



**HAL**  
open science

## La mise en carte des risques naturels

Frédéric Leone, Freddy Vinet

► **To cite this version:**

Frédéric Leone, Freddy Vinet (Dir.). La mise en carte des risques naturels. Presses universitaires de la Méditerranée, 96 p., 2008, Géorisques, 978-2-84269-846-1. hal-03050910

**HAL Id: hal-03050910**

**<https://hal.science/hal-03050910v1>**

Submitted on 21 Jul 2021

**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.





# La mise en carte des risques naturels

*Diversité des approches*

Sous la direction de  
Frédéric Leone et Freddy Vinet

Illustration de couverture : photomontage réalisé par les PULM à partir de cartes issues du SIG RINAMED/GESTER, avec leur aimable autorisation

# Sommaire

1	<i>Introduction : La mise en carte des risques naturels : diversité des approches</i> Frédéric LEONE et Freddy VINET .....	7
<b>Partie 1 La carte, support de connaissance .....</b>		<b>11</b>
2	<i>La cartographie historique des phénomènes vecteurs de risques naturels</i> Jean-Marc ANTOINE, Bertrand DESAILLY et Philippe VALETTE .....	13
3	<i>Le SIG narratif, outil de territorialisation du risque : mise en perspective géohistorique du risque fluvial en milieu urbain et périurbain</i> Claire COMBE .....	23
<b>Partie 2 La carte, produit du modèle .....</b>		<b>31</b>
4	<i>Cartographie de l'aléa inondation à Sommières (Gard, France)</i> Annick TEKATLIAN et Bruno LEDOUX .....	33
5	<i>Modèles hydrologiques et décisions politiques</i> Bertrand LEMARTINEL .....	39
6	<i>La vulnérabilité des réseaux routiers urbains face aux risques d'altération</i> Manuel APPERT et Laurent CHAPELON .....	47
<b>Partie 3 La carte, outil de régulation .....</b>		<b>59</b>
7	<i>La cartographie réglementaire des risques naturels en Suisse, en Italie et en France</i> Anne PELTIER .....	61
8	<i>Les plans de prévention des risques : le point après 10 ans</i> Liliane BESSON .....	69
<b>Partie 4 La carte, instrument de communication .....</b>		<b>73</b>
9	<i>Visualisation 3D de feux de forêts sur des modèles numériques de terrains de l'IGN</i> Sébastien THON, Gilles GESQUIÈRE et Romain RAFFIN .....	75

- 10 *Architecture d'un portail Spatial OLAP pour l'analyse des données sur les aléas naturels*  
Julien IRIS, Aldo NAPOLI et Franck GUARNIERI ..... 81
- 11 *Le citoyen a droit à l'information sur les risques qu'il encourt en certains points du territoire et sur les mesures de sauvegarde pour s'en protéger*  
Martine TABEAUD et Xavier BROWAEYS ..... 87

# 1 Introduction : La mise en carte des risques naturels : diversité des approches

Frédéric LEONE et Freddy VINET

*Équipe d'accueil GESTER (Gestion des sociétés, des territoires et des risques), université Paul-Valéry, Montpellier III*

**Frederic.Leone@univ-montp3.fr**

**Freddy.Vinet@univ-montp3.fr**

Le besoin de cartes n'est plus à démontrer. La généralisation des outils informatiques et la demande toujours plus grande d'information des populations exposées aux risques ont décuplé la demande d'information cartographiée. Les nouvelles procédures mises en place en France liées à la loi « risques » du 30 juillet 2003 et au décret du 15 février 2005 sur l'information des populations des zones à risques devaient renforcer cette tendance. Cependant, ce phénomène n'est pas propre à notre pays ; il tend à devenir universel. Dans des sociétés judiciarisées, attachées à la propriété individuelle du bien, la limite cartographique et la qualification de l'espace ont pris une importance fondamentale. Après le tsunami qui dévasta l'Asie du sud est le 26 décembre 2004, Les communautés villageoises entreprirent avec l'aide des ONG et des autorités locales un travail de cartographie participative. Il s'agissait de se réapproprier l'espace et de sceller les contours des parcelles afin de reconstruire sur un espace entièrement dévasté où routes, chemins, haies, arbres avaient été emportés et où les cadastres avaient disparu ou n'existaient pas. La catastrophe, expression tangible du risque a obligé à une remise à plat de l'espace et une (re)mise en carte des espaces dévastés, mise en carte qui a constitué un préalable indispensable au processus de reconstruction.

En France, la cartographie des risques à l'échelle locale a pris son essor au début des années 70 suite aux événements du Roc des Fiz (coulée de débris, 72 morts) et de Val d'Isère (avalanche, 39 morts). Ces deux catastrophes ont initié les premières démarches standardisées ZERMOS (zones exposées aux risques de mouvements du sol et du sous-sol) et CLPA (carte de localisation probable des avalanches), relayées sur un plan réglementaire par les premiers PER (Plans d'Exposition aux Risques) et zonages R111-3, en particulier dans les départements alpins. La généralisation des PPR depuis 1995 (Plans de Prévention des Risques) a définitivement placé la carte au cœur du dispositif français de prévention territoriale et d'appropriation des risques naturels, dans sa version informative (localisation des aléas) et

réglementaire (contraintes d'occupation du sol). La carte est ainsi devenue un espace de connaissance, un support de concertation, parfois de conflit, autour de limites physiques à appliquer à un risque par définition virtuel, et donc pas toujours accepté. Cette démarche de prévention doit pourtant être pérennisée. On doit favoriser progressivement l'appropriation et le respect local de procédures imposées assez brutalement par l'Etat central. Il convient pour cela de porter l'explication sur les raisons du choix des limites géographiques retenues. Beaucoup de conflits pourraient être atténués si les experts impliqués dans ce zonage du risque prenaient le temps d'expliquer les incertitudes cumulées de leur démarche et de convaincre les décideurs locaux du principe de précaution qui s'impose en de telles circonstances, pour des phénomènes aux limites bien floues, mais aux implications foncières et économiques très claires.

Mais la cartographie des risques ne se borne pas à ces considérations sécuritaires et juridiques d'actualité. Dans le monde des géographes, les productions cartographiques traitant des risques d'origine naturelle sont riches et variées en échelles, en contenus et en objectifs. Elles relèvent souvent d'approches exploratoires, rarement uniformisées, explicatives ou prédictives de processus souvent complexes dont on cherche à poser les limites. Des premiers indices de l'aléa à la modélisation spatiale des pertes, ces productions proposent un vaste panel d'approches, manuelles ou assistée par l'informatique, visant toutes à synthétiser de l'information géographique utile à la prévention et à une connaissance durable de nos territoires.

Ce volume exploite la plupart des communications issues des deuxièmes rencontres Géorisques qui se sont tenues à Montpellier le mardi 7 février 2006 sur la cartographie des risques naturels (co-organisation Master 2 pro. en Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels et équipe GESTER de l'Université Montpellier 3). Il se propose de décliner en quatre points et sans prétendre à l'exhaustivité, différentes utilisations de la carte en géographie des risques naturels et les problèmes afférents.

La carte est un outil de visualisation de l'information brute. Avant d'énoncer l'aléa, il s'agit de recueillir les informations nécessaires à son élaboration. **J. M. Antoine, B. Desailly et Ph. Valette** ont participé au recueil et à la cartographie des



phénomènes naturels vecteurs de risque dans les Pyrénées Centrales. Ils soulignent que cette pratique est maintenant quasi systématique dans les services de l'Etat chargés de la prévention des risques naturels. Ils soulignent le caractère délicat du passage de l'information historique à la cartographie historique pour des phénomènes dont les contours ne sont pas très bien connus. Cette responsabilité est d'autant plus forte que ce type de carte sert désormais d'outil de sensibilisation du public à la réalité du risque. Dans les travaux de **C. Combe**, la mise en perspective historique du risque est facilitée par la constitution de « SIG narratif » exposés pour une portion de la vallée du Rhône dans ce volume. La reconstitution cartographique des interactions fleuves/société dans la région lyonnaise sur 150 ans éclaire le travail de l'ingénieur hydraulicien en mettant en évidence les rythmes d'évolution du fleuve et les impacts de la gestion du bassin versant sur la dynamique du corridor fluvial.

L'étape suivante est logiquement la modélisation qui satisfait un besoin de généralisation et de comparaison des informations recueillies. La production de cartes par des modèles hydrauliques (**A. Tekatlian & B. Ledoux**) ou sismologiques transforme l'information factuelle en carte théorique d'aléa. Cette étape, coûteuse, est indispensable dans les zones à fort enjeu même si elle connaît des limites comme le souligne **B. Lemartinel** qui s'interroge par ailleurs sur la pertinence du choix de la crue historique connue la plus forte comme aléa de référence dans la gestion du risque inondation. En effet, doit-on fonder la carte sur l'événement maximal connu alors que cet événement est original et unique de par son scénario et qu'il a peu de chance de se reproduire à l'identique ? Le choix de l'aléa de référence et sa justification scientifique et politique sont au cœur de la problématique de la cartographie des risques.

Car, ce n'est pas seulement l'aléa en tant que tel qui détermine le risque. Ce dernier peut être exacerbé par la nature intrinsèque d'un système vulnérable particulier. Ainsi **M. Apert** et **L. Chapelon** montrent par le biais de la modélisation graphique que la structuration hiérarchique des réseaux est un critère de vulnérabilité (perte d'accessibilité) amplifié par la qualité des infrastructures et le fonctionnement différencié des voies. Une action anticipatrice de mise en sécurité des tronçons les plus stratégiques peut alors être envisagée pour atténuer les conséquences d'un aléa naturel sur le fonctionnement du réseau routier urbain de Montpellier.

Les aléas naturels exercent certes une contrainte sur les sociétés mais c'est aussi le cas des mesures de prévention et de protection qui leur sont associées dans une démarche P.P.R. par exemple. De la sorte, la carte devient un support de régulation de l'utilisation des territoires à risque. La procédure d'élaboration des Plans de Prévention des Risques en France et leurs équivalents à l'étranger achoppe in fine sur la transformation d'un aléa naturel par définition hypothétique et immatériel en une contrainte réglementaire

bien réelle. **Anne Peltier** expose en détail tous les enjeux liés à la cartographie réglementaire des risques naturels en Italie, en France et en Suisse. Les questions portent sur le choix de l'aléa de référence, c'est-à-dire l'intensité d'aléa qui délimitera l'espace soumis à des contraintes ou prescriptions préventives, mais aussi sur les imprécisions liées au changement d'échelle. La carte peut être aussi modifiée et instrumentalisée pour servir des intérêts politiques et économiques locaux. Elle reflète finalement la relation des sociétés avec le risque naturel. A. Peltier montre par exemple que le choix du nombre de zones et leurs dénominations dans les documents réglementaires n'est pas anodin. Le canton du Valais introduit des « zones de danger résiduel » soulignant par là que des espaces sont soumis à une part de risque incompressible, irréductible avec laquelle il faut composer. L'acceptation de l'illusion du risque zéro a permis de déboucher sur la cartographie des zones à risque déterminée en fonction d'objectifs de protection à atteindre et non pas comme une interdiction pure et simple de toute occupation du sol. En France, dix ans après la mise en œuvre des PPR, **L. Besson** souligne des difficultés d'application qui résultent d'un problème de fond toujours d'actualité : celui de la définition de la responsabilité et du domaine de compétence de chacun des partenaires (État, collectivités territoriales, particuliers) vis-à-vis de ces questions. En effet, tant que ces domaines ainsi que leurs limites ne seront pas nettement établis, il ne pourra pas y avoir de doctrine claire selon L. Besson. On peut d'ailleurs se demander si ce flou artistique n'est pas savamment entretenu. En effet, il permet aux services instructeurs des P.P.R. de transcrire avec une grande souplesse les instructions nationales, ce qui explique la grande diversité de la cartographie dans les PPR (couleurs employées, nombre de zones...)

