale de plein air (qui est assez rare donc non mentionnée par commodité dans l'intitulé du type).
- **Pépinières en plein air** : ce type regroupe les pépinières en « pleine terre » et pépinières « en pot », dont les dommages à l'hectare sont globalement moins élevés.

Encadré n° 2 : Typologie des sièges d'exploitation

- **Grandes cultures** : céréaliers spécialisés, pratiquant généralement le stockage de grain.
- **Grandes cultures + bovins viande** : association d'un atelier viande basé essentiellement sur l'utilisation du foin et d'un atelier grandes cultures.
- **Polyculture** : exploitations pratiquant le maraîchage de plein champ, quasiment toujours associé à la grande culture du fait des contraintes de rotation.
- **Lait** : il s'agit principalement d'élevage bovin laitier, avec une part de grandes cultures (ne serait-ce que pour la production de paille). Les élevages caprins en zone inondable ont été également regroupés dans ce type, ce qui se justifie principalement par la présence d'une salle de traite, élément central des dommages de ce type de siège d'exploitation.
- **Maraîchage sous serres** : il est généralement pratiqué par des exploitants spécialisés, du moins dans l'Orléanais. Les dommages de ce type de siège d'exploitation ont été repris dans les travaux du Plan Loire.
- **Horticulture sous serres** : les dommages de ce type de siège d'exploitation ont été repris dans les travaux du Plan Loire.
- **Pépiniéristes** : les dommages de ce type de siège d'exploitation ont été repris dans les travaux du Plan Loire.
- **Arboriculture** : les dommages de ce type de siège d'exploitation ont été repris dans les travaux du Plan Loire.
- **Hors sol volailles** : il en a été fait un type particulier alors que la production de volailles n'exclut pas la présence d'autres ateliers, grandes cultures en particulier. Mais l'importance du capital bâtiment liée à la production hors sol justifie ce choix.
- **Viticulture** : on y retrouve les vigneron AOC et les non AOC. Les volumes stockés dans ces sièges d'exploitations sont élevés mais, semble-t-il, relativement peu sensibles à l'inondation (cuves métalliques fermées).

L'ÉVALUATION DES DOMMAGES AUX ACTIVITÉS INDUSTRIELLES ET COMMERCIALES

Bruno LEDOUX

BLC

Les impacts économiques des crues sur les activités sont encore mal connus et les fonctions de dommages ou d'endommagement disponibles ne peuvent être jugées comme étant satisfaisantes. En outre, la grande diversité des activités et le faible nombre de sinistres ayant fait l'objet d'évaluation des dommages ne permettent pas d'envisager un traitement statistique des données par branche d'activité¹⁷⁹.

Les limites des connaissances actuelles conduisent à « innover » en matière d'évaluation. Cette communication présente l'approche retenue pour apprécier les dommages aux activités industrielles et commerciales. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude concernant l'évaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations de la Loire moyenne.

1. LES SOURCES D'INFORMATION MOBILISABLES

La première étape de cette étude a consisté à identifier les sources d'information pouvant être exploitées de façon à améliorer la connaissance des dommages aux activités. Trois sources d'information ont été repérées puis analysées.

• *Les sociétés d'assurance et de réassurance*

À partir de 1982, il a été mis en place un système d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, dont l'État a confié la gestion au monde de l'assurance. On peut donc imaginer que les assureurs depuis 1982 disposent de données complètes sur les dommages.

Suite aux contacts pris avec les mutuelles (accueil favorable) et les compagnies d'assurance traditionnelles (peu motivées), il s'est avéré que ces acteurs disposaient d'informations très agrégées et peu compatibles avec le niveau de précision recherché (à savoir, mettre en relation un montant de dommages avec des paramètres hydrauliques).

Les sociétés de réassurance nationales et internationales, quant à elles, disposent d'une information encore plus agrégée et considérée comme étant confidentielle (à l'exception de la Caisse centrale de réassurance).

• *Les experts des assurances et des assurés*

179. La situation est très différente pour l'évaluation des dommages à l'habitat, pour laquelle on peut envisager de faire un traitement statistique des données, car la typologie de l'habitat n'est pas très variée et l'échantillon est important (en terme de nombre de dossiers exploitables).

Deux catégories d'experts peuvent être considérées :

- ceux qui interviennent pour le compte des compagnies d'assurance et qui sont soit salariés de ces compagnies, soit des consultants indépendants (majorité des cas) ;
- ceux qui interviennent pour le compte des sinistrés (experts d'assurés).

Ce groupe d'acteurs a une très bonne connaissance de la nature des dommages et de l'environnement du sinistre (la façon dont il a été vécu par les gens, leur comportement). Les experts disposent des informations de base (on trouve dans leurs dossiers une description des dommages et parfois des informations sur les caractéristiques des phénomènes physiques).

• *Les compagnies spécialisées en matière de nettoyage, d'assèchement et de décontamination après sinistre*

Ces acteurs ont une expérience très intéressante sur la nature des sinistres. Ils interviennent de plus en plus fréquemment à la demande des compagnies d'assurance qui ont compris que plus leur intervention était rapide, plus la remise en état des activités était facile et moins les remboursements (notamment en pertes d'exploitation) étaient importants¹⁸⁰. Leur expérience reste cependant limitée du fait de la nouveauté de la profession et de sa structuration actuelle¹⁸¹.

2. LA MÉTHODE DE TRAVAIL ET LES RÉSULTATS OBTENUS

Au vu des résultats de l'étape précédente, il a été décidé de réaliser une évaluation des dommages aux activités à partir de « dires d'experts ». Les experts intervenant pour le compte des sociétés d'assurance ont donc été sollicités pour fournir des informations à partir desquelles la construction de fonctions de coût a été envisagée.

Ces experts insistent beaucoup sur le caractère particulier de chaque sinistre. Ils sont capables de dire pourquoi tel sinistre a été important. Mais pour eux il est difficile d'avoir une approche globale et de prendre du recul.

En outre, ils ont une expérience des sinistres qui est très limitée car elle porte sur quelques dizaines d'entreprises au maximum. D'où la difficulté d'extrapoler cette expérience à un événement majeur simulé et d'imaginer les effets de seuil liés à l'ampleur de l'inondation (notamment spatiale).

Ce travail réalisé en collaboration avec les experts a permis de proposer à la fois des coefficients d'endommagement et des effets de seuils au regard de trois paramètres : la hauteur d'eau, la durée de submersion et le temps d'intervention des acteurs qui vont participer au redémarrage de l'activité.

Les résultats de ce travail sont de deux ordres :

- la définition de taux d'endommagement (aux bâtiments, à l'outil de production et aux stocks) en fonction des effets de seuil liés aux trois paramètres retenus ;

180. En cas d'inondation il y a des effets de seuils qui nécessitent une intervention rapide de la part des sociétés de nettoyage. Pour certaines entreprises, si on n'intervient pas dans les 24 heures à 48 heures, l'ampleur des dommages change du tout au tout.

181. Ce métier se développe en France depuis une dizaine d'années. Mais compte tenu de leur taille, les compagnies spécialisées ne peuvent intervenir que sur une dizaine d'entreprises en même temps.

– la définition de fonctions d'endommagement sur la perte d'exploitation à partir d'un certain nombre d'hypothèses (concernant le temps de remise en état, en fonction de l'ampleur du dommage à l'outil de production)¹⁸².

Les coefficients d'endommagement choisis ont été appliqués à des valeurs moyennes, définies à partir de l'exploitation des données INSEE (valeurs moyennes des stocks et du bâti pour différents types d'activité à la fois par entreprise et par salarié), ce qui a permis d'obtenir des montants de dommages sur les différentes activités.

3. CONCLUSION

L'évaluation des dommages aux activités a souligné l'importance de la connaissance de l'environnement du sinistre et de son rôle dans l'ampleur des dommages indirects.

Elle a également montré l'intérêt de travailler avec les acteurs qui participent au redémarrage d'une activité (les organismes consulaires, les sociétés de nettoyage, les experts des sociétés d'assurances...) pour obtenir des informations qualitatives sur la façon dont est gérée la situation post-crise, qui influe largement sur l'ampleur des dommages.

182. Pour l'étude Loire, ont été élaborées entre 40 et 50 fonctions d'endommagement. À titre de comparaison, dans le cas de l'étude Seine, une quinzaine de fonctions d'endommagement a été considérée.

IMPACT DES INONDATIONS SUR LA FISCALITÉ LOCALE

Bruno ROUDIER

EDATER

1. CADRE DE LA DÉMARCHE

Il s'agit d'une démarche exploratoire menée dans le cadre de l'étude Loire moyenne, qui a pour but d'apprécier les conséquences indirectes d'une crue sur la fiscalité locale. Cette question n'a quasiment jamais été abordée à ce jour dans les évaluations économiques liées aux inondations. Les études conduites à la suite de la catastrophe de Nîmes ont attiré l'attention sur l'importance de ce type d'effet induit¹⁸³.

On rappellera que les investissements économiques qui sont réalisés au niveau national par les collectivités territoriales représentent 11 % du PIB. Les recettes fiscales représentent en moyenne pour les collectivités locales entre 40 à 50 % de leurs recettes. L'équilibre financier d'une commune tient donc en grande partie à ces ressources fiscales. La taxe professionnelle représente à elle seule 50 % de l'ensemble des recettes fiscales dont disposent les communes.

La présente étude est un premier essai d'analyse des pertes éventuelles de taxe professionnelle pour les collectivités locales à la suite d'un sinistre. Plusieurs facteurs contraignants doivent être pris en compte dans l'analyse et son interprétation :

- le peu d'éléments de retour d'expérience sur le sujet ;
- la nécessité de bâtir des hypothèses d'analyse et de calcul qui ne valent que pour le scénario décliné ;

l'existence d'effets « dominos » et d'effets temporels des impacts indirects conduit à bien borner l'analyse dans l'espace et dans le temps (le calcul de perte effectué porte sur une année). On peut considérer qu'au-delà, une « non-perception » de la taxe constitue un manque à gagner.

2. OBJECTIFS VISÉS ET MÉTHODE DÉVELOPPÉE

L'objectif consiste dans un premier temps à évaluer le poids des pertes fiscales potentielles des collectivités locales en cas de sinistre et dans un second à apprécier l'impact de ces pertes par rapport à d'autres dommages pour un même sinistre.

183. Voir la communication de Claire Arnal et de Philippe Mazure sur les effets socio-économiques de la catastrophe de Nîmes d'octobre 1988.

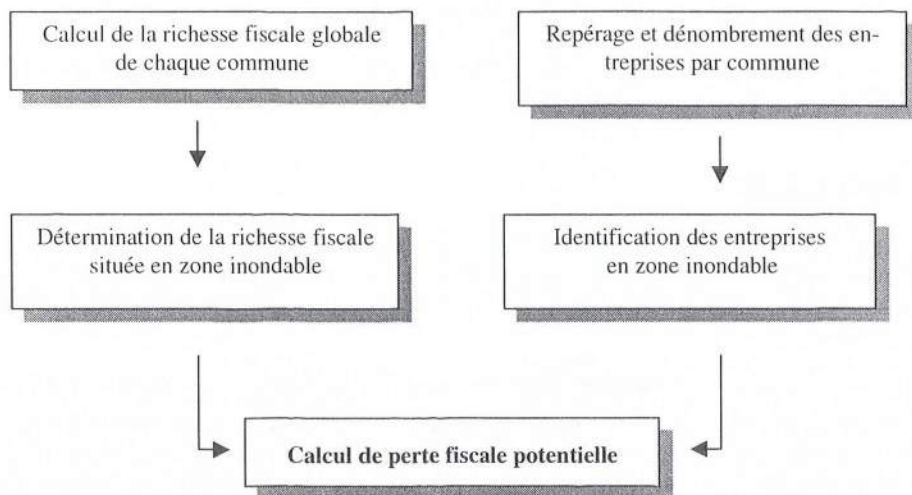
- La démarche s'est déroulée en trois temps :
 - établissement de l'hypothèse d'analyse ;
 - mise au point d'un modèle d'évaluation des pertes fiscales fondé sur des indicateurs d'impacts fiscaux ;
 - test de la méthode par expérimentation du calcul sur une quinzaine de communes de la Loire moyenne (échantillon considéré comme représentatif).
- L'hypothèse d'analyse retenue est maximaliste : 100 % des entreprises qui se situent dans la zone inondable cessent leurs activités à la suite d'un sinistre. Ce choix a été fait pour les raisons suivantes :
 - sur la Loire et compte tenu de l'absence de retour d'expérience, rien ne permet de dire que ce type de scénario ne peut pas se produire ;
 - on ne dispose pas de suffisamment d'informations pour connaître et comprendre le comportement précis des entreprises en cas de sinistre (d'où des difficultés pour affiner le modèle) ;
 - il paraissait plus réaliste de rester au niveau d'une approche globale, qui a le mérite d'être robuste (pour cette hypothèse, les chiffres que l'on risque d'obtenir ont des chances d'être plus justes). On peut considérer que cela constitue une base de départ, à partir de laquelle on peut chercher à affiner le modèle sur la base d'hypothèses nouvelles et plus circonscrites.
- Le travail a été mené en collaboration étroite avec les collectivités locales, qui ont fourni les informations économiques et financières (liste des établissements, données fiscales), puis validé les chiffres de l'évaluation. Des règles de confidentialité ont été définies et respectées ce qui a permis de rassembler les informations.

Il est essentiel de souligner ce point car la fiscalité locale est une donnée sensible, qui bien que publique, n'est jamais simple à récupérer. L'exercice n'a été possible qu'avec l'accord et la participation des collectivités et selon des règles à respecter. Par exemple, il n'a pas été possible de rencontrer directement les entreprises situées sur les communes concernées. Dans un premier temps, des contacts auprès des services fiscaux ont été pris mais n'ont pu aboutir.

- Pour le calcul des pertes fiscales, deux démarches parallèles ont été conduites :
 - repérage et dénombrement par commune des entreprises qui se trouvent en zone inondable ;
 - calcul de la richesse fiscale globale de chaque commune.

Pour chaque commune étudiée, un calcul de la richesse fiscale globale a été réalisé à partir des informations fournies par les communes. Sur la base de cette connaissance, la richesse fiscale située en zone inondable a été déterminée. Une fois connue cette donnée, les pertes fiscales potentielles ont été calculées (taux potentiels de perte fiscale).

La démarche mise en œuvre peut être schématisée comme suit :



3. RÉSULTATS

Pour les 15 communes étudiées, la perte fiscale totale a été estimée à 40 millions de francs. En faisant des extrapolations pour l'ensemble de la Loire moyenne, on arrive à une fourchette de 80 à 120 millions de francs ; ce qui représenterait un peu moins de 1 % de la masse monétaire liée à l'ensemble des dommages estimés dans l'hypothèse d'une crue centennale sur la Loire. Dans l'échantillon considéré, les pertes sont fortement concentrées : la commune de Saumur concentre à elle seule 50 % des pertes.

Les chiffres qui ressortent de cette expérimentation doivent être considérés avec prudence et mériteraient un approfondissement de la méthode. Ils fournissent néanmoins quelques tendances. Au premier abord, les valeurs peuvent sembler relativement faibles notamment au regard des autres dommages liés à un sinistre.

En fait, de tels chiffres globaux peuvent être trompeurs et dénaturent la réalité du terrain. La mécanique économique est souvent plus complexe que cela. Ils mettent en exergue l'importance du questionnement suivant : **de quel point de vue se place-t-on ?**

Avec un regard extérieur et un raisonnement macroéconomique (problème également évoqué quand on considère que la crue est bénéfique car elle permet de reconstruire), ce pourcentage est en effet dérisoire.

Si on accepte de se placer à l'intérieur du territoire, l'enjeu est tout autre. Pour certaines communes, comme les Ponts-de-Cé (Indre), le sinistre peut avoir un impact fiscal dramatique car c'est l'ensemble de l'équilibre économique de la commune qui est susceptible d'être remis en cause. Ainsi, dans le cas de cette commune, sur un an 73 % de la taxe professionnelle seraient perdus en cas de crue.

Pour se convaincre de l'importance du regard porté et de l'angle choisi, les enjeux économiques de la Loire ont été replacés par rapport à leur environnement. Si on veut appréhender les conséquences d'une crue, il ne faut pas se contenter de considérer les enjeux sur le linéaire du cours d'eau et de comparer les poids de chaque zone inondable (ce qui permet une première

hiérarchisation des enjeux). Une autre approche consiste à hiérarchiser les enjeux par rapport aux territoires environnant de ce linéaire (car les régions et départements dont une partie du territoire se trouve en zone inondable vont subir des pertes).

Il n'est pas rare de constater que 50 % des enjeux économiques dans certaines portions de la Loire moyenne se situent en zone inondable.

4. CONCLUSION

Cette démarche exploratoire a montré qu'une source d'information intéressante peut être valorisée davantage : les recettes fiscales des communes. Il s'agit d'une information robuste et mise à jour annuellement (qui peut donc être collectée régulièrement pour enrichir une base de connaissance).

L'analyse des enjeux économiques doit s'orienter vers deux directions trop souvent négligées :

- l'économie locale. L'analyse des impacts ne peut être que macroéconomique. Elle doit prendre en considération des mécanismes locaux et leurs interactions. La perte d'exploitation de l'entreprise se traduit à un moment ou un autre par une perte pour la collectivité locale puis une perte pour la société locale en général. Ce point devrait être approfondi.
- le territoire et leurs acteurs. Il faut davantage prendre en compte les spécificités des territoires et leurs acteurs. Cela plaide sans doute pour des approches plus qualitatives en matière d'évaluation des impacts.

Par ailleurs, l'approche par la fiscalité ne peut-elle constituer un outil original de sensibilisation des collectivités au risque d'inondation ? On sait à quel point elles y sont sensibles. Ce serait sans doute une approche convaincante et opérationnelle.

EXEMPLES DE PRATIQUES ÉTRANGÈRES

PRÉAMBULE

Cette troisième partie regroupe les expertises sur les pratiques d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations de quelques pays étrangers. Cette analyse permet de positionner l'expérience française par rapport à d'autres pays, soulignant ainsi les différences et les similitudes entre les approches (en terme de contenus, de méthodes...). Elle permet également de mettre en évidence la place occupée par les études socio-économiques dans les politiques de gestion du risque d'inondation et le rôle qu'elles jouent dans les décisions publiques. Les enseignements tirés de cette analyse comparative sommaire sont synthétisés et présentés dans la première partie.

Quatre pays, connus pour leur expérience dans le domaine traité, ont été choisis : l'Angleterre, les Pays-Bas, l'Allemagne et l'Amérique du Nord.

Pour les trois premiers pays, l'analyse a été confiée à des scientifiques impliqués concrètement dans le développement des méthodes d'évaluation et leur mise en œuvre sur le terrain. Leur contribution est rédigée en anglais. Ces experts ont par ailleurs participé à deux programmes de recherche européens ayant pour objectif d'améliorer les connaissances sur les causes, les impacts et les réponses apportées au risque d'inondation dans différents pays européens¹⁸⁴. Il s'agit des personnes suivantes :

- Edmund Penning-Rowsell, professeur à l'université du Middlesex en Grande-Bretagne ;
- Herman G. Wind, professeur à l'université de Twente aux Pays-Bas ;
- Reinhard F. Schmidtke, professeur honoraire à l'université technique de Darmstadt en Allemagne.

Pour l'Amérique du Nord, l'état des lieux a été réalisé par Bruno Ledoux à partir d'une revue de littérature. Le texte correspondant est en français.