La carte est par nature un support de communication. Fruit du modèle et couplée à des scénarios spatialisés, elle permet de synthétiser graphiquement des processus parfois complexes dans un objectif d'aide à la décision ou de sensibilisation du grand public. **S. Thon**, **G. Gesquière** et **R. Raffin** nous proposent ainsi un logiciel d'aide à la sensibilisation et à la décision pour démontrer les effets de la pratique du débroussaillage. Cette application permet de simuler et de visualiser la propagation du feu sur des terrains réels selon différents scénarios de débroussaillage définis graphiquement par l'utilisateur. Le cœur de l'application consiste en une représentation en trois dimensions d'une simulation de propagation de feu combinée avec un Système d'Information Géographique. Dans le même esprit, **J. Iris**, **A. Napoli** et **F. Guarnieri** montrent comment la modélisation multidimensionnelle peut être un support pour l'aide à la décision sur les risques naturels. La démonstration s'appuie sur une technologie d'analyse spatiale (OLAP) qui offre la possibilité aux utilisateurs d'explorer avec plus de flexibilité des indicateurs de risque précalculés à différentes échelles de décision. **M. Tabeaud** et **X. Broweays** posent la question de l'efficacité et de la dimension interactive souvent limitée

des supports cartographiques traditionnels (DCS, DDRM) d'information sur les risques. Ils proposent le développement de supports vidéo pour favoriser la connaissance et l'appropriation des risques par les populations concernées.

À l'issue de ces lectures, la cartographie des risques ou de certaines de ses composantes montre une grande diversité d'approches, de visages et de productions. Elle apparaît ici comme l'expression synthétique d'une très

grande créativité scientifique et un outil commun à de nombreuses disciplines. Elle représente un support fondamental de connaissance mais aussi un espace de concertation et de prise de décision efficace pour la prévention et la gestion des risques. On ne peut qu'encourager cette forme de représentation des risques, qui les rend un peu plus tangibles et qui favorise in fine leur intégration dans les documents de planification territoriale.



## Partie 1

# La carte, support de connaissance



## 2 La cartographie historique des phénomènes vecteurs de risques naturels

Jean-Marc ANTOINE, Bertrand DESAILLY et  
Philippe VALETTE

GEODE U.M.R. 5602 C.N.R.S. Maison de la Recherche, Université de Toulouse-le-Mirail, 5 allées Antonio Machado, F-31058 Toulouse Cedex 9

antoine@univ-tlse2.fr

desailly@univ-tlse2.fr

valette@univ-tlse2.fr

**Résumé.** — Le recours à l'information historique est aujourd'hui devenu une pratique courante chez les services gestionnaires des risques naturels en France. De nombreux documents, à usage interne des administrations ou bien à caractère réglementaire, intègrent explicitement cette information, très souvent traduite sous forme cartographique. Des équipes de recherche universitaires travaillent parallèlement sur ce thème, comme le laboratoire GEODE de l'Université de Toulouse — Le Mirail. Cet article se propose d'illustrer, à partir de quelques exemples, la diversité de la cartographie historique des phénomènes naturels vecteurs de risques, ses intérêts et ses limites, ainsi que les problèmes de réalisation qu'elle suscite.

**Mots-clés.** — Risques naturels, Carte, Cartographie, Histoire, Archives.

**Title.** — *The historical cartography of natural hazards*

**Abstract.** — Nowadays, resorting to historical information has become a widespread practice among the departments in charge of natural hazards in France. Several documents for internal use by the public services or statutory, integrate this historical data explicitly which is often rendered through maps. Some university research group work at the same time on this topic — the GEODE laboratory of the University of Toulouse — Le Mirail, for instance. We intend here to illustrate from a few examples the diversity of the historical cartography of natural hazards, its interests, its limits and the problems of achievement entailed.

**Key-words.** — Natural hazards, Map, Cartography, History, Archives

### 2.1 Introduction

Si l'on excepte les pratiques vernaculaires d'occupation du sol ou de conception de l'habitat (Barrué-Pastor, Barrué,

1998; Antoine, Desailly, 2001), ou encore le traitement de longues séries hydrométriques pour l'analyse statistique des crues, l'utilisation de l'information historique dans les politiques de gestion du risque est d'un usage récent, en particulier sous sa forme cartographique. Ce dernier type de document présente pourtant d'incontestables atouts, mais aussi des limites, tant dans son interprétation que dans sa réalisation.

### 2.2 Intérêts et limites d'une cartographie historique des phénomènes vecteurs de risques naturels

#### 2.2.1 De l'information historique à la cartographie historique

Le premier document officiel à tenir compte de l'information historique est le Plan de Surface Submersible (PSS), institué en 1935, et qui délimite l'emprise des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) (Garry, 1994). Les Cartes de Localisation Probable des Avalanches (CLPA), initiées en 1970 par le CEMAGREF, ont été en partie réalisées sur la base des événements maximaux observés. Il faut cependant attendre les Plans d'Exposition aux Risques Naturels Prévisibles (PER) en 1984, pour que l'information historique soit plus systématiquement utilisée dans les méthodes permettant de recenser et de quantifier les risques sur un territoire. Le PER comprenait notamment une Carte Informatrice des Crues Historiques (CICH) qui montrait l'extension et les conséquences dommageables des plus grandes crues connues. La transformation du PER en Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles (PPR) par la loi Barnier en 1995 a confirmé cette approche. De la même manière, c'est dès les années 1980 que les documents internes<sup>1</sup> des ministères et des services gestionnaires (DDE, DDAF, RTM/ONF, DIREN...) intègrent l'information historique dans l'évaluation fréquentielle et spatiale des aléas. Ce recours à l'information historique sur les risques naturels s'est logiquement traduit ensuite dans

<sup>1</sup> Par exemple, les *Études sur les crues fluvio-torrentielles et le ruissellement urbain* lancées en 1993 par la Délégation aux Risques Majeurs du Ministère de l'Environnement sur 24 départements du sud de la France, les *Enquêtes de programmation des actions RTM* (Services de Restauration des Terrains en Montagne, ONF/DDAF), ou encore l'*Étude hydrologique sur les crues du Tarn* (DIREN Midi-Pyrénées).

les diverses formes de cartographie informative à propos du zonage de l'aléa<sup>1</sup>.

Du point de vue scientifique, l'approche historique des risques naturels et des catastrophes est une démarche déjà ancienne, notamment comme un des volets permettant d'aborder plus largement l'histoire de l'environnement. Ainsi le montrent les travaux pionniers du laboratoire GEODE : représentations graphiques de l'information historique (Desailly, 1990), puis représentations cartographiques des phénomènes et des chronologies historiques (Antoine, 1989 et 1992 ; Antoine, Desailly, Métaillé, 1994 et 1995). Au-delà, la production de ce type sans doute la plus connue est la Carte de sismicité historique de la France établie par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières<sup>2</sup>.

Le transfert des résultats de la recherche vers la gestion des risques s'est formalisé par l'établissement de chronologies détaillées (Antoine, 1992), la conception de bases de données informatisées (Antoine, Desailly, 1996 et 2000), mais aussi par une représentation cartographique de ces séries événementielles (Barrué-Pastor, Métaillé, dir., 1993 ; Antoine, Desailly, 2001 et 2003 ; Antoine, Desailly, Valette, 2005). Qu'apporte finalement une cartographie de ce type et quelles en sont les limites ? Il ne peut y avoir de réponse tranchée à ces questions, tout dépendant finalement de l'échelle spatiale retenue et de l'aléa considéré.

### 2.2.2 Le recensement des sites à risques à moyenne et petite échelle

L'intérêt d'une cartographie historique réside d'abord dans le recensement des sites à risque, les mêmes événements se reproduisant souvent aux mêmes endroits. Certains phénomènes tels l'inondation peuvent se passer de la caution historique. Mais il en est d'autres pour lesquels cette caution est primordiale, comme par exemple les crues torrentielles sur les cônes de déjection. Si certains cônes ont une activité torrentielle notoire et inscrite dans la mémoire collective, d'autres au contraire n'ont connu qu'un seul événement aujourd'hui oublié.

*A contrario*, l'information et la cartographie historiques sont bien moins utiles pour certains phénomènes, chutes de blocs ou effondrements karstiques par exemple, pour lesquels on pourrait dire trivialement qu'une fois qu'ils sont survenus sur un site donné, il y a peu ou pas de chance qu'ils s'y reproduisent. La cartographie historique permet tout au plus d'attirer l'attention à l'échelle d'une vallée sur certaines corniches fragiles ou versants instables. Ce que, par ailleurs, un simple examen géologique ou géomorphologique aurait permis de faire. On doit en outre relativiser l'intérêt d'une

cartographie historique face à des phénomènes inégalement répertoriés dans les archives : rares sont ainsi les relations de glissements de terrain et de chutes de blocs, alors que celles d'inondations et de crues torrentielles sont bien plus nombreuses.

### 2.2.3 Une approche de l'intensité et de la fréquence de l'aléa à grande échelle

À l'échelle cadastrale (1/5 000<sup>e</sup>, 1/10 000<sup>e</sup>), la cartographie historique est un moyen simple de visualiser rapidement l'intensité des aléas. Mais cet intérêt reste variable ici aussi selon les phénomènes considérés.

Ainsi peut-on tracer précisément à ces échelles les enveloppes de champs d'inondation, de champs d'épandage des laves torrentielles, ou encore les distances maximales parcourues par la neige ou les blocs (Antoine, Desailly, Métaillé, 1994). Ces limites d'emprises spatiales maximales connues sont capitales dès lors qu'il s'agit d'établir des documents de zonage, qu'il s'agisse d'occupation des sols (PLU, SCOT...) ou de cartographie réglementaire (PPR). Mais encore une fois, que valent ces indications pour certains phénomènes, incendies de végétation par exemple ? L'enveloppe territoriale affectée par un incendie dépend en effet d'un grand nombre de variables aléatoires. Par ailleurs, même pour des phénomènes récurrents, la connaissance des emprises maximales ne saurait constituer une indication susceptible à elle seule de prévoir l'extension actuelle des phénomènes, l'information historique n'étant pas toujours aujourd'hui significative et pertinente (cf. plus loin).

De la même manière, la cartographie historique permet de donner une première estimation de la fréquence des phénomènes sur les sites, dans la mesure bien sûr où tous les événements connus y sont répertoriés. Mais ici aussi, cette indication ne vaut que pour des phénomènes répétitifs, alors que certains sites n'ont connu qu'un seul événement au cours de l'histoire. D'ailleurs, que ce soit en matière d'intensité ou de fréquence, les indications historiques ne permettent pas de faire l'économie d'expertises géotechniques et du test de modèles mathématiques, que l'information historique permet d'ailleurs parfois de valider (modèles hydrauliques, de trajectographie des blocs ou des coulées de neige, analyse statistique des crues...)

Enfin, la connaissance de l'intensité et de la fréquence historiques des phénomènes présentent un intérêt scientifique pour l'histoire de l'environnement, la dynamique historique des phénomènes pouvant être corrélée à d'autres dynamiques environnementales telles que l'occupation du sol ou les évolutions climatiques (Antoine, à paraître).

### 2.2.4 La sensibilisation des acteurs

Le dernier intérêt de la cartographie historique, et non des moindres, réside dans son statut de média. Mais dans ce contexte également, la remémoration des événements passés par du texte, de l'image ou de la cartographie, a des effets contrastés. Elle peut, dans le cas d'événements trop

<sup>1</sup> En particulier lors de la confection des *Atlas des zones inondables*, initiés sur la Loire par le Ministère de l'Environnement en 1990, et conduits ensuite par les DIREN sur les autres grands fleuves français, ou encore de la *Cartographie informative des phénomènes naturels à risques sur la chaîne des Pyrénées*, actuellement conduite par la DIREN Midi-Pyrénées et dont il est question plus loin.

<sup>2</sup> Elle peut être consultée de même que la base de données qui lui est attachée sur le site internet suivant : [www.sisfrance.net](http://www.sisfrance.net)

lointains dans l'Histoire, les faire passer pour révolus et ainsi impulser un faux sentiment de sécurité.

Mais le recours à l'histoire est aussi un formidable outil de communication et de sensibilisation pour les services de l'État gestionnaires du risque. La force de persuasion d'une cartographie présentant un espace familier concrètement touché par un phénomène passé dépasse de loin tous les discours d'experts, aussi argumentés soient-ils, sur le risque actuel et ses incertitudes. En tout cas, cette cartographie permet toujours de les rendre plus crédibles aux yeux des acteurs concernés. Cette « authentification » par l'Histoire est souvent décisive dans la prise de conscience de la population ou des acteurs économiques, mais aussi des élus, aujourd'hui acteurs centraux de la gestion des risques et des catastrophes et interlocuteurs principaux de l'État dans la mise en place des PPR.

Pour autant, cette sensibilisation par le biais de l'histoire doit éviter de verser dans l'actualisme, en transposant directement au présent des événements et des contextes passés. Les mêmes causes ne produisent pas toujours les mêmes effets. Si on reprend l'exemple des crues torrentielles sur les cônes de déjection, la distribution des épandages sur le cône reste aléatoire, ceux-ci dépendant du point de débordement sur le cône, et ayant tendance d'ailleurs à se décaler sur l'une ou l'autre marge par rapport aux précédents. Que vaut également la connaissance des PHEC si on ne tient pas compte de l'incision du chenal fluvial ou de l'occupation récente des lits majeurs par des bâtiments et infrastructures diverses ?

D'un autre côté, il y a un danger à faire passer pour sûrs des sites ne présentant aucune manifestation historique de phénomène. Qu'il s'agisse d'une réalité, ou que cette manifestation n'ait pas été répertoriée par les archives, rien n'exclut une activité future.

L'information et la cartographie historiques ne peuvent donc passer pour des outils d'aide à la décision en soi, mais elles peuvent alerter, affiner ou même confirmer les expertises, ce qui est déjà d'une incontestable utilité.

### 2.3 Des représentations cartographiques variées

L'information historique relative aux risques naturels peut donner lieu à de nombreux types de représentations cartographiques. On se limitera ici à quelques exemples tirés de travaux réalisés au cours des quinze dernières années par des chercheurs du laboratoire GEODE.

#### 2.3.1 Quelques exemples dans le sud de la France

Le département du Gard a connu au cours de l'histoire un certain nombre de crues meurtrières. La localisation et le nombre des victimes ont pu être précisés grâce à l'exploitation de trois types de sources : documents d'archives, presse locale et régionale, ouvrages et articles anciens. La carte permet de visualiser les secteurs les plus éprouvés par les

crues depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle : on y retrouve sans surprise les vallées cévenoles et les environs immédiats de Nîmes (figure 2.1 p. 15). Elle permet aussi d'avoir une idée de la hiérarchie des catastrophes, avec au sommet un événement atypique : l'envahissement par les eaux de la Cèze et de deux de ses affluents des galeries de la mine de charbon de Bordezac, près de Bessèges, en 1861 (Antoine, Desailly, Gazelle, 2001).

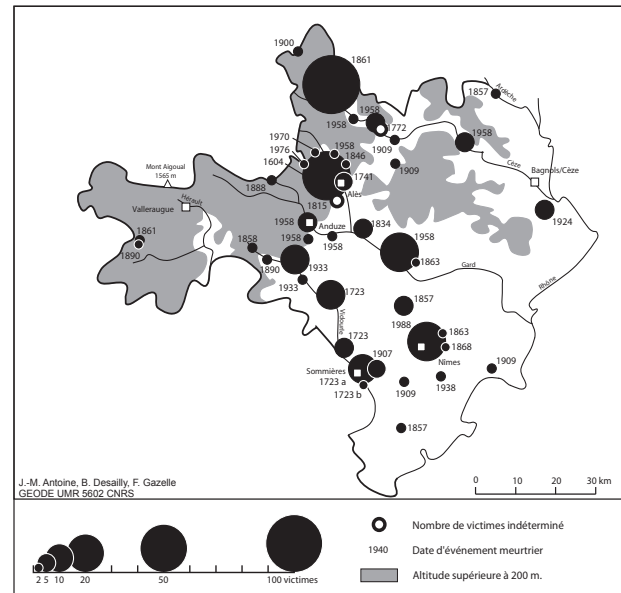


Fig. 2.1 Les crues meurtrières dans le département du Gard (XVII<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles) (Antoine, Desailly, Gazelle, 2001)

L'approche cartographique permet aussi d'illustrer la chronique d'une « année terrible », par exemple 1765, année marquée dans le Sud Ouest de la France par une répétition tout à fait remarquable d'inondations figure 2.2 p. 16). De mai à décembre, cinq événements de ce type sont signalés dans les Pyrénées, dont trois à l'origine de dégâts importants. Certains d'entre eux n'ont concerné que quelques vallées de la partie centrale de la chaîne. L'inondation du 20 au 22 juin en revanche est tout à fait inhabituelle par son extension spatiale, de la haute vallée du Gave de Pau aux bassins versants méditerranéens de l'Aude et de la Têt (Antoine, Desailly, Métaillé, 1996).

La haute vallée du Gave de Pau, dans les Hautes-Pyrénées, apparaît à bien des égards comme « la vallée aux catastrophes » au sein de la chaîne, ce qui ne l'a pas empêché de connaître une ancienne et importante fréquentation touristique. Comme nombre de vallées voisines, elle a connu dans les dernières décennies du XIX<sup>e</sup> siècle une série d'événements catastrophiques de diverses natures : crues torrentielles, mouvements de terrain et avalanches. S'agissant de traduire cartographiquement cette crise, la difficulté était de représenter à la fois la fréquence et l'intensité de chaque phénomène. Le choix a donc été d'attribuer une double signification à chaque figuré (figure 2.3 p. 17). Cette carte trouve son principal intérêt replacée dans une série de cartes simi-



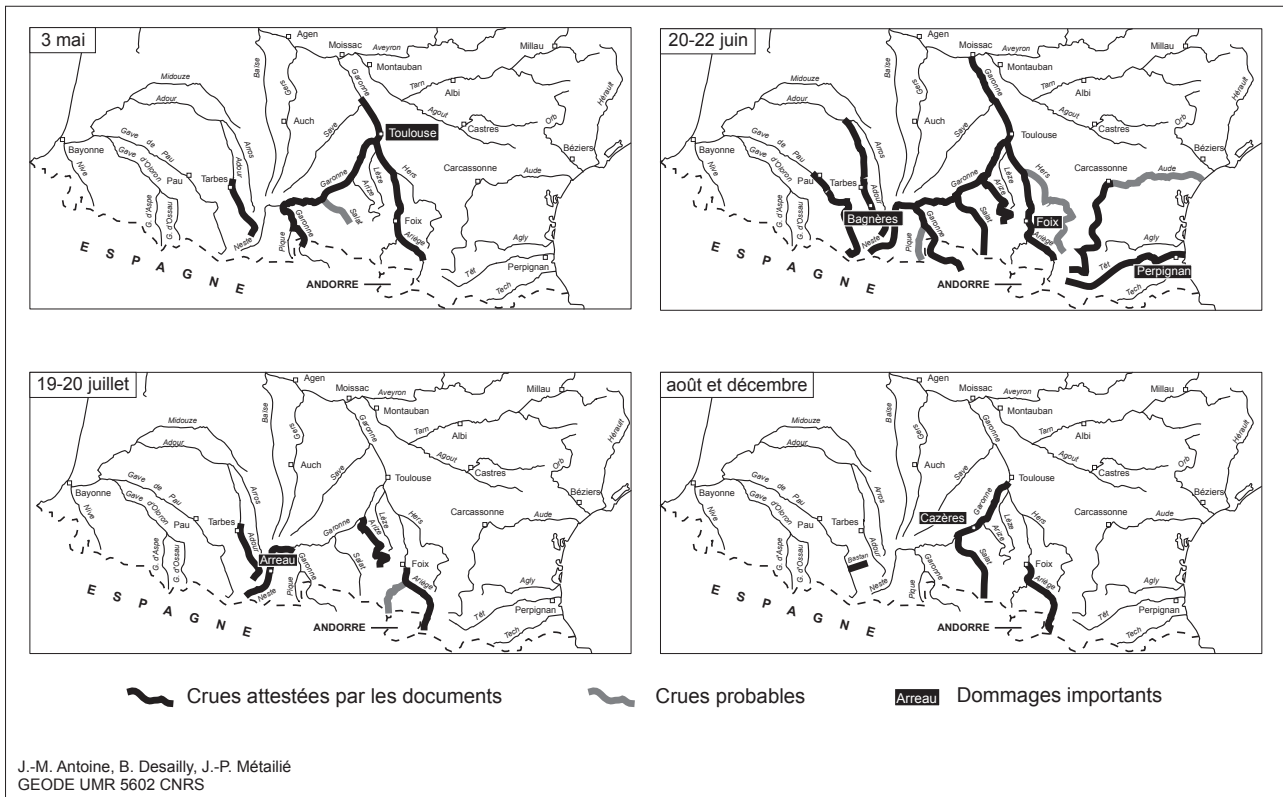


Fig. 2.2 Les crues de l'année 1765 dans le Sud-Ouest de la France (Antoine, Desailly, Métaillié, 1996)

lares, couvrant les trois derniers siècles par pas de 25 ans. L'objectif était de visualiser les « rythmes catastrophiques » dans cette partie des Pyrénées (Antoine, Desailly, Métaillié, 1994).