Les quatre expertises sont présentées suivant un même plan, un guide de rédaction ayant été établi préalablement et fourni aux experts. Sont abordés successivement les aspects suivants :

- un éclairage sur les grandes étapes d'évolution de l'état de l'art en matière d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations ;
- une analyse du rôle respectif des pouvoirs publics, des chercheurs et des bureaux d'étude dans le développement des pratiques d'évaluation ;
- une présentation de la situation actuelle en regard des types d'impacts pris en compte, des méthodes d'évaluation utilisées et des échelles spatio-temporelles considérées ;
- un point de vue sur l'adéquation entre offre de méthode et demande d'évaluation ;
- les perspectives de développement et d'évolution pressenties.

184. EUROFLOOD 1 (sur la période 1992-1994), *Flood across Europe : flood hazard assessment, modelling and management*. EUROFLOOD 2 (sur la période 1993-1996), *Improving flood hazard management across Europe*.

EVALUATING THE SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF FLOODING. THE SITUATION IN ENGLAND AND WALES

Professor Edmund PENNING-ROWSELL¹⁸⁵

1. THE ROLE PLAYED BY THE EVALUATION OF THE SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF FLOODING IN RISK MANAGEMENT

1.1 Historical evaluation

Economic evaluation became part of risk management in England and Wales during the 1960s. As far as can be ascertained this was fairly informal, but constituted what was called a "worthwhileness test". In many cases this was simply calculated as a percentage of total asset value (10% was used in the Thames region), and it is not at all clear that proper project appraisal techniques were used.

The situation is slightly complicated by the fact that responsibility for coast protection shifted from the Department of the Environment to the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food in 1985. This is important because many coastal erosion projects also protect the coast from flooding, and the two are inter-connected. Again, a very simple test of "worthwhileness" was used by the Department of the Environment in the 1970s and the 1980s for assessing the benefits of erosion protection, and it was not until later than this that a more systematic procedure was introduced.

As regards who initiated the first investigations into the subject, this was undoubtedly done by government. The Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF) was responsible for the test of "worthwhileness" indicated above, and required the Catchment Boards and River Authorities (until 1963) to undertake this test when seeking central government grant aid for financing flood protection works. The reason for this test was to ensure that government money, in the form of grant aid paid by MAFF to the River Authorities, was justified, as part of a general programme for ensuring efficient use of government resources raised by way of taxation. In turn, the Treasury required MAFF to undertake these tests as a way of determining how efficient was the expenditure being incurred by that department on behalf of government as a whole. In this respect it is important to realise that the vast majority of expenditure

185. Middlesex University – Flood Hazard research Centre
Queensway, Enfield
Middlesex. EN3 4SF. ENGLAND
Tel : 0181 362 5359
Fax : 0181 362 5403
Email : E.Penning-Rowsell@mdx.ac.uk

on flood protection works in England and Wales comes from taxation, either in the form of grant aid from central government or as a precept (that is to say a local tax) levied by the flood protection authorities on Local Authorities.

The following major steps in the method developed for the evaluation of the socio-economic impact of flooding are therefore as follows:

- Worthwhileness test (see above): 1960s;
- The “Blue Manual” approach (1977 onwards);
- The Project Appraisal Guidance Notes period: 1993-1998 ;
- In addition, a new development is currently taking place to replace PAGN with PAG3.

The above steps reflect the development of both research and thinking with regard to investment in flood protection. The research results presented in 1977 (*The Blue Manual*) made the evaluation of the economic effects of flooding much more systematic. This applied both to the agricultural sector (where a number of important mistakes were made in that Manual), and the urban flood protection situation. The production of new data and methods was important, and the Blue Manual was complemented by the Red Manual in 1987 which added information on indirect effects of flooding. The thinking behind the socio-economic justification of flood protection works has also shifted since the 1980s, with the introduction of sustainability criteria for government expenditure. This has led to the broadening of the scope of project appraisal techniques (see Annexe C), and will no doubt lead to further research.

1.2. The present state of research

Approximately three research teams are currently working in this subject area:

a) Middlesex University, Flood Hazard Research Centre, Queensway, Enfield, Middlesex. EN3 4SF.

This team has been working on this subject for about 25 years, and has produced many papers, books and manuals.

b) CSERGE, University of East Anglia, Norwich, NR14 7TJ. Telephone: 01603 593176, Fax: 01603 507719, e-mail r.k.turner@uea.ac.uk.

This team has been working in this area for perhaps 10 years, although Tim O’Riorden has been working in this field for about 30 years (at a more general level than the socio-economic impacts of flooding; more concerned with risk assessment and risk management).

c) Joe Morris and colleagues, Silsoe College, Silsoe, Bedford MK45 4DT. Telephone: 01525 863000, Fax: 01525 861527, e-mail: j.morris@cranfield.ac.uk

Silsoe College has been working in this area since the 1980s, but only on the agricultural effects of flooding and the agricultural benefits of flood protection schemes (including land drainage schemes).

d) Risk and Policy Analysis. Farthing Green House, 1 Beccles Road, Loddon, Norfolk NR14 6JL. Telephone: 01508 528465, Fax: 01508 520758, e-mail: post@rpaltd.demon.co.uk

This is a small team of consultants working in the areas between consultancy and research, but they have undertaken investigations of the benefits of flood protection, particularly at the interface between risk assessment and benefit assessment.

The commitment to research on the socio-economic impacts of floods from these different teams is episodic. There is no underlying core funding to any of these teams, although CSERGE has received core funding from the Economic and Social Research Council to investigate areas of environmental economics including those areas relating to flood protection works. However, their core funding is not specific to flood protection, but specific to environmental economics and policy generally.

It is not possible to answer the question "what are the results of recent or current studies?". Each of the above organisations has produced books, manuals and research papers, and the results will be contained within those papers. The appendix to this report includes the publications list of Middlesex University, Flood Hazard Research Centre and other publications lists as have been obtained (including that for CSERGE).

In general, the above programmes have been funded by the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, as the responsible government department for flood protection in England and Wales. In some cases the initiatives have come from the researchers themselves, such as the research leading to the Red Manual. In other cases the initiative has come from government itself, which has recognised deficiencies in project appraisal approaches and has commissioned research through the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food to Universities or occasionally to consultancy groups. As indicated above the motivation for these initiatives from government have come from the need to optimise the use of government expenditure. Initiatives from individual researchers and research groups have come out of the recognition that risk management must be based on better economic and social data, and research groups have sought research funds to further this aim and also to keep their Centres operational.

1.3. The present state of research organisations

With regard to putting into practise the results of research, this has been extensive.

First, the *Blue Manual* was adopted by the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food as encapsulating methods approved by the Ministry for the appraisal of urban flood alleviation schemes. This particularly applied to the data on flood damages, whereas the computer model (ESTDAM) has not had the same official approval (because government departments tend not to approve models). Nevertheless, there can be few flood alleviation schemes that have been appraised since 1977 which have not used the data contained within the Blue Manual, and the subsequent Red Manual. This has been enforced by the acceptance by MAFF of the data, and the fact that all flood alleviation schemes which qualify for grant aid from Central Government have to have their benefit-cost analysis approved by Ministry regional engineers and, if of a sufficient size, by headquarters in London.

Thus it has been official policy that the methods developed at Middlesex University have been used in this way, and their use has been extensive. This applies to both small schemes implemented by Local and Regional Flood Defence Committees and major schemes involving central government (for example the Maidenhead flood alleviation scheme). Perhaps the only scheme where these research results were *not* used is the Thames Barrier because that was approved prior to 1977 and, in any case, was perceived to generate such significant benefits that no benefit-cost analysis was ever formally undertaken.

Therefore, the project appraisal framework outlined in the Blue Manual has been used extensively, as has the data. The work on agricultural benefits therein was found subsequently to be somewhat flawed, owing to the fact that it advocated using unadjusted gross margins (this was tested at the Amberly Wild Brooks Public Inquiry in 1978).

Silsoe College (part of Cranfield University) developed the agricultural methods subsequently, building on the work in the Blue Manual, and adjusted gross margins now form the basis of benefit assessment of agricultural drainage and flood protection schemes, although such schemes are now very rare.

As far as consultancies developing their own tools is concerned, this is rare. Nevertheless Middlesex University has undertaken many project appraisals in a consultancy mode of operation, and some methods have developed during these pilot and developmental studies. In addition much work has been done by consulting engineers on modelling hydraulic profiles with which to appraise urban flood protection schemes, and these profiles form the basis of damage assessments which in turn drive the economic analysis of flood protection schemes.

Therefore while there has been innovation on the engineering side of project appraisal (modelling in particular), there has been little innovation that we can detect in project appraisal techniques specifically focusing on economic analysis outside Universities and research organisations. Perhaps the only example would be work on joint probability analysis (largely related to coastal flood protection schemes) undertaken by RPA (Risk and Policy Analysis Limited). Even in this case, however, it is not clear that techniques have been researched and thereafter used; rather project appraisals that have required joint probability analysis have been fine-tuned by RPA and its staff.

In summary, therefore, most of the innovation in economic appraisal of flood alleviation schemes has been undertaken in academic organisations, and applied by a variety of water and engineering consultancies and agencies. Little innovation has occurred outside the University sphere, although individual agencies have developed better approaches for applying the data derived by Universities and others, within their project appraisal techniques (specifically related to GIS developments of flood damage assessment models).

1.4. The present state of economic analysis of flood alleviation schemes with respect to Public Authorities and other potential users.

- Economic evaluation is in common practise in public policy concerning risk management with a regard to floods. Indeed, benefit-cost analysis is required in order for grant aid to be paid by Central Government to local organisations (see above).
- Most of the evaluations are carried out in relation to flood alleviation construction projects, through using this data and methods, which are also used to guide maintenance regimes (particularly the standard of maintenance). The data could be used by Local Authorities to regulate the use of land in flood plains (zoning), but this appears to be rare. Such zoning decisions are generally not made on the basis of economic analysis, which could be used to discourage high value land uses locating in flood prone areas. In general, in contract, such decisions to locate developments in flood plains are undertaken more intuitively, so that car parks, caravan sites, industrial areas, and so on - being low damage potential land uses - tend to be located in flood plains, whereas residential development is discouraged there. Obviously there are exceptions to this, but little-if any-formal economic analysis enters into these calculations of risk management.

As far as we know the data developed in these research project has not been used to compensate flood victims for damage incurred during floods, since such compensation is very rare indeed in Britain.

Developments are taking place to use the flood damage data developed at Middlesex University for the insurance industry, converting it from economic data to financial data. This could

then be used to rate insurance policies for individual premises, and also used by insurance companies to determine overall portfolio exposure.

- Economic evaluation is central to decisions about flood alleviation investment; therefore economic evaluation does play a vital part in public policy making. Indeed, the whole approach of Central Government is one where investment decisions are based on benefit-cost analysis, rather than standards of service, although there is a debate between the Environment Agency and MAFF on this matter. The Agency would prefer some element of standards of service to be incorporated within economic analysis, and to a certain extent the PAGN document does this. However, MAFF (and the Treasury behind MAFF) are much more concerned to ensure economic efficiency dominates decision making, rather than “arbitrary” levels of service based on assumed flood damage potential.

1.5. The development of economic methods and their application

As indicated above, economic methods have been the subject of detailed research in England and Wales, focusing on both flood damage data and models with which to assess flood vulnerability (both direct damage and consequential losses).

Once these methods, models and procedures have been developed they have been used extensively, and are central to government decisions concerning approximately £300m per annum of investment in flood defence works (both by the Environment Agency and by coast protection/sea defence authorities).

The whole process has been driven by the need to ensure that public sector investment in this field is efficient, rather than the economic evaluation of this investment being driven by community groups or the water agencies themselves.

Only recently have there been developments to extend the use of this data into the insurance industry, but little use appears to have been made of it by Local Authorities making land use zoning decisions.

2. THE PRESENT SITUATION

- The following is the list of impacts of floods that are to be evaluated in this section:
 - Direct agricultural damage (crops, farm materials, and buildings);
 - Direct damage to homes (buildings and furniture);
 - Direct damage to industry (stock, production tools, buildings);
 - Direct damage to public property (roads, infrastructures, art works, public buildings);
 - Personal injury ;
 - Indirect personal injury (impacts on physical health and/or psychological well being);
 - Indirect economic damage (loss of farm land, interruption of economic activities, impacts on a regional and national scale);
 - The expenses incurred through crisis relief.
- In addition to this list one could also add the following:
 - Damage to vehicles;
 - Damage to commerce;

- Damage to retail premises;
- Traffic disruption (rail; road; etc.);
- Secondary impacts of damage to public sector infrastructure (sewage treatment, water supply, gas, telecom, etc.).

2.1. The types of methods used and the area considered

- The monetary methods (damage curves, etc.) are well developed. The Blue Manual provided much information on damage potential to residential property, retail premises and industrial premises (the latter from case studies). The Red Manual extended this to provide better data for industrial flood losses (eliminating some theoretical inaccuracies incorporated into the Blue Manual data), and also much data on the secondary impacts of flooding on industrial, retail and commercial property. The FLAIR report (published in 1990) updated these damage curves, and extended the residential flood damage depth-curves by incorporating a larger number of household inventory items. The scales used are depth flooding in metres (restricted to 3.0 metres of floodwater), scaled against flood damages (£). There is no attempt to relate these losses to total asset values, as is done in many countries, because asset value was not the base approach to vulnerability assessment. Rather the damage data is built up from inventory and other building fabric information, as synthetic depth-damage curves.
- Qualitative methods are not well developed, although work on the intangible effects of flooding on households has used qualitative scales (and ranking scales). Multi-criteria analysis is not well developed in the appraisal of protection schemes in England and Wales, since the Government requires a narrower project appraisal vehicle in the form of a benefit-cost analysis.
- As I understand it, vulnerability analysis is an attempt to incorporate risk assessment, damage assessment and some variables attempting to quantify the ability of the community or business concerned to respond and recover from a flood event. It should be added, of course, that others have different definitions of vulnerability, and this needs careful attention.

Having defined vulnerability as above, this type of assessment is not common with project appraisals of flood protection schemes. This is because no systematic attempt is made to gauge the response of the public (or others) to the flood in terms of either resilience or the ability to recover. Therefore, it would be possible, theoretically, to provide a lower standard of flood protection to those with a greater ability to recover from a flood, but this is not done in England and Wales. Rather, the economic analysis simply concerns the comparison of the cost of any works gauged against the benefits that they provide.

These benefits are not rated in any way in England and Wales to reflect differential ability to recover from the flood; in a way this is a deficiency. Other things being equal flood protection should be provided to those least able to recover, and probably that means the poor. In England and Wales, benefit cost analysis leads to higher standards of protection for those who have most assets at risk from the flood, providing a somewhat perverse result.

2.2. Critical analysis of the current methods

2.2.1. Damage to homes (building and furniture)

The basic method developed by Middlesex University for the assessment of potential flood damage to residential property has been to develop synthetic depth-damage curves for a range

of property types. These types include the basic property categories found in Britain (detached; semi-detached; flats; bungalows; terraced houses, etc.), and we have also derived data for sub-sets of these based on the age of the property (pre 1918; 1918-1945; 1945-1960; 1960-present). In addition, we have also developed sub-categories based on the social class of the occupants of the houses, to reflect the fact that those occupants in the higher income brackets have more assets, which are vulnerable to flooding. Therefore we have used the AB,C1,C2,DE social class classification used by advertising organisations to categorise the population into those with different purchasing powers.

The depth variable was calibrated with respect to actual examples of property being flooded, and also field surveys to determine assets at risk. In the case of the inventory data we determined inventory ownership from a sample of 35,000 properties surveyed by Audits of Great Britain, and have updated these since with purchasing information and ownership statistics. This updating has reflected the increase in flood damage potential generated over the years since 1977 owing to increased affluence and ownership of consumer goods.

The building fabric information was based on 21 property types (type and age), which affect repair costs following flood incidents. In all this research we have stressed the need to emphasise maximum potential flood damage, rather than reduced flood damage caused by actions following flood warnings. Nevertheless we have found that the effect of flood warning is not great, resulting in perhaps savings of 5% - 10% of asset value at risk, rather than anything more substantial.

The strengths of the method that we have developed are that we are deriving average flood damage potential for applicability across a wide range of property types. In addition, the database is very comprehensive, and reflects the experience developed over many years. Comparisons with loss adjuster assessments following actual flood damages shows that the methods are accurate, although we remain slightly worried that our figures under-estimate flood damage potential. This is because many properties have more assets than is accurately gauged by surveys of purchasing decisions, and also because flood damage susceptibility for modern goods is perhaps higher than has been appreciated in the past. Particularly important, in this respect, is the fact that flood damage exceeds the area actually flooded, within properties, and also flood damage occurs above the depths flooded by water (owing to a variety of factors including damage owing to damp and also damage owing to the need to move goods during flood events).

The weaknesses of the method are that it is always open to the criticism that it does not apply to particular properties. Particular properties will have different characteristics than the average describes adequately, and therefore properties with particular high value goods (large quantities of antiques and other vulnerable goods) will have their flood damage potential under-estimated. On the other hand, property occupied by very poor people would have its flood damage potential over-estimated, because such people do not have the volume and value of goods described within the average values.

With regard to the satisfactory nature of existing methods, we believe that the methods are valid, and they have been tested by various loss adjuster assessments. Uncertainties remain, as described above, when they are applied to particular properties, but they are satisfactory when applied to broad scale project appraisals involving several properties or thousands of properties. They may come into question when applied to single properties, particularly when insurance values are to be ascribed. There will also be property types that do not fit the average that we have given, particularly very modern buildings. Also, of course, they may not apply to very large properties (chateaux and large mansions), because the damage figures per square metre that we have derived may not match areas where large rooms are the norm.

2.2.2. Damage to industry (stock, production tools, buildings)

Within the information collected by Middlesex University in the Red Manual (and to a lesser extent in the Blue Manual) there is a substantial amount of data describing damage to industrial and to commercial premises. With regard to industrial premises, these generally concern small-scale workshops rather than major factories, although there is some information in the latter category.

All this information has been collected from field surveys of areas liable to flooding, and some of it has been collected in areas, which have been flooded.

The basic method is to use a questionnaire with which to structure a conversation with site managers and finance Directors to elucidate information on vulnerable property within the premises and its susceptibility to flooding. This is a broad-brush approach, rather than a detailed analysis (which would take many days or weeks to accomplish). It is designed for project appraisal methods, rather than insurance based adjustment of losses.

The method involves an analysis of stock levels, work in progress, machinery, and consequential losses. Information is generally contained within the Manuals on fixed asset losses (stock and machinery) and consequential losses, shown separately. In both cases the losses are expressed in damage per square metre, rather than damage per property, on the basis that damage per property is likely to be highly correlated with the size of the property rather than any other characteristic.

Middlesex University has data on several thousand such examples. As far as weaknesses are concerned, one is that this is liable to get out of date as manufacturing industry becomes more sophisticated and includes more electronic and electrical equipment, which is liable to flooding. Such equipment is likely to be more susceptible than older style manufacturing complexes, and therefore some of the information currently held may reflect inadequately the full damage potential in modern electronic and similar premises. There are several other weaknesses, not least the lack of detail contained within the data.

On the other hand, one of the strengths is that we know of no other information systematically collected on flood damage to industrial premises, yet these damages (converted into benefits) in our experience constitutes at least half of the benefits of most major flood alleviation schemes. In that respect we have found over time that it is not possible to justify major river or coastal works for flood alleviation purposes based just on the flood damage potential to residential property. This is an important conclusion developed by our experience over more than 20 years, yet it is inadequately reflected in the current state of research work and data on flood damage to industrial property.