Certaines sources, notamment des rapports d'ingénieurs des Ponts-et-Chaussées ou des Eaux-et-Forêts, peuvent donner lieu à la réalisation de cartes à une échelle quasiment cadastrale. L'inondation du 23 juin 1875 constitue la catastrophe de référence dans les Pyrénées centrales et sur leur piémont, avec un demi millier de victimes au total. Le Val d'Ariège fut sévèrement touché, le village de Verdun, bâti sur un cône de déjection torrentiel, enregistrant à lui seul 81 morts. Quelques kilomètres à l'amont, un autre cône de déjection, celui du Lagal à Perles-et-Castelet, fut également balayé par une lave torrentielle, qui ne fit qu'une seule victime mais recouvrit largement l'emprise actuelle de la R.N. 20 et envahit une partie du village. L'extension des dépôts, estimés à 98 000 m<sup>3</sup>, a pu être cartographiée (figure 2.4 p. 17). Ce type d'approche présente un intérêt évident dans la perspective d'un zonage du risque à l'échelle communale (Antoine, Desailly, Métaillié, 1994).

### 2.3.2 Réflexions pour une typologie des cartes historiques des phénomènes vecteurs de risques naturels

L'ensemble de ces productions peut faire l'objet d'une classification selon plusieurs critères. On retiendra notamment (la liste n'est pas limitative) :

- l'échelle de la carte : régionale, « intermédiaire » ou locale.
- l'espace de référence : unité administrative (commune, département, etc.) ou bien naturelle (bassin versant, cône de déjection torrentiel, etc.)
- l'objet cartographié : le phénomène physique à l'origine d'une catastrophe ou bien les conséquences humaines de ce phénomène.
- le pas de temps considéré : un instantané sur un événement précis ou bien la répétition d'événements sur une période plus ou moins longue, de quelques décennies à plusieurs siècles.

Les valeurs prises par chacun de ces critères peuvent théoriquement se combiner de multiples façons, débouchant sur une grande variété de représentations cartographiques. L'éventail des cartes envisageables s'avère dans la pratique plus limité, pour trois raisons au moins. La réalisation du document peut s'inscrire dans un programme de recherche fondamentale, ce qui offre une certaine liberté de choix au chercheur ; elle vient aussi fréquemment en réponse à une demande sociale, en l'occurrence, celle d'un service administratif impliqué dans la gestion des risques naturels (DDE, DIREN...), qui définit alors un cahier des charges précis. Ces organismes tendent notamment à imposer des échelles de travail qui leur sont familières, habituellement comprises entre le 1/10 000<sup>e</sup> et le 1/50 000<sup>e</sup>.

Le choix est par ailleurs influencé par l'abondance et la nature des sources historiques mobilisées. La règle, qui souffre

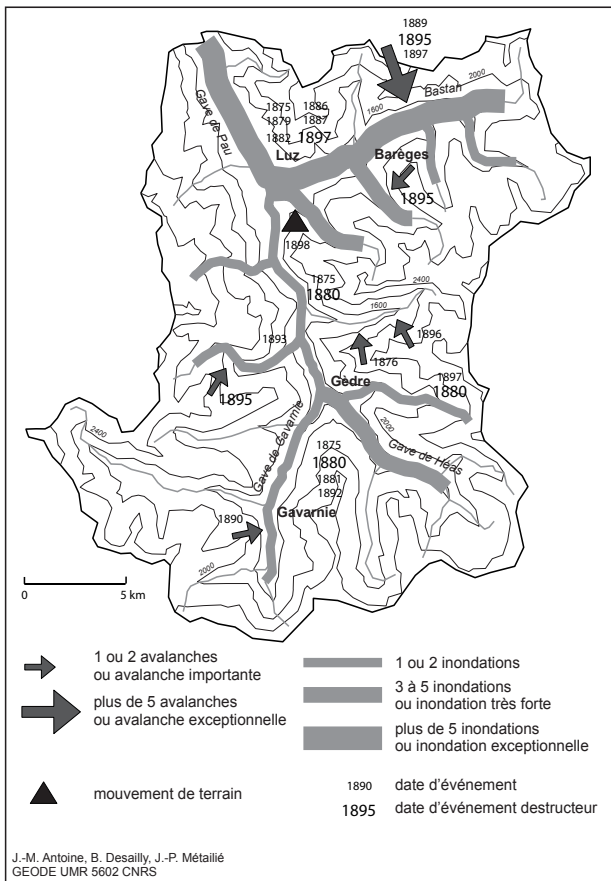


Fig. 2.3 Les catastrophes naturelles dans le haut bassin du Gave de Pau. 1875-1899 (Antoine, Desailly, Métaillé, 1994) (manquante)

bien entendu des exceptions, est que ces sources gagnent en précision au fur et à mesure que l'on se rapproche de la période récente. Pour les périodes les plus lointaines, on cartographiera donc plutôt les conséquences humaines des phénomènes, sans pouvoir atteindre une grande précision dans les localisations. Des cartes représentant l'extension précise de phénomènes physiques (terrains recouverts par les eaux, dépôt torrentiel, trajectoire d'avalanche, etc.) sont en revanche envisageables pour les périodes plus récentes (XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles). Le chercheur se trouve cependant confronté au problème majeur de l'hétérogénéité géographique des sources. Très abondantes en certains lieux, elles peuvent manquer presque totalement à quelques kilomètres de là. En Roussillon par exemple, l'information historique sur les crues de la Têt est beaucoup plus riche que celle relative aux crues du Tech et de l'Agly (Desailly, 1990).

Enfin, l'importance — et donc la durée — du travail de traitement de l'information n'est pas la moindre contrainte. Certains plans précis établis par des ingénieurs à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle peuvent ne nécessiter qu'une simple « remise au goût du jour » ou un calage sur un fond topographique actuel. Cartographier à l'échelle communale les dommages causés par une crue du XIX<sup>e</sup> siècle, à partir de listes de propriétaires sinistrés et du plan cadastral napoléonien, peut

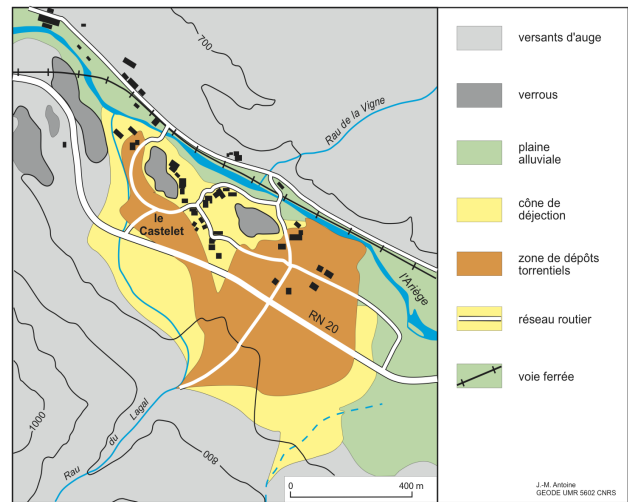


Fig. 2.4 Les laves torrentielles du 23 juin 1875 à Perles-et-Castelet (Ariège) (manquante)

s'apparenter à un travail de bénédictin. La cartographie historique des risques naturels est ainsi fréquemment le résultat d'un compromis entre diverses contraintes.

## 2.4 La carte d'historicité des phénomènes vecteurs de risques naturels dans les Pyrénées

Nous allons enfin présenter plus longuement la *Carte d'historicité des phénomènes naturels vecteurs de risques dans les Pyrénées*, élément d'une opération plus vaste de cartographie informative des phénomènes naturels à risques dans les Pyrénées, initiée par la DIREN Midi-Pyrénées en 2002. La réalisation de cette carte a été confiée au laboratoire GEODE, pour les deux départements de l'Ariège et de la Haute-Garonne. L'information provient de la base de données « événements » utilisée par le service RTM Pyrénées, actualisée par des recherches bibliographiques et archivistiques (Archives Nationales, Départementales, Communales).

### 2.4.1 Présentation générale

La carte permet d'avoir une vision d'ensemble, sur un secteur donné, de l'historicité des événements. Ce type de cartes apporte l'essentiel de l'information historique, sous forme synthétique, de sorte qu'un non spécialiste de la question est capable de l'utiliser facilement.

Néanmoins, réaliser un tel document n'est pas aisé, plusieurs difficultés devant être surmontées. La première d'entre elles réside dans le fait que beaucoup d'événements ne sont pas localisés ou plutôt sont localisés de manière imprécise. Autre obstacle, certains événements, comme les avalanches par exemple, peuvent être surreprésentés, ce qui d'une certaine manière brouille quelque peu l'information puisque ces événements sont très bien renseignés, décrits et inventoriés depuis quelques décennies.

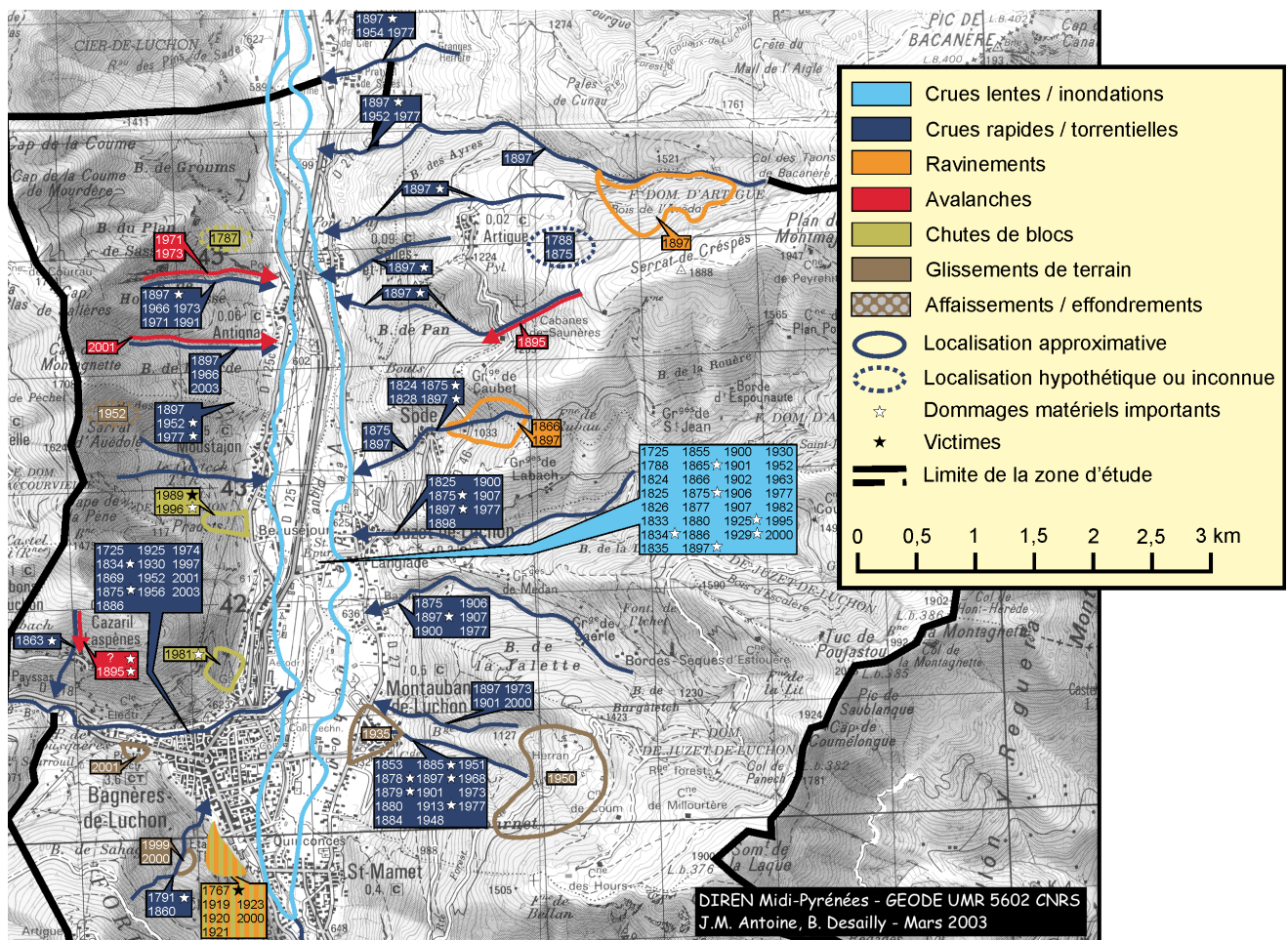


Fig. 2.5 Carte d'historicité des phénomènes naturels vecteurs de risques dans les Pyrénées. Département de la Haute-Garonne (extrait)

On peut rajouter un autre obstacle pour réaliser ce type de document, qui est lié aux sources historiques souvent incomplètes, problème déjà évoqué précédemment. D'où le choix — guidé aussi par des questions de lisibilité — de ne mentionner que les années des événements, et non les jours et les mois précis. De plus, les cartes indiquent par une étoile blanche les dommages matériels importants et une étoile noire le nombre de victime pour les phénomènes les plus importants.

Enfin, la dernière difficulté est liée aux types de phénomènes cartographiés (crue rapide ou torrentielle, crue lente, ravinement, avalanche, chute de blocs, glissement de terrain) qui ne sont pas de même nature. La distinction se fait essentiellement par la couleur : magenta pour les avalanches, gamme de bleus pour les crues, gamme de jaune brun pour les mouvements de terrain, orange pour les ravinements.

En outre, un des principes de base des cartes d'historicité est de tendre vers l'exhaustivité. Antérieurement à 1950, les phénomènes naturels vecteurs de risques ont été assez bien répertoriés dans les archives car ils sortaient de l'ordinaire et avaient des répercussions sur la vie locale. De plus, l'exhaustivité est à rechercher pour toutes les familles de phénomènes où l'historicité est très faible comme les mou-

vements de terrain par exemple. Bien évidemment, cette exhaustivité est beaucoup moins nécessaire pour des événements pouvant se répéter chaque année sur un même site comme les avalanches par exemple. Si l'exhaustivité est recherchée dans ce type de carte, on ne la retrouve plus dans trois cas bien précis : des événements trop difficiles à localiser, des événements trop répétitifs d'intensité réduite et des événements à caractère anecdotique.

D'un point de vue technique, les cartes ont été réalisées avec le logiciel *Corel Draw* à partir des cartes topographiques IGN au 1/50 000<sup>e</sup>. Les cartes au 1/25 000<sup>e</sup> n'ont pas été retenues en raison de l'imprécision relative de nombreuses localisations d'événements). Les cadres des cartes ont été fixés en fonction des limites d'impression (format A3), avec le souci d'englober la totalité du territoire communal des communes concernées.

#### 2.4.2 Deux exemples (Haute vallée de la Pique et Val d'Ariège)

Face à toutes les réflexions que nous venons d'énoncer, il est possible de prendre deux exemples : un en Haute-Garonne, l'autre en Ariège.

Le premier exemple est situé dans le département de la

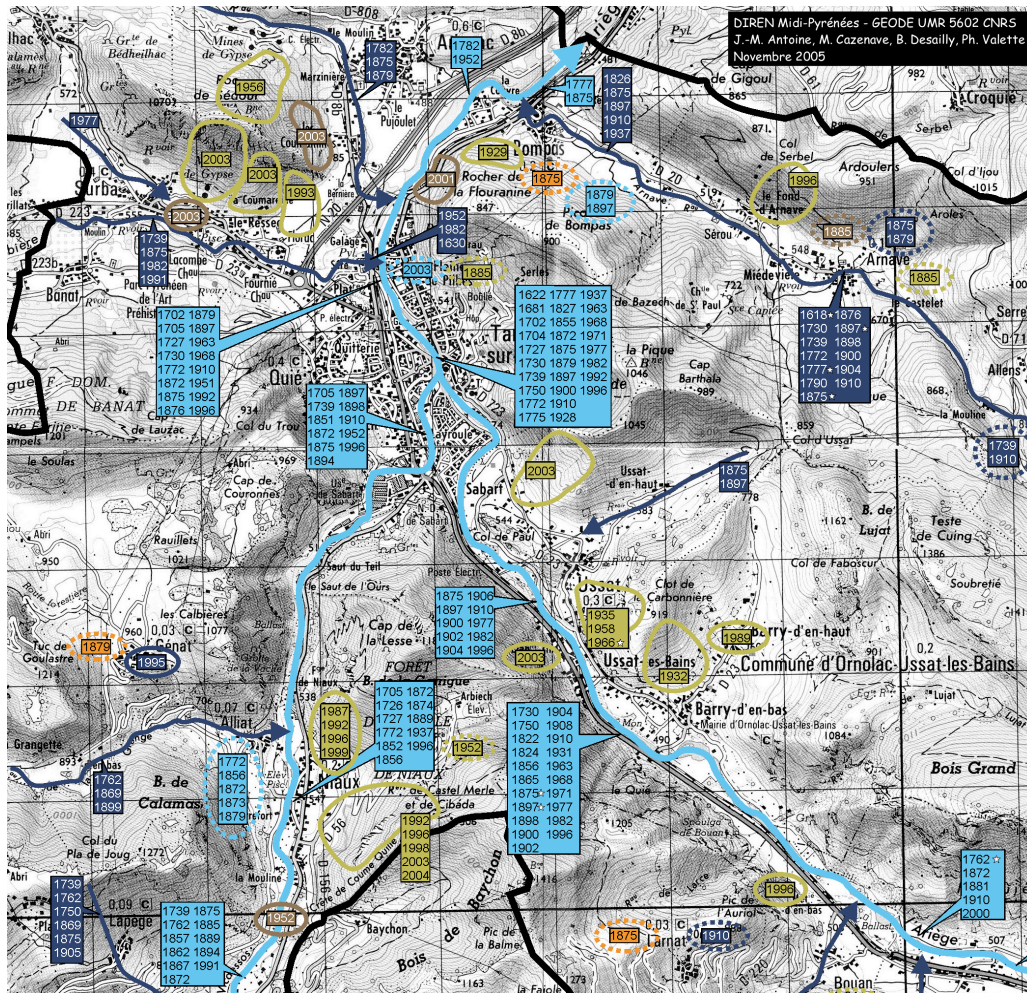


Fig. 2.6 Carte d'historicité des phénomènes naturels vecteurs de risques dans les Pyrénées. Département de l'Ariège (extrait)

Haute-Garonne. Il s'agit de la haute vallée de la Pique (figure 2.5 p. 18). La carte a été bâtie selon les lignes directrices signalées plus haut :

- Report des données sur le fond IGN au 1/50 000<sup>e</sup>, qui permet une bonne lisibilité en dépit d'une forte densité d'événements et un repérage que l'on peut qualifier de correct.
- Recherche d'exhaustivité des phénomènes qui se matérialise pour la Pique à Bagnères-de-Luchon par 30 crues lentes par exemple, avec la mention des événements qui ont causé des victimes ou des dégâts matériels (étoile blanche ou noire).
- Différenciation des phénomènes vecteurs de risques par la couleur, ici essentiellement, crues lentes, crues rapides et avalanches.
- Délimitation par des emprises symboliques, avec des flèches dans la zone d'arrivée, se démarquant volontairement des emprises réelles au demeurant mal connues et différentes d'un événement à l'autre.

Le second exemple correspond au petit bassin de Tarascon-sur-Ariège, au confluent de l'Ariège et du Vicdessos (figure 2.6 p. 19). La carte nous montre essentiellement

quatre types de phénomènes vecteurs de risques : les crues lentes en fond de vallée (Ariège et Vicdessos), les crues rapides liés aux torrents descendants les flancs de montagnes, les chutes de blocs et les glissements de terrain. Les chutes de blocs sont bien représentées sur cet espace en raison de la présence de nombreux escarpements calcaires. Quelques ravinements, mal localisés, sont également répertoriés.

De plus, certains sites apparaissent de façon continue au cours de l'histoire. Il s'agit de Tarascon-sur-Ariège, située au niveau de la confluence entre l'Ariège et le Vicdessos, Arnave, Verdun-sur-Ariège, Niaux et Capoulet.

## 2.5 Conclusion

Sans que cela soit une révélation, on sent bien que s'agissant de cartes et de l'usage auquel on les destine, l'échelle du document est fondamentale.

À grande échelle, les cartes de risque, documents réalisés par et pour des experts, sont incontournables pour spatialiser les risques, qu'il s'agisse de représenter l'emprise des aléas, des différentes composantes de la vulnérabilité, ou encore des

niveaux de risque. La cartographie — tout comme l'information -, historique, est dans ce cas un élément d'aide à la décision non négligeable. Il permet de conforter les expertises classiques (géologiques, hydrauliques, géomorphologiques, trajectographiques...), voire de les affiner en signalant des sites qu'elles auraient méconnus, mais également de programmer les solutions de protection/prévention/prévision. Mais la cartographie historique peut également devenir à cette échelle un remarquable outil de communication à destination des non-experts (décideurs, élus, particuliers...), favorisant l'acceptation et l'appropriation locales des politiques de réduction du risque.

À petite et moyenne échelle, les cartes retraçant l'historicité des phénomènes restent un outil d'aide à la décision mais surtout de choix des politiques de réduction des risques et de leur programmation au niveau décisionnel supérieur (département, région...).

Par ailleurs, on peut regretter que la cartographie historique, rendue obligatoire par plusieurs textes réglementaires, n'ait pas fait l'objet, à l'instar de la cartographie des aléas contemporains (méthode hydrogéomorphologique pour les crues, cartes CLPA du CEMAGREF pour les avalanches...), d'une réflexion méthodologique et d'une normalisation sémiologique. On notera par exemple que les documents cartographiques existants ne rendent pas obligatoirement, ou mal, l'épaisseur du temps : entre autres anomalies, les événements historiques sont reportés sur des fonds cartographiques modernes, parfois très éloignés de la réalité des organisations spatiales du passé. L'intérêt de la connaissance historique des risques pour leur gestion actuelle peut ainsi s'en trouver fortement altéré, voir conduire à des erreurs d'interprétation et à des choix politiques inadaptés.

## 2.6 Bibliographie

ANTOINE J.-M. (1989) — Torrentialité en Val d'Ariège : des catastrophes passées aux risques présents — *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, tome 60, fascicule 4, p. 521-534.