The full validity of the results cannot easily be determined, owing to the methods used. Many of the flood damage potential data sets reflect potential damage, rather than actual damage and much of the material is derived in the form of synthetic depth-curves. The damage figures derived from examples of actual flood damage reflect small-scale workshops rather than major industrial complexes. Having said that, in any analysis of flooding that we have seen industrial flood damage potential is high and consequential losses can be major. What we have not counted, within the latter category of consequential losses, is the pollution resulting from the flooding of industrial complexes, which may have additional flood damage impacts on property outside the industrial area.

2.2.3. Flood damage potential to retail premises

Research reported within the Blue and Red Manuals contains information on flood damage potential to retail property (shops). Over the years this flood damage potential has risen, as more and more retail properties contain point of sale electronic equipment which is highly vulnerable to flooding.

The method used to develop this data was to obtain from major retail properties such as large supermarket chains and other high street multiples information on the total cost of fitting out their shops, to determine total asset value. Susceptibility of flooding was gauged by questionnaire and interview methods, to modify total asset value to obtain total vulnerability to flooding information.

Such data was obtained for several hundred types of retail premises, including food shops, clothes shops, furniture shops, etc. This information is still held within the Middlesex University databases (the FLAIR report), but one of its weaknesses is that it is getting rapidly out of date. Modern retail premises are very different from those which existed 20 years ago, yet there has been no systematic research to update these methods in line with modern retail establishments. Therefore, we suspect that retail flood damage is severely underestimated by the data held by Middlesex University, and this is worrying since the flood damage potential of major cities tends to be concentrated in retail areas. In this respect we are dealing with a problem comparable to the one discussed above concerned above with industrial flood damage data, namely that the areas with highest flood damage potential are the areas where data is less accurate than it should be, owing to technological change rendering existing databases somewhat out of date.

The Red Manual research undertook considerable amounts of research on consequential losses. In this respect we found that consequential losses (i.e. indirect flood damage) was very low in retail premises, because of the ability of customers to transfer their demand to non-flooded shops, or defer purchases until after the flood had disappeared. Taking a narrow economic view of consequential economic losses (i.e. losses to the nation rather than losses to the individual retail shop), this means that consequential losses are low. Thus the data we have obtained is not applicable to consequential losses covered by insurance policies (which may be very high), only to a project appraisal mode of use of this data, in a national economic efficiency framework.

As far as the weaknesses of the data are concerned, one is that it is only applicable to project appraisal modes of operation (see above). Another that it is out of date in some areas (again see above), and the types of retail premises have changed substantially over the last 25 years. Therefore our damage databases may inadequately reflect the damage susceptibility of modern retail warehouse premises, whereas we have good data on the type of small scale shopping found in inner urban High Streets in the past. Nevertheless, one strength of the existing database (and therefore a satisfactory characteristic) is the fact that very little other data is available on damage to retail premises in the international surveys we have undertaken of flood damage data. Much relies on loss adjuster assessment after the event, which are inadequate and inappropriate for pre-flood project appraisals.

2.2.4 Damage to commerce

Data in the Blue and Red Manuals produced by Middlesex University contains information on damage to commercial offices. This data was obtained through surveys of major national companies having offices in city centres, including banks, building societies, insurance companies, etc. Again the data was developed in consultation with the site managers and finance

directors of those companies, in order to determine total asset values within the commercial premises, flood damage susceptibility, and the vertical distribution of flood losses. This information was used to develop average flood damage curves, in the form of relationships between flood depth and damage.

This information is probably less comprehensive in the Blue and Red Manuals than data on damage to residential or retail property. This reflects the difficulty of generalising about office accommodation, and the research difficulties in obtaining appropriate co-operation and advice.

Nevertheless, one of the strengths of this data is that it does contain information of a range of different commerce types (i.e. banks, through to general offices), but one of the weaknesses is that it is out of date in relation to modern office technology. This is the same self-criticism as levelled at our data on retail and (to a lesser extent) industrial premises, namely that modern offices are much more susceptible to flood damage than those we surveyed 10 or 20 years ago. Computer technology is common, information systems dominate modern offices, and modern offices are much more space intensive than their counterparts 25 years ago.

Our information on consequential losses to commercial premises is also somewhat out of date, although still of partial value. Modern information-based commerce depends acutely upon financial records and other information, the loss of which could jeopardise the whole business concern. This is not adequately reflected in the flood damage databases we have derived, which are more concerned with conventional offices containing basic equipment rather than high technology apparatus.

2.2.5. Other impacts

At Middlesex University we have undertaken research on damage to public property, emergency costs, traffic disruption, and the effects of flooding of public infrastructure.

These categories of damage are, in general, less important than those discussed above, and therefore they are not evaluated in detail here. Much of this information is contained within the Red and Blue Manuals, to which the reader is referred. In particular, we have done a great deal of research on the disruption caused to road traffic by flooding, and this is a subject of a special chapter within the Red Manual (Chapter 6). The assessment of the emergency services cost during floods is also given in the Red Manual (Chapter 10).

In terms of the strength of these approaches, one strength is their comprehensiveness. Very few categories of flood impact are omitted from the research contained in the Blue and Red Manuals (and their updates such as the FLAIR report), and we know of no other databases in the world which cover the full range of impacts so fully.

As far as weaknesses are concerned, the more detailed is the research in these categories of flood damage, the more location-specific we find the results are. That is to say, road traffic disruption costs due to flooding can only be analysed with detailed analysis of the road network concerned. The same applies, perhaps to a lesser extent, to emergency services costs (here averages per 1,000s of properties affected can be developed, as in the Red Manual). This means, that project appraisals have to involve a substantial amount of field survey, rather than rely on secondary sources such as these Manuals.

2.2.6. Agricultural losses (crops and buildings)

The Blue Manual contains some information on flood damage to agricultural buildings, although this probably now well out of date and superseded by technological change. The Blue Manual also assessed the benefits of protecting agricultural land from flooding, based on the use of changes in gross margin of the crops concerned. This was not quite correct in its methodology, and all subsequent work on this subject has been done by Silsoe College (Cranfield University) who have produced a range of data and computer models to assess the damage caused by crop failure and the benefits of protecting agricultural land through flood protection means and also under-drainage. The reader should be referred to this source for information on that topic.

2.2.7. Personal injury (including death)

At Middlesex University we have undertaken research on the health effects of flooding, recording increased ill health in areas liable to flooding (particularly amongst the old and infirm).

This is reported in papers produced by Green and Penning-Rowsell (see Bibliography), and shows that the health effects of flooding are related to the extent of disruption of the household affected by the flooding, and the duration of the period over which clean-up and recovery operations take place. As indicated above, the health effects of flooding are also related to the antecedent health of the people concerned, such that those who are in some state of ill health or infirmity before the flood arrives are the worst affected. This is the same result as any analysis of trauma in other circumstance produces.

More work needs to be done in this area. We are currently undertaking a project for the Environment Agency on any health impacts from the flooding that occurred at Easter 1998 in the central area of England. This uses focus groups rather than questionnaire surveys to elucidate the effects on the population affected of the floods that occurred (which were sudden, deep and came without significant warning).

2.3. General description of the method

The above section (2.2) have included a general description of the methods used to produce flood damage information at Middlesex University and, to a lesser extent, at Silsoe College.

The project appraisal framework within which this information fits is now well established within Britain. Accurate information is needed about the return period of the floods in the area affected, and the extent of flooding (the latter is particularly important). Information is also needed on the land use in the area affected, to determine areas where site-specific surveys are needed (for example industrial premises). The land use information is also needed to determine which types of flood damage data are required, and also the depth of flooding (because the land use information must include the altitude of the properties vulnerable to flooding, measured as the thresholds height of their entrances).

We have developed at Middlesex University the ESTDAM model, which undertakes all the necessary calculations. This uses information on the hydrological characteristic of the area affected (or the hydrographic characteristics in coastal areas); the land use of the area affected, and incorporates the flood damage data that we have collected over several years. The ESTDAM model automates all calculations and produces figures indicating the extent of flood vulnerability in terms of damage for a range of return periods, and also the benefits of

flood protection expressed as the discounted value of the area under the loss probability curve.

This model has been extensively used by the Environment Agency and local authorities in Britain. It has also been developed for overseas use in other countries, and a similar system has been developed for Germany (by Reinhard Schmidtke and his colleagues). We are currently developing a Windows version of this ESTDAM programme, to make the user-interface more friendly.

2.4. The role played by experience

The experience of flooding has been essential to developing the databases that we have collected. Particularly important has been case examples of property affected by flooding, in both the residential and the retail and industrial sectors. This information has been organised by Middlesex University and produced in a series of Manuals (the Red, Blue and Yellow Manuals). They were developed as a result of contracts between Middlesex University and its Flood Hazard Research Centre with the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food and the Natural Environment Research Council, over the last 25 years.

We have not found that insurance companies are a useful source of information. This has generally been because insurance companies dispose of their records only a few years after a flood event, rather than developing a systematic archiving system. In addition, it is clear that premiums for flood insurance have not been set on a full actuarial basis in this country, rather they have been set in order to ensure that a pre-determined level of profitability occurs within any flood insurance portfolio. Therefore the experience contained within insurance companies is of limited value when assessing flood hazard vulnerability.

3. CONCLUSIONS

Most of the research on the socio-economic impacts of flooding has been undertaken in the UK at Middlesex University. This research has been undertaken over the last 25 years, and has resulted in several Manuals and a set of computer programmes.

These data are sufficient to a certain extent for the time being. As indicated in the main text above there are serious problems with the data we have collected on retail, industrial and commercial flood damage potential, because the research is now significantly out date. The pace of change of technological development in these premises over the last 25 years has been startling, and is poorly reflected now in the flood damage curves that we have developed.

Other aspects of flood vulnerability are also poorly covered in our work. We have developed over time the recognition that the "intangible" effects of flooding in terms of damage to personal health, injury and loss of treasured possessions is poorly recognised in the flood damage databases the we have assembled. Yet in many cases these intangible elements dominate the tangible elements, particularly as far as the public is concerned (and particularly since the development of new-for-old insurance policies which compensate people generously for the losses they incur during floods).

As far as future developments are concerned, it is important that at some stage in the not too distant future more work is done on industrial, commercial and retail flood damages. This is detailed, as above. In addition, more work needs to be done on the intangible effects of flooding, since these are poorly represented in the analysis currently undertaken.

With regard to the export of our work into other countries, we strongly believe that the overall framework is *directly* applicable elsewhere, and the flood damage databases that we have developed could be *modified* to suit different circumstances. The types of property concerned would be different, and the inventory items would change, but the basic framework of synthetic depth-damage curves is directly applicable, as is the ESTDAM computer model. Research needs to be undertaken on exporting this kind of technology into other countries, so that appraisal methodologies for flood damage assessment in other countries, including European countries, are improved. The EUROflood project made some of the necessary moves towards this development of techniques for Europe-wide applicability, but only began the process of technology transfer rather than completed it.

BIBLIOGRAPHY

- M. Fordham, C.H. Green, A. Herring, A.M. Ketteridge, D.J. Parker, E.C. Penning-Rowell, A. Van der Veen, E. Wiestra, E. Overkamp (1994). *EUROflood I: Technical Annex for the Full Flood Impacts Module*. ISBN 1 85924 045 3.
- E.C. Penning-Rowell and M. Fordham (1994). *Floods Across Europe, Flood Hazard Assessment, Modelling and Management*. ISBN 1 898253 01 3. Available from Middlesex University Press, Bounds Green Road, London N11 2NQ.
- E.C. Penning-Rowell, A. Coker, C.H. Green and S.M. Tunstall (1993). *The recreational impacts of coast protection and sea defence projects: benefit assessment techniques in the "Yellow Manual"*. Paper presented to the Loughborough Conference of River and Coastal Engineers. Loughborough, July 1992.
- E.C. Penning-Rowell, M.H. Fordham, C.H. Green, B. Peerbolte, F. Nunes Correia, W. Pflügner, J. Rocha, M. da Graca Saraiva, R. Schmidtke, J.P. Torterotot and A. Van der Veen (1992). *Flood vulnerability analysis and climatic change: towards a European methodology*. In: *Floods and Flood Management* (A.J. Saul) pp 343-361. London: Kluwer Academic.
- A.N'Jai, S.M. Tapsell, D. Taylor, P.M. Thompson, R.C. Witts, D.J. Parker and E.C. Penning-Rowell (1991). *Flood loss assessment information report. Information Report*.
- C.H. Green and E.C. Penning-Rowell (1989). *Flooding and the quantification of « intangibles »*. In : *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, Volume 3, No. 1, pp 27-30.
- C.H. Green and E.C. Penning-Rowell (1988). *Flooding and the quantification of « intangibles »*. In : *Proceedings of the IWEM Annual Symposium 1988*, London.
- D.J. Parker, C.H. Green and P.M. Thompson (1987). *Urban Flood Protection Benefits: A Project Appraisal Guide. (Red Manual)*. Available from the publisher: Gower Publishing Group, Gower House, Croft Road, Aldershot, Hampshire, GU11 3HR.
- E.C. Penning-Rowell and D.J. Parker (1987). *The indirect effects of floods and benefits of flood alleviation: evaluating the Chesil Sea Defence Scheme*. In : *Applied Geography*, n° 7, pp 263-288
- J. Chatterton, D.J. Parker, C.H. Green, J. Morris, J.L. Gardiner and E.C. Penning-Rowell (1987). *Cost/benefit analysis and project appraisal*. In : *Water Practice Manuals - River Engineering - Part 1, Design Principles*, T.W. Brandon (Ed.). Chapter 8.
- E.C. Penning-Rowell and J.B. Chatterton with contributions from S.J. Farrell, S.H. Salvin and R.C. Witts (1977). *The benefits of flood alleviation: a manual of assessment techniques (Blue Manual)*. Available from Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, Queensway, Enfield, Middlesex.

EVALUATING THE SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF FLOODING. THE SITUATION IN NETHERLANDS

Professor Herman G. WIND¹⁸⁶

1. THE ROLE PLAYED BY THE EVALUATION OF THE SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF FLOODING IN RISK MANAGEMENT

1.1 Historical evaluation

One of the first Dutch examples of the application of a cost benefit analysis in civil engineering is the cost benefit analysis for the Twente Channel in the 19th century.

Economic evaluation for flooding risks started after in 1953 a major flooding disaster struck the Netherlands, killing 1863 people. Immediately after this disaster the Ministry of Transport and Waterways instituted an Advisory Committee, the Delta Committee, to assess the action necessary to safeguard the devastated areas from flooding by the sea in the future and to investigate the possibility of closing major sea-arms in order to shorten the coastline. This committee carried out, among others, an econometric evaluation of the values at risk. This evaluation was focussed on direct economic losses. In addition the Delta Committee (1962) also points out that immaterial losses, such as loss of life and disorganisation are important. These losses are not included in the econometric evaluation because of the valuing problem. Based on these econometric considerations, it was proposed to design the sea defence structures for the central part of the Netherlands such that they could withstand a flood with a return period of 10.000 years. For the Northern and Southern part of the Netherlands a return level of the design flood of 4.000 years was proposed.

In accordance to the approach for sea dikes, also for river embankments a design flood is proposed. Based on economic arguments, in the 1960's a design discharge for the river Rhine was proposed of 18.000 m³/sec with a return period of 3000 years. However this design discharge implied considerable river training works. The impact of these works on the environment and on the people living near the rivers, were such that in 1977 the Committee Rivierdijken (Commissie Becht, 1977) was installed. The Commissie Becht considered a number of aspects: economic considerations, number of potential victims and the negative effects of

186. University of Twente. Faculty of technology and management. Department of Civil Engineering
P.O. Box 217, 7500 AE Enschede. The NETHERLANDS
Tel : 31 53 489 3546
Fax : 31 53 489 4040
Email : h.g.wind@sms.utwente.nl

selected a design discharge for the Rhine at Lobith of $16.500 \text{ m}^3/\text{s}$. This discharge corresponds to a return period of 1250 years.

After the start of the river dike-raising programme, the public became aware of the impacts these works have on environmental and cultural values. This led to a reconsideration of the dike raising programme by the committee Boertien (1992). Based on new and additional information, the committee proposed a lower design discharge ($15.000 \text{ m}^3/\text{s}$) for the river Rhine at the same return period. Furthermore the committee emphasised much stronger than the committee Becht, the complete package of functions of river dikes: e.g. safety, environment, landscape and cultural heritage.

Presently the security against flooding is defined in a flood protection act. In this act 53 geographical areas are defined as so-called dike-rings; these areas have been allocated with a prescribed level of safety defined by the frequency of inundation of the dike-ring. Where the inundation frequency cannot be determined, the outside water level exceedance frequencies may be adopted as design criterion.

In order to guarantee the level of safety in the above law; the primary flood protection system is every 5 years inspected.

In policy documents of the Dutch government is stated that around 2000 the safety levels will be reconsidered. Furthermore the option of controlled flooding during extreme events, reducing the load on other parts of the flood protection, will be investigated.

Conclusions:

- In the 1950's and the 1960's the design of sea dikes and river dikes in the Netherlands more or less were based on an economic approach;
- This impacts of the river and coastal works required for protection on nature and inhabitants were not accepted by the public and led in 1977 to a reduction of the safety standards;
- One of the elements in the economic analysis is the return frequency of extreme events. The analysis of the return frequency of extreme events is based on a relative short series of observations and hence is inherently uncertain;
- The uncertainty in the prediction of extreme events is used in the Netherlands to justify politically a reduction in the design discharge (16.500 or $15.000 \text{ m}^3/\text{s}$), while the safety levels were maintained at 1/1250).

Remarks:

- As since 1962 the protected values have risen at a higher rate than the costs of dike raising, the cost-benefit analysis would presently lead to a higher dike level than in 1962;
- Peerbolte (1993) remarks from personal communication that the accuracy in water levels at this exceedance frequency (of 10.000 years) is 0.5m, which means that the return period of a water level of NAP + 5m at Hook of Holland is somewhere between 2.000 and 40.000 years;
- The recommendations of the committees Becht and Boertien, illustrates that in a densely populated area as the Netherlands, cost benefit analysis are important but only a (minor) part of the considerations leading to policy decisions;
- The recommendations of the committee Boertien and the following discussions illustrates the problems of proposing the return period of an extreme event, based on a short data set;
- The generating process leading to these extreme events (storms and precipitation) is changing with time due to human interventions (and climate change). This increases the uncertainty

in the prediction of the return period of the extreme event and hence the uncertainty in the probability of occurrence of the extreme load on the structure;

– Due to the prescription of a frequency of inundation and not on the assessment of the consequences of inundation, much research in terms of money and time in the Netherlands has been focussed on determining the probability of failure of part or the complete flood protection structure.

Researchers in the field of economy initiated the first investigations into the subject of socio-economic impact of flooding. Tinbergen was one of the members of the Delta committee (1962).

The socio-economic approach of the Delta Committee was based on probability of exceedance of a water level. In the course of the development of the methodology the focus shifted towards the probability of failure of the flood defence structure under a given load, leading to detailed guidelines for coastal and riverine flood defence structures. For practical applications the improvement of the socio-economic approach has received less attention in the past. However the development of an inundation-risk approach is one of the of the Dutch objectives in the coming decade.

In the theoretical field the methods for evaluation of flood impacts started from the direct financial losses and extended towards the indirect financial losses and non-monetary values. Wierstra (1996) and Nijkamp *et al.* (1990).

1.2. Present state of Research

Several teams are working on improving the prediction flood resistance of the structures: (Bouwdienst, DWW, Delft Hydraulics, Delft University) and others are working on the flood damage evaluation (TNO, Twente University, Free University of Amsterdam, Delft Hydraulics). RIVM is also working in the general field of risk assessment due to hazards.

Much of the research is embodied in a research programme of Rijkswaterstaat: "marsroute". The "marsroute" consists of a large number of short (week and month) and long term (years) programmes.

Much of the technical research is initiated by the government, who is open for research suggestions of research institutes and universities within the scope of the research programme.

1.3. Present state of research organisations

For the assessment of the safety of river dikes and dunes the government produced a framework of analysis (Leidraad zandige kusten, etc). This framework outlines an approach or a line of thinking and not tools. Consultants develop their own tools for the approaches outlined in the framework of analysis.

1.4. Present state as concerns public authorities and other potential users

In the Netherlands, economic evaluations are carried out in the planning phase of civil engineering projects. Evaluations are largely carried out in public planning, environmental impact assessments and to evaluate the risks in a certain area.

In public policy, the economic evaluation is important but it is only one of the instruments leading to decision. This is partly due to the fact that a civil engineering project often is aimed

at other than socio-economic aspects such as, depending on the type of project, redistribution of wealth, employment, avoidance of personal stress, protections of historical or natural values, time before a safety against flooding can be guaranteed etc.

Furthermore the Dutch government has taken the stand that as far as rivers is concerned, no building should take place in the river outer marshes of a river, despite whatever cost benefit analysis.

Wierstra (1996) mentions the following points of discussion on Benefit Cost Analysis: the determination of costs and benefits; the discount rate; the distribution issues and the question whether Benefit Cost Analysis is adequate for the evaluation of projects with non-negligible macro economic impacts. A few of the questions following from practical applications are: what are the boundaries of the evaluation in space and in time; lack of data and uncertainty in the data etc.

Conclusions: economic evaluation does play a minor role in public policy making.

2. PRESENT SITUATION

The economic impacts which are taken into account in the evaluations are mentioned in the following table (in the new Dutch inundation-risk approach, this list may be extended).

Topic	Assessed
Personal injury	no
Direct agricultural damage	yes
Direct damage to homes	yes
Direct damage to industry	yes
Direct damage to public property	no
Indirect personal injury	no
Indirect economic damage	sometimes
The expenses incurred through crises relief	no

2.1 The types of methods used and the area considered

The development of socio-economic methods in the Netherlands have followed the two well known alleys: Benefit Cost analysis and Multi-criteria Analysis. Some recent results are from Wierstra (1996) who investigated the domain of the contingent valuation method as part of the Benefit Costs Analysis. Two cases of Wierstra relevant for this study are: attitudes towards the loss of a nature area near the coast and the attitudes towards the risk of inundation. Benefit Cost Analysis is discussed by Williams and Giardina (1993) and Nijkamp en Rietveld (1986).

An overview of Multi-Criteria methods and applications is found in Janssen (1991). A discussion on the Multi-Criteria methods is given by the Dutch Ministry of Finance (1992).

On bases on the 1993 Meuse floods new damage curves have been developed. The scales were water depths against a flooded unit: a house, a warehouse, an acre of farmland etc. However the 1995 flood showed that these damage curves contained a large uncertainty band.

« Qualitative approaches » are not used. The concept of vulnerability has extensively been used for coastal areas. This concept has been extended with the concept of resilience.

2.2. Critical analysis of the current method

The weaknesses in the socio-economic flood damage assessment method are partially conceptual and partially related to the calibration and validation.

- What are benefits in a socio-economic method (I)?

Damages of direct financial damages are thought to be well known. Elements for a cost-benefit analysis, such as indirect losses, secondary losses and non-monetary losses are less well known and uncertain and for that reason are excluded from the analysis. This implies that only a part from the cost benefit analysis is taken into account.

- What are benefits in a socio-economic method (II)?

The temporal resolution in flood damage assessment is restricted for respectable reasons to the present situation. However the changes in the built environment in a river valley in a period of say 30 years are considerable and hence will effect the “real” benefits.

- What are benefits in a socio-economic method (III)?

The damage assessments are based on conceptual models. Validation of this approach requires much more attention. Simple test sometimes lead to results, which indicates that some of the research efforts may be in vain.

- What is the spatial resolution of a flood damage assessment model for a required accuracy? (given the uncertainty in the spatial distribution of the flood damage)

There does not seem to be a (design) theory, which predicts the uncertainty in the flood damage as a function of the spatial resolution of the flood damage assessment model given the uncertainty in the spatial distributed data. The fact that such a theory does not exist may mean that models are either too detailed or too coarse models for flood damage assessment.

- How are the socio-economic models validated and calibrated?

In general there is a lack of flood damage data and a lack of evaluations of available flood damage data in relation to flood damage modelling. This implies that modelling of flood damage is often a reproduction of a previous state instead of a prediction of the expected flood damage.

- Accuracy of the data in the socio-economic models.

From a comparison of two similar floods of the Meuse in 1993 and 1995 a large uncertainty in the individual flood damages appeared.

Strength and weaknesses of multi-criteria methods are well known: how to select and assess the type of impacts, how to weight the impacts and how to introduce preferences.

2.3. General description of the method

The methodology for assessing the flood damages follows in broad lines the following steps:

- Formulating the problem;
- Identifying, designing and screening of alternatives;
- Building and using models for predicting the consequences;
- Comparing and ranking alternatives.

We will describe these steps for two types of flood damage assessment models, each with a different objective.

2.3.1. Formulating mitigating actions for the Meuse floods in 1993 and 1995

- **Formulating the problem :** In 1993 the Meuse flooded a part of the Netherlands. The problem was to define a set of measures such that in the future the flood impact would be reduced.
- **Identifying, designing and screening of alternatives :** Based on simple arguments a set of alternatives was identified. In order to avoid unnecessary tasks, the set of alternatives was reduced using simple models and reasoning.
- **Building and using models for predicting the consequences :** A mathematical model was used to predict the impacts of the alternatives. For this model was necessary: a probability distribution of flood discharges at the inflow of the model, the flood height along the river, the spatial distribution of land height and land use, a depth damage curve for each type of land use (Delft Hydraulics, 1995).
- **Data and Uncertainty :** The probability distribution of extreme floods has been the subject of considerable discussion. Recently the Dutch government has asked a commission to propose a distribution of the extreme discharges of the Rhine at Lobith. The arguments used and the results were from a scientific point of view only partially satisfactory. In 2001 the data series will be extended and reanalysed with the presently available approach:
 - The inundation depth along the river. It was noted that the differences between the calculated water level and the observed water level ranged from decimetres up to 0,50 m. Furthermore it was noted that the calculated flooded area differed from the observed flooded area. Whether these differences are relevant for flood damage assessment depends on the accuracy aimed at;
 - The spatial distribution of land height and land use. Maps were available of the distribution and land use and these could be used for flood damage assessment. It appeared time consuming and costly to obtain the location and height of the buildings in the flood valley. Increasing detail raised the costs exponentially;
 - A depth damage curve for each type of land use. As a wide variety of different types of land use were available, depth damage curves were not available for all types of land use. Depth-damage curves were constructed using the damage data of the 1993 Meuse floods. A first comparison with the flood damages of the 1995 flood showed that the data was rather uncertain. A first estimate indicated that the uncertainty in flood damage per object was of the same order of magnitude as the flood damage itself (Wind, 1998);
- **Comparing and ranking alternatives :** A ranking of alternatives has been set up based on benefits and the related uncertainties (Noortwijk *et al.*, 1995).

2.3.2. Evacuation of a polder after dike breach or overtopping

- **Formulating the problem :** In large polders of the Netherlands a flood wave due to a dike breach or overtopping will not flood the polder instantaneously, but depending on the distance from the breach it may take up to one day before the water starts to rise. This time can be used to evacuate those areas. The problem is to specify the time available for evacuation.
- **Identifying, designing and screening of alternatives :** On bases of expert opinions the places along the river vulnerable to dike breach dike have been determined.

- Building and using models for predicting the consequences : For building the models the following data was needed: the water level along the dike, the location of the dike breach and the rate of growth of the breach determining the discharge in the polder, the spatial distribution of land height and land use, the water level as a function of time, the flow resistance in the polder.

- Data and uncertainty : Many of the remarks made for the previous project are also valid in this case. The description of the evolution of the cross section of the dike breach with time is a new factor. This new and uncertain element determines the flood volume and hence is a key factor in the analysis. The description of the dike breach process has been derived from laboratory and field experiments.

- Comparing and ranking alternatives : See previous project.

The tools used to calculate expenses are advanced computer models. However the science and experience on which these models are based on, are restricted to direct costs and are based on a limited data set.

2.4 The role played by experience

The methods of evaluation based in experience of natural catastrophes. The data of the 1953 Sealand flood and the 1993 Meuse floods are extensively used. Data on water levels and discharges is gathered by the Dutch government. The data on flood damages is distributed over a number institutes. An overall view is only partially available. The Ministry of VROM has an institute dealing with impacts of extreme events.

In the Netherlands, Insurance companies are only in a few cases involved.

3. CONCLUSION

The question whether existing methods are sufficient, depends on the objective one has in mind.

Sufficient for decision making in the Netherlands (I): in addition to the existing methods in the Netherlands, an inundation-risk approach is in development.

Sufficient for decision making in the Netherlands (II): in decision making a socio-economic analysis plays a certain role. Sometimes this role seems to be important. In other cases the role seems almost negligible. May be a number of decision processes of the past should be studied to investigate whether the results indeed are sufficient.

Sufficient for decision making in the Netherlands (III): if the decision is focussed on a choice between rather different alternatives and the uncertainty in the various processes in the method is assumed to be small, than the method is used for decision making.

Sufficient for decision making in the Netherlands (IV): if in addition to direct costs also indirect costs and non-monetary values should be taken into account, than the present methods are not sufficient.

Sufficient from a scientific point of view: data for calibration and validation are often lacking as well as is the insight in the uncertainty in the various sources.

Sufficient from a scientific point of view: a design theory, which yields the spatial resolution for a required degree of uncertainty of the outcome given the uncertainty in the elements in the model is lacking.

Some remarks for future development and improvement of methods

- Risk assessment: Factual data should form the basis of conceptual models in socio-economic flood damage assessment. If in policy decisions other damages than only direct damages should be included, then the required theories should be developed, including methods to assess these damages.
- Instrument development: Impact assessment models should be effective and efficient: hence not too coarse and not too detailed. An outline should be formulated how this can be achieved. This will lead to a reduction in cost in development and use of damage assessment models.
- Flood damage evaluation: Damages of past floods should be analysed, in order to improve models formulation and assess the completeness and uncertainty in the model formulation.
- Boundary conditions: Effect of climate change on water level and waves in seas and precipitation and changes in land use on land should be envisaged.
- Economic damage assessment: It may be useful to investigate whether the value of the property is a good bases for estimating the flood damage given a certain inundation depth.
- Assessment of the state of flood defence structures: Failures of a flood defence structure can be reduced if they are in an appropriate state at the moment of the extreme event. In the Netherlands, inspection methods are developed and applied.
- Flood level prediction: It is clear that flood level prediction can be improved. However whether indeed the present accuracy is insufficient, given the uncertainty in data, scenario's and model formulation is not clear to me.
- Knowledge systems: In the field of informatics there are a number of new options. In the Netherlands knowledge systems have been developed for the spatial analysis of socio-economic impacts.

The methods developed in Netherlands can be used elsewhere. In order also to transpose the experience gained with the methods, is seems useful to carry out one or more joint projects.

BIBLIOGRAPHY

- Delft Hydraulics (1994). *Onderzoek Watersnood Maas (Research on the Meuse flood, 14 supporting volumes)*. Q1858/T1349, Emmeloord, Delft (in Dutch).
- Delta Committee (1962). *Final report*. State Printing and Publishing office, The Hague.
- Delta Committee (1962). *Het economisch beslissingsprobleem inzake de beveiliging van Nederland tegen stormvloed (in Dutch); in Beschouwingen over stormvloed en getijdebeweging*. Rapport Delta-commissie, Deel 3, Bijdrage II.2 Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf, 'sGravenhage.
- Dutch Ministry of Finance (1992). *Evaluatie methoden, een introductie, afdeling beleidsevaluatie en -instrumentatie van het Ministerie van Financiën*. Sdu uitgeverij, Den Haag (in Dutch)
- R. Janssen (1991). *Multi objective decision support for environmental problems*. Ph.D. thesis, Free University, Amsterdam.

- J.M. Noortwijk, M. Kok and R.M. Cooke (1995). *Optimal decisions that reduce flood damage along the Meuse: an uncertainty analysis*. Delft Hydraulics, publication 491, Marknesse.
- P. Nijkamp and P. Rietveld (1986). *Multiple objective decision analysis in regional economics*. In: Nijkamp, P. (1986): *Handbook of regional and urban planning North Holland*.
- E.B. Peerbolte (1993). *Sea-level Rise and Safety*. PhD thesis, Twente University, Enschede, the Netherlands.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Leidraad Zandige Kust (in Dutch). Dienst Weg en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Delft (1995).
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Marsroute (in Dutch). Dienst Weg en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Delft (1997).
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Grondslagen voor waterkeren. (in Dutch). Dienst Weg en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Delft (1998).
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies (in Dutch). Dienst Weg en Waterbouwkunde, Rijkswaterstaat, Delft (1997).
- H.G. Wind and C. de Blois (1998). *Analysis of uncertainties in the flood damages of the Meuse floods in 1993 and 1995*. Proc. of the 34th MAFF conference, Keele, England.
- H.G. Wind, T.M. Nierop and C. de Blois (1998). Flood damage modelling: analysis of the 1993 and the 1995 Meuse floods. Research report 98W-002/Wh&M-001. Twente University, Enschede, the Netherlands.
- E. Wierstra (1995). *On the domain of contingent valuation*. PhD thesis, Twente University, Enschede, the Netherlands.
- A. Williams and E. Giardina (1993). *Efficiency in the public sector*. Edward Elgar, Aldershot.

EVALUATING THE SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF FLOODING. THE SITUATION IN GERMANY

Professor Reinhard F. SCHMIDTKE¹⁸⁷.

1 THE ROLE OF INFORMATION ON SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF FLOODING IN RISK MANAGEMENT

1.1 Historical evaluation

Economic evaluation started with the implementation of cost-benefit analysis (CBA) in the decision-making process for public infrastructure measures. In 1972 the revised budget laws of the federal government and the Länder (states) established CBA as a control instrument. The first investigations started at that time. They were mainly commissioned by the ministries responsible for water management as parts of feasibility studies, especially for multipurpose reservoirs. Methodological development, in the beginning considerably influenced by UK and US experience, has been focused on the CBA aspect to a large extent and is still influenced by the information needs for economic soundness approvals.

However, as time went on a new challenge became more and more important. Sustainable development of flood-prone areas calls for conflict management, which has to take into account two different aspects. A planning problem consists in minimising the conflicts between economic and ecological objectives. These objectives cannot be considered separately. Therefore, in integrated river corridor management plans information on economic flood damage potential is most important for trade-off-analyses. The second point concerns financing of flood mitigation measures. Restricted budgets require reasonable tools for priority setting in strategic action plans based on comprehensive information on benefits and costs. In addition, a well-founded procedure for cost sharing needs desegregated figures on the advantages of the beneficiaries (groups) who have to be included. Finally, socio-economic analyses of flood impacts play an important role in improving public awareness of inundation risks and participation to alleviate them.

The Action Plan on Flood Defence for the River Rhine is a good example for the new way of integrated thinking. The most important targets of the Action Plan on Flood Defence are to

187. Institute for Hydraulic Engineering and Water Management - Technical University of Darmstadt
Bertha-von-Suttner-Weg 10
D 82152 - Planegg - Martinsried - GERMANY
Tel : 089 1210 1515
Fax : 089 857 52 93

can only be reached if all flood protection protagonists will closely and constructively co-operate. The hitherto practised sector based way of thinking must be replaced by integrated reflection and action on a local, regional, national and international scale. First of all, the policy areas related to water management, spatial planning, nature protection, agriculture and forestry are concerned."

Looking at the evolution of the methodology in Germany one finds that progress did not depend on the lack of knowledge about the theoretical fundamentals. The main problems for practical application concerned the availability of adequate input data and generic computer models. The possibilities to calculate socio-economic damage potentials in a cost-effective way has been pushed forward by implementing advanced mathematical models in hydrology and hydrodynamics, the establishment of a damage data base and the development of software packages for converting all the input data into socio-economic information. In this context geographical information systems have also to be mentioned as a powerful tool.

1.2. Present state of research

It must be stated that little attention has been paid so far in comprehensive basic research. Progress is mainly a result of empirical investigations, which have to meet decision support needs for solving real world problems. Being confronted with new questionings in these projects applied research has been done to overcome the methodological gaps. In this way development is still going on.

For example, an interesting subject of recent studies has been the question of how flooding affects soil properties. The impacts of soil pollution have been discussed for a while. Latest soil investigations were carried out to determine the effects of the river Oder flood in 1997. Farmland was investigated for pollution on a random basis, and sites affected by oil tank leaks were investigated for hydrocarbons.

The results show that the flood did not cause widespread soil pollution, primarily because of the high dilution of the hazardous substances below EU limits. There was only low sedimentation of deposits. Negative effects were mainly due to leaking oil tanks, which caused contamination in affected areas.

A prognosis of what can happen in a planning area is very difficult. In Germany risk management in this field is focused on avoidance of adverse effects by precautionary measures. A methodology for calculation economic losses from soil pollution is not known yet.

1.3. Present state of research organisations

At the moment several groups are involved in studies concerning the assessment of flood damage potentials. These studies can be divided into three different categories:

- Investigations for coastal lowlands with the objective to optimise future coastal defence planning (Länder Schleswig-Holstein and Mecklenburg-Vorpommern), and to analyse the vulnerability of a large flood unit according to climate change impacts;
- Investigations for large riverine floodplains to enforce flood alleviation programmes. For example such a study has been finished for the Upper Rhine Valley. Two others have recently been commissioned concerning the Lower Rhine in North-Rhine-Westfalia and the Upper Danube in Baden-Württemberg;
- While the above mentioned categories are focused on strategic information the third one deals with local planning activities. In these cases normally CBA is asked for.

Strategic investigations are mostly joint ventures of universities and consulting firms. Currently there are 5 universities and 3 consulting firms working in this field. Project CBA is a very special market segment of about 10 consulting firms. Some of them have developed their own tools. Others use a special software package (acronym HWSCalc, see subsequent explanations) which is a public financed programme. With the exception of one investigation incorporated into a longer lasting federal research programme (climate change and coastal zones) all others are short-term activities.

Last but not least two nation-wide operating working groups have to be mentioned. One team, named Project Planning and Assessment Procedures, is incorporated into the German Association for Water Resources and Land Improvement. This group presented a guideline titled Economic Assessment of Flood Mitigating Effects in 1985. Since then it put emphasis on non-monetary multi-criteria analysis with a strong link to environmental impact assessment.

The other group works within the co-operation framework of the 16 federal state ministries responsible for water management and water legislation. This task force named Cost-Benefit Analyses in Water Management has been established in 1974. It does basic work and stimulates investigations of general interest. In the field of assessing flood impacts it has developed a standard for damage data surveys, a data base and procedures which allow to generate depth-damage functions for a broad variety of land use types (German acronym HOWAS). At the moment work is concentrated on publishing a guideline on Flood Damage Analysis. The group and individual members respectively are involved in nearly all-strategic activities throughout the country concerning evaluation of flood impacts.

1.4. Present state as concerns public authorities and other potential users

A risk management process consists of two conceptually different parts: the process of risk assessment (hazard determination and risk analysis), in which the quantitative information basis is laid for the options that can be taken, and the process of risk mitigation which concerns the activities for management decisions in design, operation and maintenance of all structural and non-structural systems as well as all more far-reaching precautionary measures.