ANTOINE J.-M. (1992) — Étude historique des phénomènes naturels dans le Val d'Ariège — *Étude de programmation des actions RTM pour l'aménagement de la vallée de l'Ariège*, Foix : ONF, DDAF, Service de Restauration des Terrains en Montagne de l'Ariège, 107 p. + cartes h.t.

ANTOINE J.-M. (à paraître) — Inondations et climat. L'exemple de la Garonne depuis le XIII<sup>e</sup> siècle — *129<sup>e</sup> Congrès des Sociétés Historiques et Scientifiques*, Besançon, 19-24 avril 2004.

ANTOINE J.-M. (à paraître) — Crues torrentielles et climat dans les Pyrénées — *Séminaire ACI Anthropisation des montagnes du sud*, 22-23 avril 2004, Grenoble, publications de la MSH Alpes.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B., MÉTAILIÉ J.-P. (1994) — Cartographie des risques naturels dans les Pyrénées et sur leur piémont — *Mappemonde*, n° 4, p. 27-30.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B. (1996) — *Base de données historiques sur les inondations de la Cèze, des Gardons, du Vidourle et de l'Hérault dans le département du Gard (XIII<sup>e</sup> siècle-XX<sup>e</sup> siècle)* — Rapport, GEODE UMR-5602 CNRS, DDE du Gard, 244 p.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B., MÉTAILIÉ J.-P. (1996) — Les grands aigats du XVIII<sup>e</sup> siècle dans les Pyrénées — *Les catastrophes naturelles dans l'Europe médiévale et moderne*, Actes des XV<sup>es</sup> Journées Internationales d'Histoire de Florian, Toulouse : Presses Universitaires du Mirail, p. 243-260.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B. (2000) — *Étude de faisabilité de bases de données historiques sur les inondations. Base nationale et bases départementales* — Rapport, GEODE UMR-5602 CNRS, Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, CERTU Lyon, 41 p.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B. (2001) — Habitat, terroirs et cônes de déjection torrentiels dans les Pyrénées commingeoises — *Villages pyrénéens — Morphogenèse d'un habitat de montagne*, M. Berthe et B. Cursente ed., Université de Toulouse-Le Mirail, p. 27-44.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B., GAZELLE F., (2001) — Les crues meurtrières, du Roussillon aux Cévennes — *Annales de Géographie*, n° 622, p. 597-623.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B. (2003) — *Recherches historiques sur les phénomènes naturels vecteurs de risques dans les Pyrénées de la Haute-Garonne* — Rapport, GEODE UMR 5602-CNRS, DIREN Midi-Pyrénées, 95 p. + cartes h.t.

ANTOINE J.-M., DESAILLY B., VALETTE Ph. (2005) — *Recherches historiques sur les phénomènes naturels vecteurs de risques dans les Pyrénées ariégeoises et sur leur piémont* — Rapport, GEODE UMR 5602-CNRS, DIREN Midi-Pyrénées, 184 p. + cartes h.t.

BARRUÉ-PASTOR M., MÉTAILIÉ J.-P. dir. (1993) — *La vallée aux catastrophes. Déterminants physiques et représentations sociales des risques naturels en vallée de Barèges (canton de Luz, Hautes-Pyrénées)* — Rapport, GEODE UMR 5602-CNRS, 198 p. + cartes h.t.

BARRUÉ-PASTOR M., BARRUÉ M. (1998) — Mémoire des catastrophes, gestion des risques et architecture paysanne en montagne : l'exemple des vallées du haut Lavedan dans les Pyrénées centrales françaises — *Revue de Géographie Alpine*, n° 3, 14 p.

DESAILLY B. (1990) — *Crues et inondations en Roussillon. Le risque et l'aménagement. Fin du XVII<sup>e</sup> siècle — milieu du XX<sup>e</sup> siècle* — Thèse de doctorat de géographie, Université de Paris X — Nanterre, 352 p.

DIREN Midi-Pyrénées (2000) — *Cartographie informative des zones inondables en Midi-Pyrénées*, 8 vol.

GARRY G. (1994) — Évolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France — *Mappemonde*, 4, p. 10-16.

GRANET-ABISSET A.-M., BRUGNOT G. dir. (2002) — *Avalanches et risques. Regards croisés d'ingénieurs et d'historiens* — Grenoble, CNRS — MSH Alpes, 180 p.

NAULET R., (2002) — *Utilisation de l'information des crues*

*historiques pour une meilleure prédétermination du risque d'inondation. Application au bassin de l'Ardèche à Vallon Pont-d'Arc et St-Martin d'Ardèche* — Thèse de doctorat,

Université Joseph Fourier Grenoble 1 et Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique Eau-Terre-Environnement, 322 p.



### 3 Le SIG narratif, outil de territorialisation du risque : mise en perspective géohistorique du risque fluvial en milieu urbain et périurbain

Claire COMBE

*Institut de Recherche en Géographie, Laboratoire Rhodanien de Géographie de l'Environnement, Université Lyon 2, UMR 5600, 5 av. Pierre Mendès France, F-69976 Bron Cedex*  
Claire.combe@univ-lyon2.fr

**Résumé.** — Dans la région lyonnaise, le risque d'inondation est le fruit d'interactions complexes entre la ville et ses fleuves, et se caractérise par sa variété et sa variation spatio-temporelles. L'approche développée, géohistorique et systémique, prend acte de cette complexité : par un jeu d'emboîtement d'échelles spatio-temporelles, il s'agit d'analyser le système du risque et ses composantes, qui sont autant de sous-systèmes en interaction. La méthodologie mise en œuvre est basée sur la réalisation de cartes évolutives, et passe par la construction d'un SIG historique pris en tant qu'outil d'analyse des dynamiques et de leurs interactions. Le SIG permet de territorialiser le risque et de spatialiser ses évolutions. Les cartes obtenues permettent de comprendre le risque actuel à la lumière des interactions entre l'hydrosystème et l'aménagement de la plaine suscité par l'urbanisation. En intégrant la variabilité spatio-temporelle, le géographe apporte ainsi une clé de lecture nouvelle du risque, complémentaire de celle de l'ingénieur, et peut aider à une gestion globale des phénomènes.

**Mots-clés.** — SIG historique, territorialisation, risque fluvial, variabilité spatio-temporelle, aide à la gestion

**Title.** — *Narrative GIS, a tool for territorialisation of risk : geohistorical perspective of flood risk in urban and suburban areas*

**Abstract.** — In the Lyon's area, flood risk is the result of complex interactions between the city and its rivers, and is characterized by its spatiotemporal variety and variation. Our approach, which is geohistorical and geosystemic, takes this complexity into consideration : in fitting spatiotemporal scales into each others, our goal is to analyse the risk system and its components, which are as many interacting systems. The methodology implemented here is based on the making of on-going maps, and requires the development of an historical GIS, used as a tool for analysis of dynamics and their interactions. The GIS makes it possible to territorialise the risk and to spatialize its changes. The obtained maps make it possible to understand current flood risk in the light of interactions between hydrosystem and urban

development in floodplain. In integrating the spatiotemporal variability, the geographer brings a new reading key to flood risk, which is complementary to the engineering approach, and can be a good help in global management of phenomena.

**Key-words.** — historical GIS, territorialisation, flood risk, spatio-temporal variability, management aid.

#### 3.1 Introduction

Cette communication présente les enjeux et les apports du Système d'Information Géohistorique « Y » lyonnais développé à l'UMR 5600 dans le cadre du programme de recherche CNRS Zone Atelier Bassin du Rhône (ZABR). Plus particulièrement, nous présentons la mise en œuvre d'un outil de territorialisation du risque fluvial dans la région lyonnaise effectuée dans le cadre de notre thèse de doctorat, menée à l'IRG sous la direction de Jean-Paul Bravard.

Un des premiers objectifs de la ZABR est l'aide à la décision pour l'aménagement du territoire. À ce titre, l'IRG a collaboré avec les services gestionnaires, en particulier dans le cadre de l'instruction du PPRI amorcée en 2003 sur le territoire du Grand Lyon, ainsi que dans le cadre d'une réflexion encadrée par la DIREN Rhône-Alpes pour réorienter la politique de gestion du risque à l'amont immédiat de Lyon, dans la plaine de Miribel-Jonage. En intégrant la variabilité spatio-temporelle, le géographe apporte une clé de lecture nouvelle du risque, complémentaire de celle de l'ingénieur, et peut aider à une gestion globale des phénomènes. Un des apports majeurs concerne la reconstitution de la mémoire du risque (interaction crue/urbanisation/aménagements). La démarche peut aider à mieux adapter les politiques de gestion à la réalité des territoires. L'enjeu est de comprendre le présent, et de permettre de mieux appréhender les évolutions à venir, à la lumière des héritages du passé.

Après avoir présenté les fondements théoriques et l'originalité de la démarche, nous aborderons la méthodologie développée, c'est-à-dire la mise au point et l'exploitation d'un SIGéohistorique, en insistant sur les potentialités de l'outil pour territorialiser le risque, tout en pointant les difficultés rencontrées et les réponses qui y ont été apportées. Puis nous illustrerons les acquis de la démarche en analysant et expliquant l'évolution de l'aléa depuis 150 ans.



### 3.2 Variabilité spatio-temporelle du risque en milieu fluvial

La gestion du risque a longtemps été marquée par une vision relativement statique des phénomènes : on gère le risque à un instant « T », sur des chenaux considérés comme stables. Or, de plus en plus, les gestionnaires sont confrontés au problème de la prise en compte du temps et de l'espace : seule celle-ci permet une approche globale de la complexité du risque en milieu fluvial urbain et périurbain. L'enjeu est aujourd'hui celui d'une approche globale, transversale, voire systémique, pour montrer l'importance des interactions entre le milieu et la société. Depuis quelques années, un éclairage nouveau est ainsi apporté par l'approche géohistorique du risque d'inondation : si le risque résulte du croisement entre aléa et vulnérabilité (Dauphiné, 2001), aléa comme vulnérabilité évoluent, et cette évolution varie en fonction des échelles d'observation.

L'approche présentée ici, géohistorique et systémique, prend acte de cette complexité : l'objectif est d'analyser, par un jeu d'emboîtement d'échelles de temps et d'espace, le système du risque et ses composantes, qui sont autant de sous-systèmes en interaction.

L'analyse est menée à l'échelle de l'agglomération lyonnaise au sens large, et plus particulièrement sur le corridor fluvial du « Y » lyonnais (figure 3.1 p. 24). L'originalité du terrain d'étude se fonde dans l'ancienneté des rapports entre la ville et les fleuves, depuis l'Antiquité. La croissance de l'agglomération entraîne le dépassement des sites primitifs des collines de Fourvière et de la Croix-Rousse et l'occupation progressive de l'espace alluvial. L'hypothèse est qu'il y a alors très probablement interaction entre le système fluvial, l'urbanisation et les aménagements générés par l'agglomération en lit mineur et en lit majeur, et le risque.