Traditional concepts exclude risk analysis. The most popular design strategy for flood protection schemes is the political setting of a safety standard; e.g. defence structures should resist the 1:100 year flood event. Another approach uses the highest stage/discharge experienced adding some supplementary components and improving this standard according to better empirical knowledge after flood catastrophes have occurred.

As mentioned in chapter 1.1 there is a lot of striking reasons which call for more rationalism. Using standard design floods is a very easy technocratic approach, but it does not meet the needs of modern communication and decision making processes. The task is to find the most appropriate strategy mix in the context of integrated floodplain management. That means, the design flood for technical infrastructure is the output of a complex evaluation procedure.

Saying this, it must be stated that in the past not enough attention has been paid to quantitative information on the existing damage potentials. Evidently increasing safer flood protection schemes have led to a land use mentality which is no longer guided by risk evaluation. After having experienced some major flood disasters there is a movement in Germany asking for comprehensive risk analysis. At the moment such investigations are not common practice, however more and more planners and decision-makers are convinced that economic evaluation of flood impacts is a must for improving decision quality. As a whole, the 90s have seen a change, but it will take a while until economic evaluation becomes a mandatory standard procedure and the information obtained can be converted in good practice. Success also de-

depends on adequate education and postgraduate training. In the present situation qualification deficits restrict a broad progressive movement.

2 PRESENT SITUATION

2.1. Methods applied to flood risk assessment

In Germany there are two different methods for flood risk assessment in use: the micro-economic approach and the meso-scaled approach.

They mainly differ in the scale of the investigation. Micro-economic analysis is focused on local planning and decision making while the meso-scaled approach is a support system on the regional level (larger river reaches, river basins, and low-laying coastal areas). For that reason differences exist in spatial resolution, data sources, data processing and in the details of the resulting information. However, both methods have in common that they determine the consequences of flooding with respect to:

- health of the people affected;
- property values of commerce and services, industries, public authorities, non-profit organisations, individuals;
- losses of value added;
- cultural values and the environment;
- costs for emergency activities.

Some of these categories are excluded from expressing damage in monetary terms (health of people, cultural values, impacts on the environment). All the other adverse effects can be transformed, but one has to keep in mind that monetarisation depends on the preference system used. Economic efficiency assessments are based on market-orientated prices. Results may differ according to a national, regional, local or individual point of view.

Flood alleviation measures are not only assessed in respect of economic efficiency. In addition, for reasons of well-being groups (solidarity communities) and individuals have a willingness-to-pay which sometimes exceeds the avoided material damage and includes components out of reach of economic efficiency analysis.

As can be concluded from these explanations the evaluation procedures for the different impact types have to be considered within the framework of the study purpose. Most important are the objectives underlying an assessment and the scale adequate to meet the information needs. Experience has given evidence that it is an indispensable prerequisite for a successful investigation to work within an appropriate structure. That means, first of all the micro-economic and the meso-scaled approach have to be explained. Then it can be shown how the details fit into the macros.

2.2. Micro-economic analysis

Micro-economic analysis needs input data from three different sources: land use information, physical flood impact calculations and damage susceptibility of the various land use types.

• Land use information

Spatial resolution is based on the smallest land units, which are available in the official land use register. In Germany these units are called Flurstücke. The data files contain three important attributes for damage calculation: location and size of the land unit and the land use type. The number of land use types varies a little bit from state to state. On the average one finds about 35 different types. In addition the geodesic altitude of each land unit has to be made available. Nowadays more and more often this information is provided by digital terrain models. That means, in many cases all the information in this field can be provided in a digital format.

• Physical flood impact

In what way a land unit is affected depends on the flood characteristics (inundation depth, duration, water velocity, mass transport, contaminants, salt-water, etc). Information on probabilities is necessary for risk analysis. The hydraulic relationship between water surface elevation (stage) and discharge is developed based on water surface profile computations. The application of two-dimensional flow models is steadily increasing what results in improvements of these physical impact simulations.

A special computation problem arises in all cases where dikes or floodwalls give protection to a certain extent. Then, flooding does not only depend on the flood characteristics but also on the hydrological and/or technical failure of the protection scheme. The inundation process can be very complex. It is determined by the hydrograph of the water masses entering the polder.

• Damage susceptibility

In micro-economic analysis usually damage data are used which stem from two sources. The first one is standard flood damage information; the second one individually surveyed potential damages assessed by trained loss adjusters. Area-specific surveys for all properties are very expensive. For that reason the normal procedure is as follows: As far as the assets of a land use type have similar damage characteristics information will be obtained from the data basis HOWAS. This software package is for archiving and processing of damage data so that depth-damage functions can be developed by using adequate data sets and the mathematical tools of the system. If HOWAS does not give support in a sufficient way, additional site-specific surveys have to be done.

• Damage calculations

By overlaying the input data from the described sources a statistical value of damage can be calculated for each land unit. Considering not only a single flood event but the whole damage-causing spectrum leads to a depth-damage function for this land unit and by summing up for parts or the total study area. The transformation of stages in frequencies gives the frequency-damage function. The integral of this function is the expected annual damage, the probability-weighted average of the full range of possible flood magnitudes. Applying the with-and-without principle shows the reduction in expected annual damages resulting from an investigated alleviation measure and the residual expected annual flood damages. The software package developed for processing the inputs in the described ways has the acronym HWSCalc.

• Multicriteria-trade-off analysis

As mentioned before not all impacts can be transformed in monetary terms. That means, additional criteria have to be included in the decision making process so that an adequate support has to be based on multicriteria-trade-off analysis.

In this context the hazard to life and health of the persons living or working in flood-prone areas is a major point of interest. Basic information deliver hazard maps dividing the area into different zones. The parameters used are inundation depth h and water velocity v . The classification system under discussion defines high ($h \geq 1,5$ m or $v \geq 1$ m/s), medium ($1,5$ m $> h > 0,5$ m and $v < 1$ m/s) and low ($0,5$ m $\geq h$) hazard intensities. Alleviation effects can be assessed by using socio-economic indicators (costs per capita or workplace) in comparison with willingness-to-pay.

• Scenario-related simulations

Finally, attention has to be given to a very important aspect. Traditional risk-based approaches depend on the availability of probability information across the entire spectrum of damage-causing floods as well as the hydrological and structural failure of the protection schemes considered and the resulting distribution of the inundation depths and/or other relevant parameters. However, in practice it may be not possible to derive these data in any case. That is especially true for existing dike systems with a high design standard and for rare floods. On these conditions of uncertainty scenario-related simulations provide information which can inter alia be used for priority setting on the basis of hot-spot analysis and for developing of intervention strategies on maximum-acceptable-loss criteria.

2.3. Meso-scaled approach

2.3.1. General philosophy

Micro-economic approaches (property-by-property) cannot be applied efficiently in strategic planning on the regional scale. The task is to find a method with an adequate resolution in space and socio-economic values and activities which is based on inputs that can be derived from existing official statistics. Under the existing conditions in Germany there is no problem with the land register, which provides land use data for all single properties according to a wide classification system. However, the possibilities of desegregating statistical economic values down to that basic level are restricted because of methodological limitations.

A satisfying compromise could be found by basing the spatial resolution not on single properties, but on the next higher level of land units, i. e. an aggregate of some 50 to 100 properties, according to the German procedures of land registering the second bottom-up level in hierarchical land classification.

The socio-economic dimension includes two aspects. The first task is to identify the possibilities of sub-dividing the economic activities into statistically represented sectors so that they contain all the land use types of the land register. The second interrelated step concerns the spatial location. For example, the total property value for a particular sector can be derived using the sector-specific capital intensity figures, i. e. the ratio of capital invested per person employed, and the geographical pattern of employed persons.

Besides spatial and socio-economic resolution the meso-scaled approach differs substantially from the micro-economic tool because in this method the total value of the assets at risk is the basis from which damage is calculated. That means damage is expressed as a percentage of the property value. This relation is called vulnerability, defined on a scale from zero percent (no damage) to 100 percent (complete damage). Such a function describing vulnerability versus depth of inundation is necessary for each sector.

Summing up, meso-scale analysis needs inputs from four different sources: land use information, physical flood impact calculations, socio-economic statistics and sector-specific vulnerability functions.

2.3.2. Land use information

Spatial resolution is based on the second bottom-up level of the land use register. Aggregated from the lowest level one gets data sets containing information on the location, the size and its sectoral breakdown. Elevation data can be imported from digital terrain models or traditional sources. There is no standard given for arranging the socio-economic values and activities in classes. That depends on the specific study situation and the accuracy looked for. The experienced range is between 6 and 15 sectors.

For example, a specification in 9 sectors reads as follows:

- farmland;
- live-stock;
- agriculture (productive capital stock, housing excluded);
- industries (productive capital stock, housing excluded);
- commerce and services (productive capital stock, housing excluded);
- transportation, infrastructure, communication (productive capital stock, housing excluded);
- value of stocks;
- housing, inventory included;
- motor vehicles.

2.3.3. Physical flood impacts

The procedures are the same as in micro-economic analysis.

2.3.4. Socio-economic values and activities

This database has to be derived from the existing socio-economic statistics. For the purpose in hand five groups of elements are of major importance: population, houses, workplaces, productive capital stock and other property values, and the value added by different industries. Applying adequate desegregation algorithms leads to a data set for each land unit containing statistical information on the property values of the incorporated sectors. Value added is normally not broken down to a single land unit but dealt with on a higher aggregation level.

2.3.5. Sectoral vulnerability

The elaboration of the area-specific vulnerability functions for all the sectors to be served is the most difficult task in a meso-scaled approach. It has to take into account a broad variety of influencing factors, such as the intra-sectoral mix of assets, the experience gained from flood analyses, the knowledge of the insurance industry and specialised loss adjusters, the flood characteristics and the reactional behaviour of the population as well as of the emergency services. The complexity may lead to the development of sub-sectoral functions. For example, the sector housing has to be split into a rural and an urban part, if both types of settlement are present.

2.3.6. Damage calculations and decision criteria

The procedures are the same as in micro-economic analysis.

2.4. Critical analysis of the existing methods

2.4.1. The perspective of integrated floodplain management

Talking about the efficiency of tools means to analyse their suitability in respect to the purpose in mind and their effectiveness seen in comparison between expenses and results obtained. In the context of this report the starting point has to be the discussion on the role of socio-economic information in integrated floodplain management. The aim of these activities is the implementation of plans of action on the strategic and operational level.

Flood alleviation can follow a set of measures influencing the potentials of flood incidence and of precautionary actions to reduce damage. Determining the overall optimum and by that the optimum of each optional component is very complex. The difficulties do not only arise from problems concerning impact analysis and assessment procedures but also from the egoism and the behaviour of the groups involved in integrated planning and decision making. Therefore, a professional management of the communication processes is most important for success. The more these processes can be supported by analytical results the better are the chances for sound decisions.

Looking at the existing instruments for supporting the integrated approach one can find that there are some deficits concerning the options beyond the infrastructural measures. Micro-economic analysis as well as the meso-scaled approach are still too much focused on this type of solutions. However, after having experienced some severe floods within the last decade the public has recognised their limited degree of protection. Water authorities begin to evaluate flood scenarios beyond of predetermined protection targets to stimulate the awareness of the residual hazards and to advise communities and landowners on additional precautionary measure. There is some progress, but the way of integrated floodplain management from theory to practice must be paved with extended tools especially in socio-economic impact analysis.

For example, there is a lack in sophisticated evaluation procedures for further-reaching precautionary actions as:

- preventive land use, aimed at preventing areas under threat from flooding;
- precautionary building to ensure buildings are constructed and used in such a way that total costs of remedial measures and residual losses are minimised;
- precautionary behaviour so that flood warnings can be better translated on site into specific action. Increased benefits expressed in quantitative terms stimulate improvements in flood warning systems. Modern technologies and advanced mathematical modelling contain a high potential for upgrading the systems;
- preventive financial provision for the cases where there is no net benefits from remedial activities so that the residual disadvantages have to be tolerated.

After having analysed the weaknesses of the existing methods within the frame of integrated floodplain management it can be stated that they give useful support in the field of traditional defence infrastructure. In any case such investigations do pay, otherwise they would not be commissioned in planning and decision-making processes where they are not compulsory.

2.4.2. Accuracy aspects

Reviewing the details of the methods starts with the data inputs. As mentioned before there are no problems with land use and topographic information. Also the physical impact calculations can be done in a sufficient way. The crucial points are the damage data and the vulnerability information respectively.

In micro-economic analysis HOWAS provides data to a certain extent. At the moment it contains about 3,500 data sets. The coding system has a hierarchical structure with four levels: sectors, sub-sectors, categories and sub-categories. On the top level there are 8 sectors. Data availability for residential buildings (about 1,900 data sets) and farm-buildings (more than 500 data sets) is quite good. By selecting samples, which represent the situation of the considered area with best approximation, it is possible to derive suitable site-specific depth-damage functions within these sectors. That could be confirmed by crosschecks with processed data specially surveyed for the test. For commerce and services are more than 600 data sets available. However, socio-economic impacts from flooding can be so different that results based only on HOWAS lack more or less in quality. This is especially true for all the other sectors. If the need for additional site-specific surveys is ignored depth-damage-functions for that sectors may be non-verifiable expert notions.

Meso-scaled analysis uses sector-specific functions, which describe the vulnerability as percentage of the average total value of the properties in relation to the inundation depth. To avoid confusion: the definition of the sectors is different from that in HOWAS (see chapter 2.3). The degree of accuracy depends on the representativeness of the statistical values of the properties and of average vulnerability of all assets included in a sector. From the statistical point of view does that mean, the larger the study area the better the spacial aggregated results. The information obtained for a single land unit may deviate more or less from the real situation. What concerns vulnerability it needs outstanding expertise in this field? Advanced calibration procedures would help to overcome this weakness which is the most attackable point of the method.

2.4.3. Disaster impact analysis

The impact of floods exceeding the performance of a defence system is traditionally calculated as residual damage expectancy. If these floods have low frequencies the average annual loss is only a very small percentage or even less of the actual value. For decision making on a special risk basis (like in national economy) this fact may be without any importance. However for the area affected there exists quite another risk aversion. For explanation: the damage expectancy of an event with a damage of DEM 10,000 and an occurrence of once a year is 10,000 DEM/a. The same expectancy value results from an event with a damage of DEM 1,000,000 and an occurrence of once in 100 years. As one can see decisions on how to cope with the single risks will be different. This is a reason for sophisticated disaster impact analysis, which is a weak point in the existing methods.

In this context a special impact has to be mentioned. Disastrous floods damaging larger schemes may cause socio-economic reactions, which exceed those of high frequency floods. An important point in question is the assumption of persistence that means whether or not regional economy has the adsorptive capacity to recover within a short time. Several large-scale disasters have shown that highly developed areas may experience structural breaks in long-term future economic growth. This adverse effect is called prosperity damage. How it can be handled is an urgent question to be solved for sustainable development of river valleys and coastal zones with intensive economic activities. For the city of Hamburg this very uncertain impact was the main argument for massive upgrading the flood defence system.

2.5. The role played by experience

Experience plays a very important role in the framework of socio-economic impact analysis. This is especially true for realistic damage data. The first attempt to collect such data on a nation-wide basis started in the mid-70s. However, this undertaking, initiated as a voluntary service, was not very successful. Filling in the questionnaires was very time-consuming so that authorities did not respond in a sufficient way. In addition, the method had weaknesses in its systematic with the consequence that the data obtained allowed only restricted processing.

After having learnt the lesson a new approach was launched. The first step consisted in developing a precise instruction for data surveying. Then, projects were commissioned for areas, which had suffered recent flooding. These activities are still going on. The latest project has been finished in 1998. It is important to mention that for quality reasons the surveys are done by trained loss adjusters. The final step was the development of the information system HOWAS for archiving and processing the data.

All this work has been done by the working group Cost-Benefit Analysis in Water Management (see chapter 1.3). Funds are committed by the states (Länder) individually or from their central budget for co-operation works.

The insurance industry plays a secondary role in data acquisition. There exist different reasons. Insurance companies regulate small claims usually without detailed investigations. But also in most other cases the parameters necessary for putting the data in the HOWAS system are unknown. A second problem is data protection that means data are normally only available in a more or less aggregated format. A third point concerns the calculation of the settlements which may differ from economic assessment.

However, the insurance industry can make a very important contribution towards loss reduction by raising the willingness of home and business owners to defend their property against flood damage. At the first glance insurance may not seem to enhance this willingness. The key to motivating the insured to take measures aimed at loss reduction are adequately structured insurance policies including a franchise, i.e. the share the insured contributes to the losses caused by a flood event.

3 CONCLUSIONS

The existing methods have proved themselves to be practicable and cost-effective instruments in traditional flood defence activities. They fill an essential information gap to a large extent and provide substantial support for improving decision quality in risk management. However, not all decision makers realize the potentials incorporated in these tools. In addition to that, the costs for this kind of investigations can influence the application in a negative way. As a consequence many self-appointed studies are triggered by special information needs which frequently result from conflicting objectives and make the planners to do such exercises. All in all, the methods developed so far are useful instruments. The main problem is their acceptance as a standard and a tool in daily practice.

In view of the new philosophy of integrated floodplain management the existing methods need further development. For the success of action plans based on this policy it is most important to have tools at hand which allow an assessment of all optional alleviation measures. Criteria for decision making have to be extended and procedures to be found which support the optimization process aligned on the most suitable mix of measures.

Experience in Germany shows that progress is stimulated in an effective way by combining the solution of real world problems with applied research. Therefore, cost-sharing pilot projects are a reliable method to cope with the challenges. They should include the possibilities to transfer know-how and industrialised tools of other countries. It proves good to start with consulting real experts and to discuss with them the objectives and the basic conditions.

The experience gained in analysing the methodologies of other countries demonstrates that such investigations accelerate the process of finding one's own position. To which extent modules out of the tool-kit of foreign institutions can be used and which adjustments have to be made is a question of tests under real world conditions of water management practice. Concerning the standard in Germany there are no restrictions for co-operation in such activities.

BIBLIOGRAPHY

- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1988). *Wahl des Bemessungshochwassers - Entscheidungswege zur Festlegung des Schutz- und Sicherheitsgrades*. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Nr. 209, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- M. Beyene (1992). *Ein Information-system für die Abschätzung von Hochwasserschadenspotentialen (An Information System for the Estimation of Flood Damage Potentials)*. Mitteilungen Heft 83 des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1985). *Ökonomische Bewertung von Hochwasserschutzwirkungen (Economic assessment of flood mitigating effects)*. DVWK-Mitteilungen Heft 10, Bonn.
- W. Günther and O. Niekamp (1989). *HOWAS - Hochwasserschadensdaten - Datenverwaltung und Auswertung (HOWAS - Flood Damage Data - Data Handling and Processing)*. Beitragssammlung zum 2. Fortbildungslehrgang Wasserwirtschaft des DVWK, Aachen.
- W. Günther and R.F. Schmidtke (1988). *Hochwasserschadensanalysen - Pilotuntersuchung über das Inn-Hochwasser im August 1985 (Flood Damage Analysis - Pilot Investigation on the River Inn Flood in August 1985)*. Wasserwirtschaft, 78(2), 61-68.
- M. Hamann and J. Hofstede (1998). *GIS-Applications for Integrated Coastal Defence Management in the Federal State of Schleswig-Holstein, Germany*. In: Kelletat, D. H. (ed.): *German Geographical Coastal Research - The Last Decade*. Institute for Scientific Co-operation, Tübingen, pp 169-182.
- International Commission for the Protection of the Rhine (1998) : *Action Plan on Flood Defence*.
- J. Klaus and R.F. Schmidtke (1990). *Bewertungsgutachten für Deichbauvorhaben an der Festlandesküste (Investment Appraisal for Coastal Flood Defence Schemes)*. Der Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- R.F. Schmidtke (1993). *Estimation of Flood Damage Potentials as Planning Information for Coast Protection Sea Defence Schemes*. Proceedings of the International UNESCO Workshop « Sea Level Changes and their Consequences for Hydrology and Water Management ». Nordwijkerhout, Netherlands, Session IC: Socio-economic Impacts, 75-88. IHP/OHP National Committee of Germany, Koblenz.
- R.F. Schmidtke (1995). *Sozio-ökonomische Schäden von Hochwasserkatastrophen (Socio-economic damage caused by flood disasters)*. Wasserbau-Mitteilungen Nr. 40, Technische Hochschule Darmstadt.

L'ÉVALUATION DES IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES DES INONDATIONS. LA SITUATION EN AMÉRIQUE DU NORD

Bruno LEDOUX

Cabinet BLC

Ce texte n'a pas été rédigé par un expert du pays concerné, comme c'est le cas pour les notes de synthèses relatives aux Pays-Bas, à l'Allemagne et l'Angleterre. Il est le résultat d'une recherche bibliographique effectuée auprès de quelques organismes américains et canadiens (*Federal Emergency Management Agency, Natural Hazards Center, Army Corps of Engineers*, École polytechnique de Montréal).

Si cette recherche a abouti à repérer un nombre important de publications (cf. la bibliographie en fin de note), l'obtention des références s'est avérée difficile. Malgré une recherche sur place, à Washington (Librairie du Congrès, Université Georges Washington, Université), nous n'avons pu obtenir qu'un très petit nombre de publications, qui sont probablement loin d'être les plus intéressantes. Les publications américaines sont pléthores et pour beaucoup d'entre elles plutôt confidentielles.

Les imprécisions et les manques de cette note reflètent cette difficulté à se procurer les articles appropriés.

1. LA PLACE DE L'ÉVALUATION SOCIO-ÉCONOMIQUE DES IMPACTS DES INONDATIONS DANS LA GESTION DU RISQUE

1.1. Évolution historique

L'évaluation économique dans la gestion du risque a fait son apparition aux États-Unis en 1936 avec les lois sur le contrôle des inondations¹⁸⁸. La nécessité d'une justification économique des projets de lutte contre les inondations date de cette époque.

Le contexte de la crise économique des années 30 a en grande partie justifié l'aménagement du bassin du Mississippi, mais un des objectifs du président Roosevelt est de prendre en main les projets d'aménagement de bassins versants afin que les décisions soient désormais prises selon des critères scientifiques plutôt que politiques. Cette prise en compte s'inscrit dans une partie de bras de fer longue de plusieurs années entre la présidence et le Congrès portant sur « la gestion de l'eau ».

188. Flood control Act of 1936, Flood control Act of 1938.

Aux États-Unis, la loi sur le contrôle des inondations de 1936 établit le recours à des analyses économiques Coûts / Bénéfices dans l'élaboration et l'évaluation des projets fédéraux de contrôle des crues¹⁸⁹. Les agences fédérales de développement des ressources en eau ont depuis établi des procédures détaillées d'évaluation économique¹⁹⁰ qui ont été beaucoup utilisées dans la gestion et le contrôle des zones inondables, que ce soit au niveau fédéral ou non fédéral.

1.2. Situation actuelle dans le domaine de la recherche

Les idées fondamentales de l'analyse coût-bénéfice, aussi bien que les techniques d'évaluation sont encore très débattues aujourd'hui, même après plusieurs décennies d'utilisation.

Le foisonnement d'articles et d'ouvrages disponibles rend difficile une évaluation précise du nombre d'équipes de recherche mobilisées sur les questions d'évaluation économique. Cette grande diversité tend à montrer une activité certaine autour de cette problématique, bien que les références méthodologiques souvent citées soient pour la plupart antérieures à la décennie 80. Cet aspect est confirmé par un économiste français de l'Environnement (P. POINT) qui nous a indiqué que les publications américaines sur ce sujet étaient très rares depuis une dizaine d'années.

Les recherches semblent initiées à la fois par des chercheurs de centres spécialisés tels que le *Natural Hazards Research and Applications Information Center* (University of Colorado), mais aussi par des organismes fédéraux tels que le *U.S. Army Corps of Engineers* qui joue un grand rôle dans la détermination des projets d'aménagement liés aux rivières (entre autres). Les associations spécialisées sont également présentes (*Association of State Civil Engineers*).

La présence et la contribution éventuelle de bureaux d'études n'ont pas pu être évaluées.

Pour les recherches dont nous avons connaissance, un des principaux buts poursuivis est l'**automatisation** des méthodes d'évaluation au moyen de l'outil informatique.

- Ainsi un modèle de simulation a été élaboré qui vise à déterminer le coût économique total d'un projet d'aménagement spécifique de gestion des crues dans le but d'en minimiser le coût total et d'optimiser la définition des mesures nécessaires¹⁹¹.

- Une méthode automatisée d'évaluation des impacts des crues¹⁹² a été développée puis perfectionnée au Canada depuis le début des années 90. Elle porte en priorité sur les impacts économiques d'une rupture potentielle de barrage, mais s'avère exploitable pour les crues exceptionnelles. Le choix de l'informatisation repose sur la nécessité d'effectuer ces études sur plusieurs ouvrages, selon différents scénarios, avec des délais et des coûts raisonnables.

Le logiciel DOMINO, développé pour une société privée propriétaire de barrages, permet d'évaluer les impacts en tenant compte des données d'écoulement provenant des simulations de bris de barrages ou des crues, du territoire affecté ainsi que des évaluations économiques des propriétés et des infrastructures touchées.

189. R.A.Wurbs, « Optimal sizing of flood damage reduction measures based on economic efficiency », in *Water Ressources Development*, vol. 12, n°1, 1996, pp. 5-16.

190. Hansen, 1987 ; Davis *et al.*, 1988 ; Wurbs, 1988.

191. R.A.Wurbs, « Optimal sizing of flood damage reduction measures based on economic efficiency », in *Water Ressources Development*, vol. 12, n°1, 1996, pp. 5-16.

192. J. Gagnon, C. Marche, G. Lessard, « Computerized evaluation of flood impact », contribution à la First annual conference, The canadian dam society, 27 septembre-1^{er} octobre 1998 - 15p.

La méthode d'évaluation mise en œuvre repose sur trois étapes majeures : prévision de l'écoulement, définition des contours du territoire impliqué et comptabilité des différents impacts identifiés sur la zone affectée.

Cinq étapes sont nécessaires pour l'évaluation des dommages d'inondation :

1 - Préparation du modèle numérique de terrain.

2 - Simulation numérique des conditions d'écoulement (uni ou bi-dimensionnelles).

3 - Pour chaque cas étudié, la zone inondable maximum résulte du croisement de la surface du terrain naturel avec la surface maximum des eaux libres.

L'évaluation des impacts est conduite dans ces limites. Quand la méthode est appliquée plus finement, on obtient des limites de crues instantanées (par heure). D'autres limites de zone peuvent être obtenues ; elles se révèlent très utiles pour compléter certains critères utilisés dans l'évaluation des dommages d'inondation (contours de la zone où l'eau dépasse une certaine hauteur, où le produit de la hauteur par la vitesse dépasse une certaine valeur).

4 - L'inventaire des entités affectées est issu de l'analyse informatisée des résultats de l'évaluation menée dans chaque municipalité inondable. Les données statistiques, libres d'accès la plupart dans la plupart des cas, comme beaucoup d'autres données publiques, fournissent la plupart des informations nécessaires à l'évaluation des dommages et des impacts potentiels. Ils identifient et localisent les entités affectées, révèlent leur valeur et leur statut (résidentiel, commercial, saisonnier, etc.).

Ces données sont cartographiées et géoréférencées. Pour chaque crue, une appréciation de la hauteur d'eau et de sa vitesse est attribuée à chaque objet évalué. La liste des unités affectées ne contient que celles pour lesquelles une valeur positive de la hauteur d'eau est obtenue.

5 - Toutes les entités sont localisées, et celles craignant l'inondation sont identifiées. Des règles de calcul des impacts sont utilisées pour évaluer chaque scénario de crue. Le logiciel permet d'introduire dans le calcul les procédures d'alerte ou l'impact des mesures de mitigation.

Les données disponibles à ce niveau pourront éventuellement permettre un traitement séparé des impacts sur les infrastructures, les installations industrielles, sur le développement commercial ou agricole. Mais le développement du logiciel reste à faire.

En Amérique du Nord en général et au Québec en particulier, il semble bien que l'effort de recherche ne porte plus aujourd'hui sur la caractérisation et l'évaluation des dommages unitaires (ou des fonctions d'endommagement). Les chercheurs québécois de l'École polytechnique de Montréal estiment que des données actuellement disponibles suffisent. Il faut noter d'une part qu'en Amérique du Nord, l'habitat est beaucoup plus standard qu'en Europe, ce qui facilite l'élaboration de coûts moyens et, d'autre part, que les gens sont moins attachés à leur patrimoine immobilier (on change facilement de domicile et donc on remplace plus facilement une maison endommagée ou détruite).

• Le *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) a mis au point en interne un outil d'estimation des pertes potentielles consécutives à un séisme (*Tool for Estimating Earthquake Losses*). Il s'agit d'un outil construit autour d'un système d'information géographique manipulant différentes couches d'information relatives à l'aléa sismique, aux enjeux et aux fonctions d'endommagement. La philosophie de cet outil est similaire à celle de l'outil mise en œuvre pour la simulation des crues et des impacts économiques des inondations en Ile-de-France. Le

FEMA vient de lancer la mise au point d'un outil équivalent pour les inondations. Nos interlocuteurs estiment que plusieurs années de recherche seront nécessaires pour disposer d'un outil opérationnel. La principale difficulté vient selon eux du zonage aléa qui est beaucoup plus précis et localisé, ce qui rend délicat le croisement avec les données concernant les enjeux.

1.3. Situation actuelle au niveau des pouvoirs publics et d'autres utilisateurs potentiels

Aux États-Unis, l'évaluation économique est une pratique courante et elle joue un rôle important dans la formulation des plans de réduction des dommages dus aux crues. L'évaluation économique est une réelle composante de l'aide à la décision dans les politiques publiques.

Pour les cas dont nous avons connaissance, les évaluations sont en général menées dans le cadre de projets de gestion des crues qui concernent des secteurs de taille variable. Elles sont développées soit avant, soit après la survenue d'un événement majeur. Les aménagements qui ont prévalu depuis plusieurs décennies ont atteint leurs limites d'efficacité (levées, barrages, redressement du cours d'eau...).

La prise de mesures "ex-ante" permet d'anticiper sur des événements dommageables. Le fait d'agir a posteriori est compensé par une capacité à prendre des mesures radicales (déplacement de zones d'activités ou d'habitat...).

2. L'ÉTAT DE L'ART

2.1. Les types de méthodes développées et les échelles spatiales considérées

Le niveau de développement des approches monétaires est élevé avec la très longue pratique des analyses coûts/bénéfices. Mais ces dernières ne sont pas parfaites et il existe toujours à l'heure actuelle un débat et des échanges constants sur cette méthode. Le *US Army Corps of Engineers* fait quant à lui usage d'une méthode intégrant des probabilités pour surmonter l'incertitude en matière d'estimation des fréquences de crue, et des dommages moyens annuels¹⁹³.

2.2. Analyse critique des méthodes développées

En 1995, un rapport du *National Research Council* (NRC)¹⁹⁴, a mis en cause les méthodes du *US Army Corps of Engineers* et souhaite que « les dommages économiques attendus et la probabilité d'inondation soient basés sur des estimations traditionnelles d'écoulement de la crue et d'autres facteurs qui contribuent au risque d'inondation et aux dommages, [...] sans avoir recours aux probabilités attendues et autres ajustements de l'incertitude. »

193. L.R. Beard, « Estimating flood frequency and average annual damage », *Journal of water resources planning and management*, March/April 1997, pp 84-88.

194. National Research Council, « Flood risk management and the american river basin - an evaluation », National Academy Press, Washington, D.C.

2.3. Description générale des méthodes

2.3.1. L'importance des analyses coûts/bénéfices

L'analyse coûts / bénéfices est largement utilisée aux USA. L'appréciation des projets relatifs à la gestion de l'eau, comme tous les autres investissements publics ou privés, consiste à évaluer et comparer des coûts et bénéfices que le projet implique. Schématiquement, c'est un processus en trois étapes :

- identification des coûts et bénéfices en rapport avec le projet ;
- quantification de ces éléments en incluant l'évaluation des coûts et bénéfices futurs aux valeurs actuelles ;
- comparaison des coûts totaux avec les bénéfices totaux.

Un test préliminaire de justification économique requiert que les bénéfices attendus dépassent les coûts. Quand des mesures ou projets alternatifs sont aussi considérés, la justification repose sur la comparaison de leurs ratios coûts/bénéfices respectifs.

Les **coûts et bénéfices** d'un projet sont de plusieurs sortes : existants et potentiels, généraux et spéciaux, directs et indirects, tangibles et intangibles. Un problème spécifique apparaît lorsque l'on considère les usages possibles de la zone inondable théoriquement protégée par les aménagements projetés. Doit-on compter comme un bénéfice le développement futur de ces secteurs, avec le risque de voir le ratio bénéfice « dopé » ? Une autre difficulté est constituée par les effets intangibles du projet qui ne sont pas convertis en dollars comme la destruction du paysage, des habitats de la vie sauvage ou la disparition d'espaces de loisirs.

Une des clés de l'analyse coûts/bénéfices est la prise en compte de « **l'horizon temporel** » à travers la sélection d'un **taux d'actualisation** approprié permettant de ramener les bénéfices et coûts futurs à des valeurs actuelles. Le taux d'actualisation représente le niveau d'intérêt qu'une somme d'argent donnée, investie aujourd'hui, doit se voir appliquée afin de produire un montant égal au bénéfice ou au coût estimé à un moment donné dans le futur.

Plus le niveau du taux d'actualisation est bas, plus grande est la valeur actuelle des coûts et bénéfices futurs. Comme les bénéfices de ce genre de projet sont assez lointains dans le temps, alors que les coûts sont plus immédiats, un taux d'actualisation bas tend à sureprésenter les bénéfices au détriment des coûts. Cette question occupe des économistes depuis le début de la mise en œuvre de ce type d'analyse¹⁹⁵.

La question de la détermination optimale de "**l'horizon temporel**" est très importante pour établir la durée des coûts et bénéfices relatifs à un projet. "Il n'existe pas de méthode générale acceptée de détermination de la période temporelle pour escompter les bénéfices et capitaliser les coûts"¹⁹⁶.

2.3.2. Des méthodes plus élaborées

Depuis les années 60, en dépit de l'émergence des mesures d'aménagement non structurelles, des projets de contrôle des crues ont continué à être autorisés. Bien que l'usage de l'analyse coûts / bénéfices soit répandu, certains problèmes techniques continuent de montrer ses limites : problèmes d'identification des coûts et bénéfices pertinents, sélection du taux d'actualisa-

195. En particulier O. Eckstein et J.V. Krutilla, *Multiple purpose river development*, Baltimore, 1958.

196. White, 1986.

tion, et prise en compte de l'influence du projet sur les changements d'usage qu'il induit dans les secteurs concernés. Les résultats sont souvent biaisés par la surestimation des bénéfices et la sous-estimation des coûts.

Des ajustements significatifs ont été apportés au fil du temps pour aboutir à des méthodes plus élaborées¹⁹⁷. Le calcul des économies annuelles est basé sur les dommages annuels attendus (concept à rapprocher du coût moyen annuel – CMA – développé en France par le BCEOM).

L'estimation des dommages annuels attendus est réalisée en quatre étapes successives :

- l'analyse hydrologique des fréquences de crue ;
- l'évaluation du risque ;
- l'évaluation de l'exposition au risque ;
- l'évaluation des dommages.

• L'analyse hydrologique des fréquences de crue est basée sur des données historiques et permet de réaliser une probabilité de récurrence des futures crues. D'autres critères, comme les événements extrêmes ou les simulations calculées à partir de modèles informatiques, sont également largement utilisés pour déterminer la crue de "référence".

• L'évaluation du risque se focalise sur les types de risques auxquels on est confronté lors de la survenue d'une crue. Ces derniers sont divisés en deux catégories : les dommages tangibles et les dommages intangibles.

Les dommages tangibles sont soit directs, soit indirects selon que le contact est direct avec l'eau ou bien que les pertes sont dues aux dysfonctionnements provoqués par les eaux de crue. Les dommages tangibles sont habituellement estimés en termes monétaires.

L'estimation des dommages intangibles n'est pas basée sur une estimation monétaire, et elle peut par exemple prendre en compte la perte due à la détérioration d'un site culturel historique ou les effets sur la santé humaine.

• L'évaluation de l'exposition au risque est utilisée pour estimer l'étendue et la sévérité des dommages. L'ampleur des pertes dues à l'inondation et leur répartition au sein de la zone inondable dépendent de facteurs hydrologiques, spatiaux et humains.

Les facteurs **hydrauliques** incluent les caractéristiques de la crue telles que la hauteur de l'eau, la vitesse de propagation de l'onde de crue, la vitesse de montée des eaux, la durée de l'inondation, la charge sédimentaire... Les modèles informatiques sont d'un grand secours pour estimer les caractéristiques de ces différents processus physiques.

Les facteurs **d'utilisation de l'espace** prennent en compte le type et la valeur des propriétés affectées.

Les facteurs **humains** sont constitués par les mesures préventives qui ont pu être prises par la population vivant dans les zones à risque.

• L'évaluation des dommages implique l'estimation de l'impact lié à l'exposition probable, en terme de coût de remplacement et de restauration des secteurs sinistrés. Une approche com-

197. S.J. Boyle, I.K. Tsanis, P.S. Kanaroglou, « Developing geographic information systems for land use impact assessment in flooding conditions », *Journal of water resources planning and management*, March/April 1998, pp. 89-98.

munément utilisée est celle de la « méthode de corrélation » où la hauteur des eaux est considérée comme un déterminant majeur dans la fonction d'estimation du dommage total.

Ces fonctions sont habituellement basées sur une corrélation entre le dommage estimé à partir du travail de terrain et les caractéristiques hydrologiques et économiques de la zone inondable.

Les méthodes nécessaires à la réalisation de ces fonctions sont développées par Kates (1965), Penning-Rowsell et Chatterton (1980). Notons que ces derniers auteurs, fréquemment cités en référence par les auteurs américains, sont anglais. En 1985, dans le cadre d'un programme commun entre l'État d'Ontario et le Canada, des courbes « hauteur/dommage » ont été développées.

Généralement, les stratégies de gestion adoptées dans les zones inondables dans le but de limiter les dommages potentiels à des niveaux acceptables de risque et de protection sont basées sur¹⁹⁸ :

- la modification des crues. Il s'agit de mesures structurelles restreignant le mouvement des eaux de crue dans la zone inondable (digues, levées, barrages, recalibrage du cours d'eau...).
- le *floodproofing*. Ce sont des mesures non structurelles impliquant la surélévation et/ou le déplacement des activités, les évacuations, les mesures d'urgence de lutte contre la crue, ainsi que les mesures de prévention et d'alerte. La notion de *floodproofing* prend également la forme d'arrêtés municipaux de zonage, codes de construction, programmes éducatifs.
- la modification de la charge des pertes peut être obtenue par la contraction d'une assurance inondation, l'allègement des taxes, et des programmes de réhabilitation.