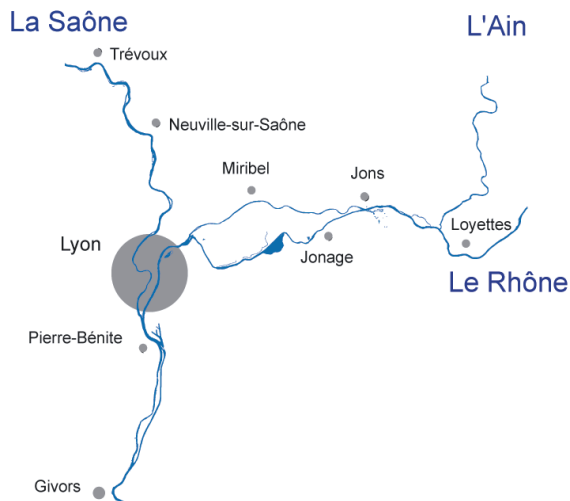


Fig. 3.1 Le corridor fluvial du « Y lyonnais »

Les deux dynamiques qui engendrent le risque d'inondation, l'aléa et la vulnérabilité, évoluent dans le temps et dans l'espace (figure 3.2 p. 24). L'aléa évolue du fait de la variation

des flux liquides et sédimentaires. Ces changements se font d'une part sous contrôle climatique, avec l'alternance de phases de calme et de crises hydrologiques et sédimentaires, et d'autre part par impact anthropique. Les actions humaines jouent aussi bien à l'échelle du bassin-versant, à travers l'évolution de l'occupation du sol et l'artificialisation du régime par les barrages, que sur l'espace du risque proprement dit où il y peut y avoir des modifications directes et indirectes des conditions d'écoulement en lit mineur et en lit majeur. Parallèlement, la vulnérabilité augmente elle aussi, surtout lors les périodes où la contrainte fluviale est moins forte : on a un risque résiduel, et une vulnérabilisation qui modifie et fragilise « en sourdine » le système du risque. Cette fragilisation est révélée par l'occurrence d'événements exceptionnels ou par le retour à une phase de crise hydrologique. Il y a lieu de souligner l'importance du temps de la crise, en tant que phénomène déstabilisateur qui éprouve la résilience du milieu et des sociétés, et fait évoluer le risque d'inondation dans ses manifestations physiques, dans sa perception et dans sa gestion.

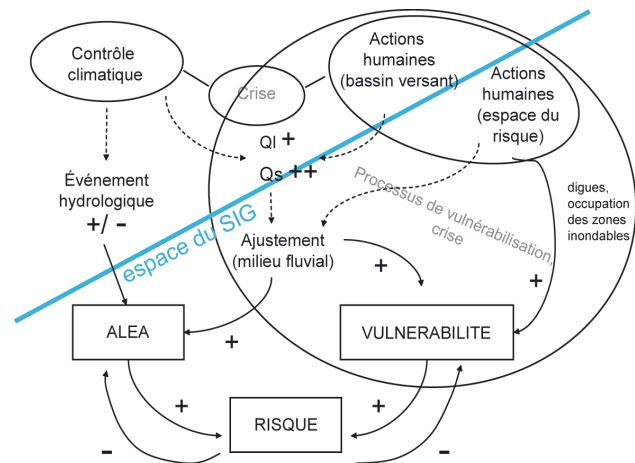


Fig. 3.2 Variabilité spatio-temporelle du risque en milieu fluvial (d'après Bravard, 2003, modifié)

### 3.3 Le SIGéohistorique « Y lyonnais »

#### 3.3.1 Territorialisation du risque et de ses évolutions

La méthodologie mise en œuvre est basée sur la réalisation et l'analyse de cartes afin de spatialiser les différentes dynamiques et voir comment elles évoluent dans le temps. Cela passe par la mise au point d'un SIG historique, pris en tant qu'outil d'analyse diachronique des dynamiques et des interactions.

Un des intérêts des SIG est de permettre le traitement de données tant qualitatives que quantitatives, en associant une base de données, des objets géographiques et des images raster géoréférencés. L'outil se prête à la gestion de données complexes : il permet aussi bien de structurer et de spatialiser des données existantes que de procéder à des analyses spatiales et à des traitements statistiques de ces données. Le géoréférencement des données permet de superposer des

cartes à différentes dates et d'analyser et représenter l'évolution du risque dans le temps, à différentes échelles. En ce sens, cette approche se différencie de l'analyse historique classique, puisqu'il s'agit ici d'identifier et d'étudier les interactions spatiales des différentes composantes du risque sur un même territoire, à l'échelle locale et régionale (interactions entre les actions humaines, le système fluvial et le risque).

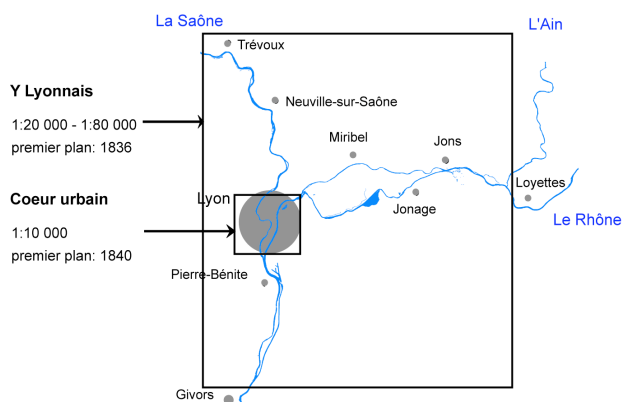


Fig. 3.3 Les deux échelles spatiales du SIGéohistorique « Y lyonnais »

Par un jeu d'échelle, le SIG historique permet d'identifier des secteurs où le risque évolue, dans le sens d'une aggravation ou d'une réduction. Un des apports majeurs de la spatialisation des dynamiques au moyen du SIG concerne ainsi l'interprétation de la situation géographique du risque : visuellement, on voit apparaître une structuration des phénomènes, une territorialisation du risque qu'on avait imaginées jusque-là à partir de documents ponctuels. Bien entendu, la capacité narrative et analytique du SIG historique s'insère dans la démarche globale du géographe. Cet outil ne se suffit pas à lui-même et doit être complété en amont et en aval par un travail d'enquête et de terrain ainsi que par un discours d'interprétation des cartes obtenues. On obtient finalement des cartes évolutives, accompagnées d'un discours explicatif, comme les séquences successives d'un film, qui permettent de représenter les évolutions spatio-temporelles afin de comprendre le risque actuel à la lumière des interactions entre l'hydrosystème et l'aménagement de la plaine suscité par l'urbanisation.

Le SIG historique permet donc de combiner diverses sources d'information, historique et contemporaine, sur un espace donné. Les données rassemblées ont été collectées à partir du croisement de sources écrites, cartographiques et photographiques, complétées par des vérifications sur le terrain ainsi que par des entretiens semi-directifs avec les acteurs de la gestion du risque. Les sources sont mentionnées et critiquées dans les métadonnées accompagnant chaque fichier.

### 3.3.2 Une approche multiscalaire

Si la longue durée permet une mise en perspective nécessaire pour mieux comprendre le risque et les interactions

qui le fondent, l'analyse porte essentiellement sur les deux derniers siècles. En effet, la croissance de Lyon nécessite la conquête de nouveaux quartiers gagnés sur l'espace alluvial à partir de la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, qu'on cherchera ensuite à protéger contre les inondations. C'est à partir des années 1830 que commence l'essor des grands travaux d'endiguement pour les besoins de la navigation et pour la protection contre les crues. On dispose donc à partir de cette époque d'observations précises et d'une documentation abondante concernant les grandes inondations et leur gestion.

L'espace couvert par le SIG est celui du risque proprement dit. L'échelle du bassin versant est bien sûr intégrée dans la démarche, mais elle n'est pas prise en charge par le SIG historique (figure 3.2 p. 24). Le SIG est pensé selon deux échelles spatiales emboîtées, de précisions différentes : le Y lyonnais dans son ensemble, renseigné avec une précision allant du 1/20 000<sup>e</sup> au 1/80 000<sup>e</sup>, et un zoom plus précis sur le cœur urbain, au 1/10 000<sup>e</sup> (figure 3.3 p. 25).

### 3.3.3 Deux corpus de données cartographiques

Une des premières étapes fut de dresser un inventaire systématique des cartes et plans anciens couvrant l'espace du Y lyonnais. C'est à partir de ce tour d'horizon qu'une stratégie d'acquisition des données a pu être définie, avant de sélectionner, acquérir, scanner et géoréférencer les documents pertinents.

On a la chance de disposer sur Lyon et ses environs d'une bonne série chronologique. Deux corpus de données ont été constitués.

- Trois séries de cartes topographiques anciennes, au 1/40 000 ou au 1/50 000, ont été scannées par l'IGN, puis recalées dans le système de coordonnées Lambert 2 par le CRENAM, à l'Université Jean Monnet de St Etienne. On dispose ainsi d'un fond cartographique géoréférencé pour quatre dates : l'actuel, avec le scan 25 de l'IGN, sur lequel se superposent les cartes de 1836, 1902 et 1949. Le travail de recalage n'a pas été chose aisée, étant donné les caractéristiques variées des types de levés, qu'on ne connaît pas toujours de façon détaillée. La précision du recalage effectué permet approximativement de superposer les différentes cartes au 1/30 000<sup>e</sup> (avec malgré tout, de fortes variations locales).
- En plus de ces fonds raster géoréférencés, le SIG historique est alimenté grâce à une base de cartes papier, à une échelle plus fine allant du 1/10 000 au 1/25 000. Ce corpus complète la série chronologique : l'espace est ainsi couvert tous les vingt à cinquante ans de la fin des années 1830 à l'actuel.

L'interprétation des cartes anciennes nécessite un certain nombre de précautions, car il est souvent difficile d'estimer leur validité planimétrique et thématique. Certains documents sont des minutes de terrain parfois entachées d'une erreur de localisation importante. De plus, les cartes éditées ont souvent fait l'objet de corrections successives, ce qui empêche de dater très précisément l'état de l'occupation du

sol dont elles rendent compte. Par ailleurs, il importe de mener une analyse critique des informations fournies : en effet, la nomenclature n'est pas la même selon les époques, et la même dénomination peut ainsi recouvrir des réalités différentes. Enfin, une autre difficulté à prendre en compte tient au fait que les types d'occupation du sol inventoriés varient au fil du temps, et que certains ne sont figurés qu'à quelques dates seulement.

### 3.3.4 Objets spatio-temporels pris en compte et spatialisation des données

C'est à partir des fonds cartographiques que les objets géographiques nécessaires à l'étude ont pu être spatialisés. Les données pertinentes pour notre analyse peuvent être rassemblées selon plusieurs groupes de critères :

- ceux décrivant les phénomènes d'inondation ;
- ceux relatifs aux actions humaines en lit mineur et en lit majeur, qui vont modifier l'aléa (digues, remblais, obstacles à l'écoulement des crues, extractions, et les réactions du milieu fluvial) ;
- ceux traitant de la dynamique de l'occupation des zones inondables et des enjeux de l'inondation (bâti, réseau de transport) ;
- les limites administratives ;
- et enfin les documents réglementant le droit des sols.