Ce processus a connu des évolutions notables avec la détermination d'objectifs nouveaux, allant au-delà des seules préoccupations économiques (Penning-Rowsell *et al.*, 1986).

2.4. Le rôle du retour d'expérience

Des membres du *Federal Emergency Management Agency* nous ont indiqué que des coefficients d'endommagement étaient mis au point dans le cadre du *National Flood Insurance Program*. Ces coefficients sont régulièrement mis à jour ou corrigés à travers l'expérience des experts intervenant dans l'estimation des pertes. Il ne nous a pas été possible cependant de se procurer des guides relatifs à ces méthodes. Il semble qu'elles concernent pour essentiellement l'habitat.

BIBLIOGRAPHIE

Outre les articles cités dans le corps du texte,

- R.N.L. Andrews (1984). *Economics and Environmental Decisions, Past and Present*. In : Environmental Policy Making Under Executive Order 12291 - edited by V.K. Smith. 43-85. Chapel Hill, North Carolina : University of North Carolina Press.
- K.J. Arrow et R.C. Lind (1970). *Uncertainty and the Evaluation of Public Investment Decisions*. American Economic Review 60 - pp. 364-378.
- S.A. Bollens, E.J. Kaiser, et R.J. Burby (1988). *Evaluating the Effects of Local Floodplain Management Policies in Property Owner Behaviour*. Environmental Management 12 (3) - pp.311-325.

198. Flood, 1976.

- R.J. Burby (1991). *Sharing Environmental Risks : How to Control Government Losses in Natural Disasters*. Boulder, Colorado : Westview Press.
- E. David et J Mayer (1984). *Comparing costs of alternative flood hazard mitigation plans : the case of Soldiers Grove, Wisconsin*. A.P.A. Journal, winter 1984 - pp. 22-35
- W.A. Donnelly (1989). *Hedonic Price Analysis of the Effect of a Floodplain on Property Values*. Water Resources Bulletin 25 (3) - pp. 581-586.
- O. Eckstein (1958). *Water-Resource Development : The Economics of Project Evaluation*. Cambridge, Massachusetts : Harvard University Press.
- Federal Emergency Management Agency (1994). *A Unified National Program for Floodplain Management : 1994*. FEMA #248. Washington, D.C.
- J.M. Gillroy (1992). *The Ethical Poverty of Cost-Benefit Methods : Autonomy, Efficiency, and Public Policy Choice*. Policy Sciences 25 (2) - pp.83-102.
- D.A. Graham (1992). *Public Expenditure Under Uncertainty : The Net-Benefit Criteria*. American Economic Review 82 (4) - pp. 822-846.
- J.V. Krutilla (1967). *Conservation Reconsidered*. American Economic Review 57 (4) - pp. 777-786.
- J.V. Krutilla (1966). *An Economic Approach to Coping with Flood Damage*. Water Resources Research 2 (2) - pp. 183-190.
- V. Krutilla (1966). *Is Public Intervention in Water Resources Development Conducive to Economic Efficiency?* Natural Resources Journal 6 (1) - pp. 60-75.
- J. Kusler et L. Larson (1993). *Beyond the Ark : a new approach to U.S. floodplain management*. Environment n° 35 - pp. 7-11 ; 31-34.
- R.C. Lind (1990). *Reassessing the Government's Discount Rate Policy in Light of New Theory and Data in a World Economy with a High Degree of Capital Mobility*. Journal of Environmental Economics and Management 18 (2) - S8-S28.
- A. Maass (1966). *Benefit-Cost Analysis : Its Relevance to Public Investment Decisions*. Quarterly Journal of Economics 80 - pp. 208-226.
- M.F. Myers et G.F. White (1993). *The Challenge of the Mississippi Flood*. Environment 35 (10) - pp.6-9, 25-35.
- G.F. White *et al.* (1958). *Changing in urban occupance of flood plains in the United States*. Research paper n°57 - Department of Geography, University of Chicago.
- G.F. White et J.E. Haas (1975). *Assessment of research on natural hazards*. Cambridge and London.
- A.M. Yezer et C.B. Rubin (1987). *The local economic effects of natural disasters*. Working paper n° 61 - Natural Hazards Research and Applications Information Center, University of Colorado, Boulder.

BIBLIOGRAPHIE

Cette bibliographie recense les documents consultés et/ou répertoriés lors de la préparation du séminaire du 12 et 13 janvier 1998. Ces documents sont classés de la manière suivante :

- les documents à caractère méthodologique, réalisés dans le cadre d'études générales et recherches appliquées (1) ;
- les études d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations, produites dans une perspective de connaissance, d'aide à la décision d'aménagement ou suite à des événements catastrophiques (2). Ces études, appliquées à des sites, sont classées par grands bassins hydrographiques (en considérant les territoires des Agences de l'eau) ;
- les documents méthodologiques concernant l'évaluation des enjeux et de la vulnérabilité, réalisés dans le cadre des procédures réglementaires de prévention des risques (3) ;
- quelques rapports récents réalisés lors des missions d'enquête diligentées par le gouvernement à la suite des catastrophes naturelles (4).

1. Études et recherches à caractère méthodologique

- ARNAL C. et MASURE P. 1996. Approche intégrée des risques dus aux aléas naturels. Évaluation de l'impact économique et financier d'une catastrophe naturelle : le cas de Nîmes.
- BRGM. Ministère de l'environnement, 69 pages et annexes.
- BAMBERGER D. 1987. Évaluation du coût des dommages indirects engendrés par la fermeture des voies sur berge en période de crue à Paris. Mémoire de DEA de l'Université Paris-Dauphine, réalisé à la Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France, 101 pages.
- BCEOM. 1967. Essai sur le coût économique des crues. Ministère de l'équipement et du logement, trois volumes (104 pages, 193 pages, 186 pages)
- BCEOM. 1969. Calculs de rentabilité appliqués aux aménagements de défense contre les eaux. Note de méthode provisoire valant instruction pour la justification des projets. Ministère de l'équipement et du logement. Direction des ports maritimes et des voies navigables. Service central hydrologique, 94 pages.
- BCEOM. 1970. Recherches méthodologiques sur l'évaluation des coûts unitaires des dommages causés par les crues. Ministère de l'équipement et du logement. Direction des ports maritimes et des voies navigables. Service central hydrologique, 212 pages.
- BCEOM. 1973. Évaluation des dommages d'inondation en France. Note produite dans le cadre du « Group of Experts on Flood Damage Prevention », 3-6 décembre 1973, 7 pages.
- BCEOM. 1973. Approche rationnelle des décisions concernant les nuisances dues aux inondations. Essai méthodologique préliminaire. Ministère de l'aménagement du territoire, de l'équipement, du logement et du tourisme. Direction des ports maritimes et des voies navigables. Service central hydrologique, 37 pages.
- BCEOM. 1977. Approche rationnelle des décisions concernant la lutte contre les nuisances dues aux inondations. Ministère de l'équipement et de l'aménagement du territoire (deux volumes et annexes).
- BCEOM. 1979. Mise en place d'un fichier national des dommages dus aux inondations. Ministère de l'environnement (Direction de la Pollution et des Risques). Service central de l'hydrologie et de l'environnement.

- BCEOM. 1980. Lutte contre les nuisances des inondations : méthode sommaire d'évaluation des critères économiques valant instruction pour la justification des projets. Ministère de l'Environnement et du Cadre de vie (Direction de la Pollution et des Risques). Service Central de l'hydrologie et de l'environnement, 28 pages et annexes.
- BCEOM. 1980. *Réorganisation et informatisation du fichier des dommages dus aux inondations*. Document de travail réalisé pour le Ministère de l'environnement et du cadre de vie, 8 pages.
- BCEOM. 1984. *Bilan économique des inondations en France, années hydrologiques de 1979 à 1982*. Secrétariat d'État à l'environnement (Direction de la prévention des pollutions, Sous-direction des eaux continentales), 18 pages et annexes.
- BCEOM. 1985. *Informatisation du fichier national des dommages causés par les inondations*. Secrétariat d'État à l'environnement (Direction de la prévention des pollutions, Sous-Direction des eaux continentales).
- BRAUN E., JAMET B., LAHMINE N et PARAY A. 1999. *L'évaluation économique du risque d'inondation*. Mémoire d'étude de l'ENGREF réalisé pour le CEMAGREF de Lyon, 62 pages.
- CEMAGREF. 1992. *Inondabilité : modélisation des connaissances hydrologiques et hydrauliques en vue de la confrontation risques-besoins de protection directe. Synthèse cartographique*. Rapport du CEMAGREF de Lyon, 195 pages.
- COMBE P.M. 1998. *Economic valuation of the maximum acceptable risk*. Université de Bourgogne (LATEC). Rapport établi dans le cadre du projet de recherche FLOODAWARE. Commission des communautés européennes, 28 pages.
- COMBE P. M. 1999. *Réduction du risque d'inondation et méthode contingente, éléments d'information et de réflexion*. Université de Bourgogne (LATEC).
- DELEUZE C., FOTRE C., NUTI I., PIETRO F. 1991. *Évaluation de fonctions de coûts économiques des dommages aux cultures dus aux inondations*. Mémoire d'étude de l'ENGREF réalisé pour le CERGREN, 50 pages.
- DESBOS E. 1995. *Qualification de la vulnérabilité du territoire aux inondations. Recherche d'un cadre théorique*. Mémoire de DEA de l'INSA de Lyon réalisé au CEMAGREF de Lyon, 44 pages et annexes.
- GAROLA-GIUGLARIS P. 1984. *Problématique du risque et incertitude à propos de l'évaluation socio-économique des dommages dus aux inondations*. Thèse de doctorat de l'ENPC, 319 pages.
- GENDREAU N., LONGHINI M. et COMBE P.M. 1998. *Gestion du risque d'inondation et méthode inondabilité : une perspective socio-économique*. Article publié dans la revue « Ingénierie Eau-Agriculture-Territoire », n° 14, p. 3-15.
- GILARD O. 1992. *La méthode inondabilité : présentation générale*. Note du CEMAGREF de Lyon, 5 pages.
- GILARD O. et al. 1996. *Guide pratique de la méthode inondabilité*. Rapport du CEMAGREF de Lyon pour les Agences de l'eau et le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Étude inter-Agences n° 60, 158 pages.
- HUBERT G., HUMBERT B. et PICHERAL I. 1995. *Le risque d'inondation pluviale urbaine : les facteurs socio-économiques*. Rapport du CERGREN pour le Ministère de l'environnement (DGAD-SRAE), 71 pages et annexes.
- HUBERT G. et PICHERAL I. 1995. *Évaluation des dommages liés aux inondations pluviales urbaines. Exploitation des données d'enquêtes*. Rapport du CERGREN réalisé dans le cadre du projet de recherche EUROFLOOD 2. Commission des Communautés Européennes, 67 pages et annexes.

- HUBERT G. 1997. *Le risque d'inondation pluviale, étude des facteurs socio-économiques*. Article publié dans l'ouvrage « *Risques et réseaux techniques urbains* » (sous la direction de Blanchet P). Lyon : CERTU, collection débats, p. 80 à 93.
- LAGLAINE V. 1996. *Évaluation de l'impact des projets de lutte contre les inondations sur la réduction des dommages. Analyse des incertitudes sur les résultats*. Rapport du CERGNE réalisé dans le cadre du projet de recherche EUROWFLOOD 2. Commission des Communautés Européennes, 70 pages et annexes.
- LONGHINI M. 1997. *Analyse microéconomique de la vulnérabilité aux inondations. Recherche d'un cadre théorique sur le cas agricole*. Rapport du CEMAGREF de Lyon et du LATEC (Université de Bourgogne), 82 pages.
- MACGILCHRIST R. 1985. *Vers une meilleure évaluation et planification des projets de lutte contre les inondations : le problème de la prise en compte du risque*. Rapport du CERGNE pour le Ministère de l'urbanisme et du logement, le Ministère de l'environnement et le Groupe prospective, deux volumes (68 pages, 60 pages).
- MAISTRE P. 1997. *Gestion du risque d'inondation. Approche méthodologique*. Centre régional universitaire de formation permanente du Languedoc-Roussillon, 74 pages.
- MARCO O. et PENEL M. 1992. *Aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels*. Actes du séminaire sur les risques naturels organisé par l'ENGREF et le CEMAGREF (octobre 1991). Collection études du CEMAGREF, série Montagne n° 2, 151 pages.
- MUNIER B. et al. 1997. *Les méthodes coûts-bénéfices de la prévention des risques naturels*. Rapport du GRID de l'École Normale Supérieure de Cachan, 294 pages.
- MUNIER B. 1997. *Réflexions sur l'économie de la prévention des risques et l'indemnisation des dommages*. Article publié dans "La prévention des risques naturels", rapport de la Commission interministérielle de l'évaluation des politiques publiques. Paris : La Documentation Française, p. 566-579.
- ROUYERE M. 1995. *Les transferts financiers liés à la gestion des espaces inondables, le cas de la vallée de l'Oise*. Mémoire de DEA de l'Université Paris X et de l'ENGREF, 84 pages.
- TORTEROTOT J.-P. 1988. *Organisation et réalisations d'enquêtes sur les dommages dus aux inondations*. Rapport du CERGNE pour le Secrétariat d'État auprès du Premier ministre chargé de l'environnement (SRETIE) et le Secrétariat d'État à la prévention des risques technologiques et naturels majeurs (DEPPR, DRM), 49 pages et annexes.
- TORTEROTOT J.-P. et THOMAS C. 1988. *Saisie et contrôle des données d'enquêtes sur les dommages dus aux inondations*. Rapport du CERGNE pour le Secrétariat d'État auprès du Premier ministre chargé de l'environnement (SRETIE) et le Secrétariat d'État à la prévention des risques technologiques et naturels majeurs (DEPPR, DRM), 45 pages et annexes.
- TORTEROTOT J.-P. 1989. *Inondations et facteurs humains : quelles orientations pour des observatoires ?* Rapport du CERGNE pour le Secrétariat d'État auprès du Premier ministre chargé de l'environnement (SRETIE) et le Secrétariat d'État à la prévention des risques technologiques et naturels majeurs (DEPPR, DRM), 40 pages et annexes.
- TORTEROTOT J.-P. 1989. *Modélisation et évaluation du coût des dommages dus aux inondations à l'échelle d'un bief de cours d'eau*. Rapport du CERGNE pour le Secrétariat d'État auprès du Premier ministre chargé de l'environnement (SRETIE) et le Secrétariat d'État à la prévention des risques technologiques et naturels majeurs (DEPPR, DRM), 31 pages et annexes.
- TORTEROTOT J.-P. 1993. *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*. Thèse de doctorat de l'ENPC, 283 pages et annexes.

2. Études générales d'évaluation des impacts socio-économiques des inondations

Bassin Adour-Garonne

- BAGHERZADEH-BORNER M. 1985. *Rapport d'enquête sur les inondations de Montauban du 9 novembre 1982*. Rapport du CERGRENE pour le Ministère de l'environnement (Délégation aux risques majeurs), 25 pages et annexes.
- BCEOM. 1971. *Évaluation des dommages de crue dans le bassin de la Garonne*. Agence Financière de Bassin Adour-Garonne.
- BCEOM. 1984. *Évaluation des dommages de crue de l'Adour en milieu rural*. SRAE Aquitaine. Institution Interdépartementale pour l'Aménagement hydraulique du Bassin de l'Adour.
- DEBIZET G. et CAUDE G. 1986. *Simulation des dommages en zone urbaine inondable. Application au quartier de Sapiac à Montauban*. Rapport du CERGRENE pour le Ministère de l'environnement (Délégation aux risques majeurs), 73 pages et annexes.
- SMEPAG. 1989. *Schéma de protection contre les eaux de la Garonne. Monographie des crues de la Garonne*. Syndicat mixte d'étude et de programmation pour l'aménagement de la Garonne.

Bassin Loire-Bretagne

- ASCA. 1996. *Connaissance des activités économiques dans les vals inondables de la Loire moyenne. Rapport méthodologique et résultats de l'étude test*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, deux volumes (19 pages et annexes, 22 pages et annexes).
- ASCA. 1997. *Caractérisation de la vulnérabilité à l'échelle des entreprises*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne.
- ASCA. 1998. *Évaluation des enjeux et des dommages directs potentiels pour les activités économiques des vals de la Loire moyenne*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 22 pages et annexes.
- ASCA. 1998. *Évaluation des enjeux et des dommages agricoles liés à une inondation des vals de la Loire moyenne. Rapport méthodologique et principaux résultats*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 38 pages.
- ASCA. 1998. *Évaluation de la dynamique économique des communes riveraines de la Loire moyenne. Méthodologie et application à 13 communes*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 78 pages.
- BCEOM. 1973. *Évaluation des dommages de crue dans la vallée du Cher*. Agence Financière de Bassin Loire-Bretagne.
- BCEOM. 1978. *Étude des dommages d'inondation dans la vallée de la Charente. Cas de la ville de Saintes*. DDE de Charente-Maritime.
- BCEOM. 1984 et 1985. *Aménagement d'un couloir d'écoulement des crues de la Charente en aval de Saintes. Étude économique. Dimensionnement optimal de la trouée (1984). Rentabilité des aménagements (1985)*. DDE de Charente-Maritime.
- BCEOM. 1994. *Étude de la vulnérabilité des zones inondables du Val d'Orléans et du Val de Bou. Phase I : vulnérabilité humaine*. DDE du Loiret, 21 pages.
- BCEOM. 1996. *Rivière Borne. Aménagement de la rivière de la Borne, en vue de la réduction des dégâts liés aux crues*. District du Puy-en-Velay.
- BCEOM. 1997. *Étude en vue de réduire les dégâts liés aux crues de la rivière du Dolaizon*. District du Puy-en-Velay et DDE de Haute-Loire.

- BLC. 1997. *Caractérisation et évaluation des dommages à l'habitat en Loire moyenne. L'apport des experts d'assurances*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 13 pages et annexes.
- BLC. 1997. *Évaluation des dommages aux activités à travers l'approche assurantielle*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, trois volumes (17 pages, 64 pages, 31 pages).
- BLC. 1998. *Réflexions préalables à la définition d'une stratégie de réduction de la vulnérabilité aux inondations de la Loire moyenne*. Équipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne (non paginé).
- BLC et TED ALITEC. 1998. *Étude sur l'évaluation des dommages indirects liés aux inondations de la Loire moyenne. Évaluation sur les finances locales des inondations. Études des conditions de la gestion post-catastrophe*. Équipe Pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 125 pages et annexes.
- CNR. 1998. *Étude des crises hydrologiques du bassin versant de la Maine*. EPALA et DIREN Centre, 52 pages.
- DENIER A. 1987. *Le coût des inondations. L'exemple du département de la Nièvre*. Chambre d'Agriculture de la Nièvre. Communication aux Journées nationales d'étude de l'AFEID sur « La protection contre les crues et l'aménagement des vals d'inondation ».
- DEVAUX-ROS C. 1998. *Évaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations de la Loire moyenne. Méthodes et principaux résultats*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 46 pages et annexes.
- DEVAUX-ROS C. 1998. *Démarche adoptée pour le volet économique de l'étude Loire moyenne et études associées*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne, 20 pages et annexes.
- Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. 1999. *Étude de la propagation des crues et du risque d'inondation en Loire moyenne. Enjeux et dommages dans le lit de la Loire*. Préfecture de la région Centre. EPALA. Agence de l'eau Loire-Bretagne, (plaquette parue en juin 1999).
- Équipe pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature. 1999. *Atlas des enjeux exposés au risque d'inondation de la Loire moyenne*. Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature. Agence de l'eau Loire-Bretagne (document à paraître).
- HUBERT G. et LAGLAINE V. 1996. *Caractérisation économique des enjeux liés aux inondations de la Loire sur les agglomérations de Tours et d'Orléans. Approche méthodologique*. Rapport du CERGÈNE pour l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, 55 pages.
- LANGUMIER. 1997. *Méthode d'évaluation des enjeux et des dommages directs potentiels, pour les services d'eau, de divers scénarios de gestion des crues de la Loire moyenne*. Rapport d'ECODECISION pour l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, 16 pages et annexes.
- LANGUMIER. 1998. *Évaluation de coût des secours en cas de crue de la Loire moyenne à partir d'une étude de cas (la crue de la Vilaine de janvier 1995)*. Rapport d'ECODECISION pour l'Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire Grandeur Nature et l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, 11 pages.
- PICARD J. 1987. *Protection des vals de Loire contre les inondations. L'évaluation des pertes économiques dues aux inondations*. EPALA. Communication aux Journées nationales d'étude de l'AFEID sur « La protection contre les crues et l'aménagement des vals d'inondation ».
- SODEXPER et CERGÈNE. 1995. *Évaluation économique des politiques alternatives dans le domaine de la prévention des dommages dus aux inondations sur le bassin Loire-Bretagne*. Étude réalisée dans le cadre du SDAGE Loire-Bretagne pour l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, 82 pages.

Bassin Rhin-Meuse

- BCEOM. 1971. *Évaluation des dommages de crue dans la vallée de la Sarre*. Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse.
- BCEOM. 1972. *Étude économique des inondations dans le bassin de l'Ill*. Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse.
- BCEOM. 1973. *Étude économique des inondations dans le bassin de l'Ill. Préjudices causés par les crues*. Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse.
- BCEOM. 1987. *Évaluation des dommages dus aux inondations de la Bruche et de l'Ill dans l'agglomération strasbourgeoise*. Service de la Navigation de Strasbourg.
- BCEOM. 1990. *Dommages de crues dans le bassin de la Moselle*. Ministère de l'environnement. Service de la navigation de Nancy. Agence de l'eau Rhin-Meuse. DDE de la Moselle, 251 pages.

Bassin Rhône-Méditerranée-Corse

- BCEOM. 1970. *Coût d'une crue sur le bassin de l'Orb*. Service Hydraulique Centralisateur.
- BCEOM. 1970. *Essai d'évaluation des dommages d'inondation par photo-interprétation avec échantillonnage au sol. Application à la vallée de l'Orb*. Agence de Financière de Bassin RMC.
- BCEOM. 1983. *Aménagement de l'Isère. Étude des dommages d'inondation à Grenoble et à Saint-Martin-d'Hères*. DDE de l'Isère.
- BCEOM. 1983. *Essai sur le coût économique des crues du bassin de l'Aude*. DDE et DDAF de l'Aude.
- BCEOM. 1992. *Étude générale d'aménagement hydraulique du Vistre-Rhony. Lutte contre les inondations des hautes terres du Vistre*. DDE du Gard et Syndicat mixte d'étude pour l'aménagement du Vistre Rhôny.
- BCEOM. 1994. *Bassin versant du Coulazou. Évaluation des risques d'inondation. Faisabilité de barrages-écrêteurs de crues*. Conseil Général de l'Hérault.
- BCEOM et BLC. 1997. *Schéma de restauration, d'aménagement, de gestion et d'entretien du bassin de l'Ouvèze*. Syndicat Intercommunal du Bassin de l'Ouvèze (non paginé).
- BEGEAT. 1993. *Protection contre les crues de la Basse Vallée de L'Argens. Étude économique. Analyse Coût-Avantages*. Conseil Général du Var (Direction de l'environnement et de l'équipement rural).
- BLC. 1997. *Étude des impacts économiques de la crue de l'Ouvèze et des rivières du Mont-Ventoux. Schémas de restauration, d'aménagement, de gestion et d'entretien du bassin de l'Ouvèze et des bassins versants de la Grande Levade et de l'Auzon*. DDAF de Vaucluse, SIMV et SIABO (non paginé).
- COMBE P.M. 1997. *De la lutte contre les inondation à la gestion globale de l'inondabilité : les bénéfices économiques*. Étude réalisée par le LATEC (Université de Bourgogne), dans le cadre du volet économique du SDAGE RMC, pour l'Agence de l'eau RMC.
- EURECA. 1994. *Évaluation des préjudices liés aux inondations. Application aux bassins versants de l'Huveaune, du Jarret et des Aygalades. Réflexions pour la mise en place d'une stratégie d'aménagement dans le cadre du Schéma directeur des bassins pluviaux de Marseille*. Ville de Marseille (Service d'assainissement), 24 pages et annexes.
- IPSEAU, Etapes Environnement, NICAYA et BLC. 1997. *Schéma d'aménagement, de gestion et d'entretien des bassins versants de la Grande Levade et de l'Auzon*. Syndicat Intercommunal du Bassin Sud-Ouest du Mont Ventoux (non paginé).
- SOGREAH. 1994. *Aménagement de l'Isère dans la vallée du Grésivaudan. Étude d'impact économique*. Association départementale Isère-Drac-Romanche, 48 pages et annexes.

SIEE et BLC. 1997. *Étude économique des crues de l'Orb de décembre 1995 et de janvier 1996*. Conseil Général de l'Hérault.

Bassin Seine-Normandie

ACL audit. 1995. *Rapport d'étude sur le coût des inondations (1982-1992)*. Agence de l'Eau Seine-Normandie, 31 pages.

BCEOM. 1971. *Dommages causés par la crue de la Seine de mars 1970 en amont de Paris*. Agence Financière de Bassin Seine-Normandie.

BCEOM. 1983. *Cours d'eau du Bassin de Seine Normandie. Coût moyen annuel des dommages dus aux inondations*. Agence Financière de Bassin Seine-Normandie.

BCEOM et SAGERI. 1997. *Étude économique des crues de l'Orne. Rapport final*. Syndicat mixte de lutte contre les inondations dans la vallée de l'Orne et son bassin versant, 42 pages.

BETURE SETAME et HYDRATEC. 1985. *Schéma d'aménagement hydraulique du bassin de la Marne. Protection contre les inondations. Vallées principales, affluents aval, vallées supérieures*. Entente Interdépartementale pour l'Aménagement de la Rivière Marne et de ses Affluents.

BLC et EDATER. 1999. *Approche qualitative des impacts économiques des inondations sur le bassin de la Seine. Étude test sur le département du Val-de-Marne*. Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine (étude en cours).

EDATER. 1998. *Évaluation des populations touchées par une crue de la Marne*. DDE de Seine-Saint-Denis, 32 pages.

HYDRATEC, SIEE et Territoires Conseil. 1998. *Impact des ouvrages existants et futurs de l'IIBRBS sur les dommages liés aux crues en Région Ile-de-France*. Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine, Agence de l'eau Seine-Normandie, DIREN Ile-de-France, Ministère de l'environnement (Direction de l'eau) et Région Ile-de-France (3 rapports consacrés au volet socio-économique de l'étude).

SETAME et Centre départemental d'économie rurale de la Marne. 1983. *Aménagement des eaux de la Marne moyenne. Protection contre les inondations et valorisation du potentiel agricole*. Chambre d'Agriculture de la Marne. Agence Financière de Bassin Seine-Normandie.

SIEE, SOCOTEC Environnement, Flood Hazard Research Centre, LHM et Territoires Conseils. 1994. *Analyse empirique des désordres et dommages résultants des différentes crues de la Seine et de la Marne dans l'agglomération continue d'Ile-de-France*. Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine, Agence de l'eau Seine-Normandie, Ministère de l'environnement et Région Ile-de-France (note de synthèse).

SIEE et Territoires Conseils. 1995. *Évaluation des dommages relatifs aux crues de 1955 et de 1970. Complément d'étude*. Institution interdépartementale des barrages réservoirs du bassin de la Seine.

SOGREAH. 1982. *Aménagement des vallées de l'Aube et de la Seine*. DDE et DDAF de l'Aube.

3. Documents méthodologiques produits dans le cadre des procédures réglementaires de prévention des risques

BAHOKEN F. 1997. Incidence des procédures de prise en compte du risque d'inondation sur les marchés fonciers locaux. Méthodologie appliquée à quatre communes de Seine-et-Marne. Rapport de thèse professionnelle du Mastère d'ingénierie et de gestion de l'environnement (ENSMP, ENPC, ENGREF) pour le Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (DPPR, SDRM), 80 pages et annexes.

CAUDE G. 1986. Vulnérabilité et plans d'exposition aux risques. Article publié dans l'ouvrage « La société vulnérable », Fabiani J.-L. et Theys J. (sous la direction de). Presse de l'École Normale Supérieure, p. 361-371.

- CAUDE G et DEBIZET G. 1986. Eléments d'appréciation économique applicables aux plans d'exposition aux risques liés aux inondations. Rapport CERGRENE, 57 pages.
- CAUDE G et DEBIZET G. 1986. Aspects économiques et sociaux liés aux risques naturels. Rapport du CERGRENE pour le Secrétariat d'État à la prévention aux risques naturels et technologiques majeurs, 57 pages.
- CAUDE G. 1987. Calcul des dommages et de l'endommagement liés à l'analyse de la vulnérabilité aux risques naturels. Ministère délégué chargé de l'environnement (Délégation aux risques majeurs).
- DREIF. 1986. Plan d'exposition aux risques naturels sur les communes d'Ablon-sur-Seine et de Villeneuve-le-Roi. Rapport n° 2 : simulation économique et propositions. Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France, 20 pages et annexes.
- LEDOUX B. 1995. Bilan de la mise en œuvre des méthodologies d'élaboration des études de vulnérabilité dans le cadre des PER entre 1984 et 1994. Ministère de l'environnement (DPR, SDPRM), 160 pages.
- Ministère de l'environnement. 1990. Les études préliminaires à la cartographie réglementaire des risques naturels majeurs. Documentation Française, 143 pages.
- Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement ; Ministère de l'équipement, des transports et du logement. 1997. Guide général des Plans de prévention des risques naturels prévisibles. Documentation Française, 76 pages.
- SAGERI. 1986. Déroulement de l'étude de vulnérabilité applicable dans le cadre des Plans d'Exposition aux Risques. Ministère délégué chargé de l'environnement (Délégation aux risques majeurs), 56 pages.
- SAGERI. 1986. Contribution à l'établissement du plan de vulnérabilité applicable dans le cadre des Plans d'Exposition aux Risques. Ministère délégué chargé de l'environnement (Délégation aux risques majeurs), 63 pages.
- SAGERI. 1988. Évaluation de la vulnérabilité. Ministère chargé de l'environnement (Délégation aux risques majeurs), 38 pages et annexes.

4. Rapports de missions d'enquête

- Mission technique spécialisée, Secrétariat d'État chargé de la prévention des risques technologiques et naturels majeurs. 1989 (mars). *Les enseignements de la catastrophe de Nîmes du 3 octobre 1988* (89 pages).
- Conseil général des ponts et chaussées ; Ministère de l'équipement, du logement et des transports ; Ministère de l'environnement. 1992 (novembre). *Les crues et les inondations du 22 septembre 1992 dans les départements de Vaucluse, de la Drôme et de l'Ardèche* (92 pages et annexes).
- Conseil général des ponts et chaussées, Ministère de l'environnement. 1994 (avril). *Les inondations de la vallée du Rhône à l'aval de Lyon. Première partie : les inondations de la Camargue* (22 pages et annexes).
- Ministère de l'intérieur et de l'aménagement du territoire, Ministère de l'environnement, Ministère de l'équipement, des transports et du tourisme. 1994 (mai). *Mission interministérielle sur les inondations de la vallée du Rhône en aval de Lyon d'octobre 1993 et de janvier 1994 - Rapport de synthèse* (36 pages et annexes).
- Conseil général des ponts et chaussées, Mission d'inspection spécialisée de l'environnement. 1998. *L'analyse des causes et conséquences des événements hydrométéorologiques du 16 au 19 décembre 1997 sur les départements du sud de la France*.

LISTE DES PARTICIPANTS

Claire ARNAL

BRGM - Département Risques Naturels et
Géologiques
BP 167
13276 Marseille cedex

Paul BARON

Ministère de l'aménagement du territoire et
de l'environnement
Mission d'inspection spécialisée
de l'environnement
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Patrick BIDAN

Caisse centrale de réassurance, Service des
catastrophes naturelles
31, rue de Courcelles
75008 Paris

Aurélien BOUET

Ministère de l'aménagement du territoire et de
l'environnement
DPPR – Sous-direction de la prévention et des
risques majeurs
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Isabelle BOURDEAUX

Programme Risques Collectifs et Situations de
Crise (CNRS)
MRASH – UPFM
BP 47 X
38040 Grenoble cedex 09

Madjid BOUZIT

CEMAGREF – Division irrigation
361, rue J.F. Breton
BP 5095
34033 Montpellier cedex 01

Nicolas-Gérard CAMP'HUIS

Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire
Grandeur Nature
S/c Agence de l'eau Loire-Bretagne
Avenue de Buffon
BP 6339
45063 Orléans cedex 02

Lionel CHEVALIER

DIREN de Basse-Normandie – SEMA
CITIS - Le Pentacle
14209 Hérouville cedex

Gilles CHEVASSON

DDE du Calvados - SMAHE-BEGCH
10, boulevard du Général Vanier
14035 Caen cedex

Fabienne COETLEVEN

Agence de l'eau Seine-Normandie - Délégation
de la Vallée de l'Oise
2, rue du Docteur Guérin
60200 Compiègne

Bernard DARTAU

Conseil général de l'Hérault
Hôtel du département
1000, rue d'Alco
34087 Montpellier cedex 04

Pierre DESGRANGES

Territoire Conseils Associés
84, rue de la Jarry
94300 Vincennes

Claire DEVAUS-ROS

Équipe pluridisciplinaire du Plan Loire
Grandeur Nature
S/c Agence de l'eau Loire Bretagne
Avenue de Buffon
BP 6339
45063 Orléans cedex 02

François DOLS

DIREN Rhône-Alpes - Délégation de Valence
BP 2102
26021 Valence cedex

Pascal DOUARD

Ministère de l'aménagement du territoire et de
l'environnement
DPPR – Sous-direction de la prévention et des
risques majeurs
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Henry DUMAY
BCEOM
78, allée John Napier
34965 Montpellier cedex 02

Jacques DUMEZ
DIREN Rhône-Alpes - Délégation de bassin
RMC
19, rue de la Villette
69425 Lyon cedex 03

Rémy FILALI
Entente interdépartementale Oise-Aisne
S/c Agence de l'eau Seine-Normandie
Délégation de la Vallée de l'Oise
2, rue du Docteur Guérin
60200 Compiègne

Claire FLEURY
STRATEGIS
912, rue de la Croix Verte
Miniparc
34090 Montpellier

Gérald GARRY
Ministère de l'équipement, du logement et des transports
Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction – Risques Majeurs
Arche de la Défense
92055 Paris La Défense cedex 04

Éric GAUME
École Nationale des Ponts et Chaussées
Centre d'enseignement et de recherche sur l'eau, la ville et l'environnement
6 et 8, avenue Blaise Pascal – Champs sur Marne
77455 Marne la Vallée cedex 02

Laurent GAZULL
STRATEGIS
912, rue de la Croix Verte
Miniparc
34090 Montpellier

Nicolas GENDREAUX
CEMAGREF – Division hydrologie-hydraulique
3 bis, quai Chauveau
CP 220
69336 Lyon cedex 09

Claude GILBERT
Programme Risques Collectifs et Situations de Crise (CNRS)
MRASH – UPFM
BP 47 X
38040 Grenoble cedex 09

Jérôme GOZE
DDE de l'Eure – Service aménagement du territoire et environnement
1, avenue Foch
27022 Évreux cedex

Bernard GUIBERT
Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement
Direction générale de l'administration et du développement – SRAE
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Éric GUILLAUMIN
Institution interdépartementale des bassins Rhône-Saône
1, rue Madier de Monjau
26000 Valence

Gilles HUBERT
École Nationale des Ponts et Chaussées
Centre d'enseignement et de recherche sur l'eau, la ville et l'environnement
6 et 8, avenue Blaise Pascal – Champs sur Marne
77455 Marne la Vallée cedex 02

Thierry HUBERT
Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement
DPPR – Sous-direction de la prévention et des risques majeurs
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Philippe HUET
Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement
Mission d'inspection spécialisée de l'environnement
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Brigitte LANCELOT
Agence de l'eau Seine-Normandie - Délégation de Sens
2 bis, rue de l'Écrivain
89100 Sens

Claire LAVERGNAS

Caisse centrale de réassurance - Département
des Catastrophes Naturelles
31, rue de Courcelles
75008 Paris

Yann LAURANS

AsCA
8, rue Legouvé
75010 Paris

Dominique LAVAUX

Ministère de l'aménagement du territoire et de
l'environnement
Direction de l'eau
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Bruno LEDOUX

BLC
4, rue Moquin Tandon
34090 Montpellier

Jacques LEFEVRE

Agence de l'eau Loire-Bretagne - Direction
prospectives et projets
Avenue Buffon
BP 6339
45063 Orléans cedex 02

Bernard LEFORT

Conseil régional de Champagne-Ardenne
Direction de l'aménagement du territoire
5, rue Jéricho
51037 Chalons-en-Champagne cedex

Pascal MARTIN-GOUSSET

DDE du Loiret - Service SAURA
131, rue du Faubourg
45042 Orléans cedex 01

Yves MERILLON

Agence de l'eau Loire-Bretagne - Direction
prospectives et projets
Avenue Buffon
BP 6339
45063 Orléans cedex 02

Laurent MICHELS

DIREN Lorraine - Service hydrologie et
annonce de crue
19, avenue Foch
BP 60223
57005 Metz cedex

Rémy OUDIN

DIREN Centre - Délégation de bassin Loire-
Bretagne
5, avenue Buffon
BP 6407
45064 Orléans cedex 02

Thérèse PERRIN

CEMAGREF - Service DTM
2, rue de la Papeterie
BP 76
38402 Saint-Martin-d'Hères cedex

Patrick PERROY

DDE du Loiret - Service SAURA
131, rue du Faubourg
45042 Orléans cedex 01

Claire RELIANT

École Nationale des Ponts et Chaussées
Centre d'enseignement et de recherche sur
l'eau, la ville et l'environnement
6 et 8, avenue Blaise Pascal - Champs sur
Marne
77455 Marne la Vallée cedex 02

Jean-Louis RIZZOLI

Grands Lacs de Seine - IIBRBS
8, rue Villiot
75012 Paris

Bruno ROUDIER

EDATER
3, avenue de Castelnaud
Jardin des Rosiers
34090 Montpellier

Jean-Luc ROY

Ministère de l'aménagement du territoire et de
l'environnement
Direction de l'eau
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Philippe TEMPLE

Ministère de l'aménagement du territoire et de
l'environnement
Direction générale de l'administration et du
développement - SRAE
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP

Régis THEPOT

Établissement Public d'Aménagement de la
Loire et de ses Affluents
3, avenue Claude Guillemin
BP 6125
45061 Orléans cedex 02

Myriam TOUATY

Planistat Europe
80, rue du Faubourg Saint-Denis
75010 Paris

Pascal VILLENAVE

DDE de l'Eure – Service aménagement du
territoire et environnement
1, avenue Foch
27022 Évreux cedex

Gérard VILLION

Grands Lacs de Seine – IIBRBS
8, rue Villiot
75012 Paris

Impressions Dumas
42100 Saint-Étienne
Dépôt légal : novembre 1999
Imprimeur n° 35479
Imprimé en France