La digitalisation des objets spatio-temporels est réalisée à partir du support graphique que fournissent les scans géoréférencés. Deux difficultés majeures ont dûes être levées lors de cette étape. La première est liée à la prise en compte du temps dans l'analyse spatiale, et à la traduction de ces changements dans le modèle conceptuel des données. Pour intégrer des objets qui évoluent dans le temps, le moyen le plus simple est d'intégrer les dates-clé en tant qu'attributs dans la base de données géographique (Sinton, 1999 et 2001). Les choses sont plus complexes lorsque les contours d'un même objet varient dans le temps (par exemple, les digues qui sont prolongées, élargies ou exhausées), ou lorsque les changements n'affectent que quelques éléments de la base de données. La solution apportée a consisté à définir des entités homogènes auxquelles ont été associés des états successifs, comportant chacun une date de début et une date de fin. L'autre problème rencontré tient au géoréférencement, qui oblige à localiser précisément les objets, ou du moins donne l'illusion de la précision, alors même que la connaissance de leur localisation reste parfois vague. Le cas échéant, seules les métadonnées permettent de pointer l'incertitude voire de préciser la marge d'erreur.

## 3.4 Le risque d'inondation dans la région lyonnaise : héritages et réalités contemporaines

### 3.4.1 Une tendance à la contraction des zones inondables depuis 150 ans

La première étape du travail a été d'étudier le système hydrologique actuel et les différentes grandes crues connues, historiques et de référence, dans leurs différentes composantes pour comprendre quel est l'état actuel de l'aléa et quelle a été son évolution.

Si on compare les lits majeurs naturels au champ d'inondation modélisé très récemment dans la situation actuelle (figure 3.4 p. 27), on voit nettement qu'il y a eu contraction du champ d'inondation, sauf en rive droite du canal de Miribel, à l'amont de Lyon, où l'aléa a plus que doublé (Combe, 2001 et 2004a). Nous avons ensuite démontré que cette évolution est la conséquence des actions humaines en lit mineur et en lit majeur. Cela confirme les hypothèses de départ : il y a modification de l'aléa par impact direct des endiguements réalisés pour la navigation et contre les crues, et des remblaiements de la plaine, et par impact indirect, c'est-à-dire ajustement du système fluvial aux actions humaines et perturbation de l'écoulement naturel des eaux de débordement.

### 3.4.2 L'impact direct du rempart de protection lyonnais

Aujourd'hui, l'essentiel de l'agglomération est construite dans la plaine alluviale, à l'arrière d'un système de quais et de digues qui soustrait une grande partie du lit majeur naturel à la contrainte fluviale, bien qu'il demeure un risque résiduel. Nous avons étudié le système de digues actuel et reconstitué, grâce aux différentes archives, les étapes de sa mise en place progressive (Combe, 2004b).

La gestion du risque d'inondation et le rapport des lyonnais à leurs fleuves connaissent une rupture au milieu du XIX<sup>e</sup>, suite aux traumatismes successifs causés par les crues catastrophiques de 1840 et 1856, qui dévastèrent une partie de la ville. En 1856, la rive gauche se pensait à l'abri des inondations derrière une double ligne de digues en terre et, sur une partie du linéaire seulement, par des quais construits pour les besoins de la navigation (figure 5-a p. 28). Cet embryon de protection montra ses limites lors de la crue de 1856 : les quais furent tous submergés et les digues rompirent tour à tour, causant ainsi des dégâts considérables. La crue de 1856 marque donc une réelle césure à partir de laquelle on décide la protection définitive de Lyon contre les crues.

L'essentiel de la protection actuelle de Lyon est l'héritage du plan de l'Ingénieur en Chef des Ponts-et-Chaussées Kleitz, mis en œuvre de 1859 à 1866 dans le cadre de la loi de mai 1858 relative à la protection des lieux habités contre les inondations, auquel s'ajoute la digue de Vaulx-en-Velin à la fin du XIX<sup>e</sup> (figure 5-b p. 28). Au XX<sup>e</sup> siècle, l'endiguement est prolongé vers l'amont et vers l'aval à mesure que la ville se développe, puis élargi, donc renforcé, par la réalisation

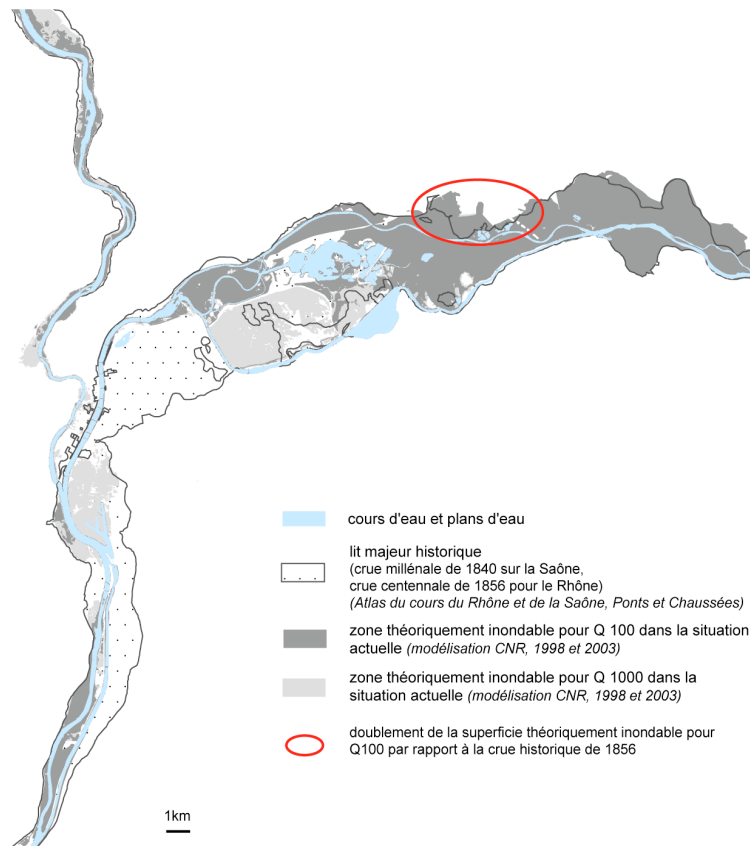


Fig. 3.4 Évolution des zones inondables depuis 150 ans (sources : *Ponts-et-Chaussées, Atlas du Cours du Rhône et de la Saône 1857-1866*; SNRS; CNR, 1998 et 2003)

d'infrastructures routières sur les digues (figure 5-c p. 28). À cela s'ajoutera également la mise hors d'eau des terrains par remblaiement, qui permet à la fois de s'affranchir des inondations directes et indirectes. La cartographie des crues centennales et millenales calculées dans la situation actuelle montre nettement l'impact direct de ces aménagements sur le champ d'inondation.

### 3.4.3 Modification indirecte de l'enveloppe physique de la crue à l'amont de Lyon

Mais il y a aussi évolution du risque d'inondation par impact indirect. Les résultats obtenus à l'amont de Lyon sont significatifs (Combe, 2004a). En comparant les cartes des crues centennales ces 150 dernières années, on constate que le champ d'inondation a beaucoup évolué (figure 3.6 p. 28). Ce secteur de tressage, pourtant voué à la protection de Lyon contre les inondations depuis la loi de 1858, est marqué par une contraction du champ d'inondation en rive gauche du canal de Miribel, tandis qu'on observe une très forte aggravation de l'aléa en rive droite du même canal : à Niévroz et Thil, l'aléa a plus que doublé par rapport à la crue centennale de 1856.

Nous avons démontré que cela résulte de l'impact cumulé de nombreux aménagements réalisés en lit majeur et en lit mineur (*idem*). À partir de la fin des années 1960, ce

secteur va accueillir de nouvelles fonctions liées à la proximité de l'agglomération lyonnaise : on aménage la plaine, en particulier en réalisant des remblais considérables pour les infrastructures autoroutières, ferroviaires et de loisirs (figure 3.7 p. 29). À cela s'ajoutent des extractions massives en lit mineur, dans le canal de Miribel. Il résulte de ces perturbations anthropiques une modification de l'enveloppe physique de la crue (figure 3.8 p. 29) : on observe d'abord le basculement du fond du lit suite à l'endiguement du canal de Miribel pour les besoins de la navigation, puis, du fait des extractions, on assiste à l'incision généralisée du canal. Les crues sont alors chenalisées : l'inondation s'étale de moins en moins en rive gauche, ce qui entraîne le comblement des bras morts et la déconnexion progressive de la partie amont de ce secteur. La rive gauche va s'auto-exhausser et voir sa capacité d'écrêtement diminuer. Ces modifications indirectes se cumulent avec l'impact des emprises formées par les remblais, qui font obstacle à l'écoulement, et participent au report de l'onde de crue sur la rive droite du canal de Miribel.

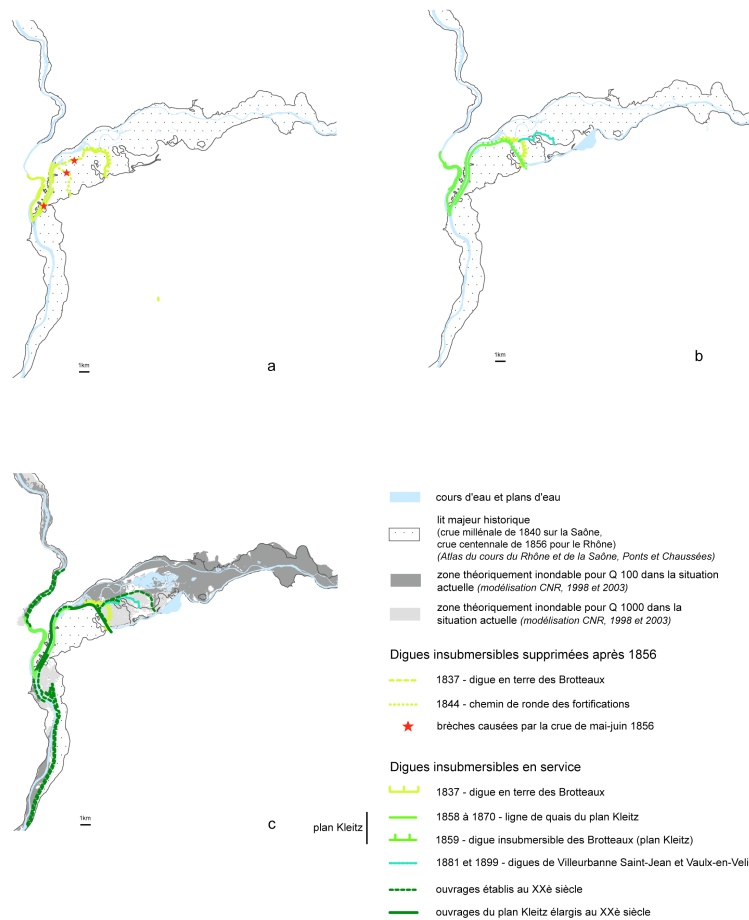


Fig. 3.5 La protection de Lyon contre les crues depuis le xix<sup>e</sup> siècle — a : situation en 1856 ; b : situation en 1881 ; c : situation actuelle (*sources : Archives Départementales du Rhône, Archives Municipales de Lyon, SNRS, Atlas du Cours du Rhône et de la Saône, Ponts-et-Chaussées, 1857-1866*)

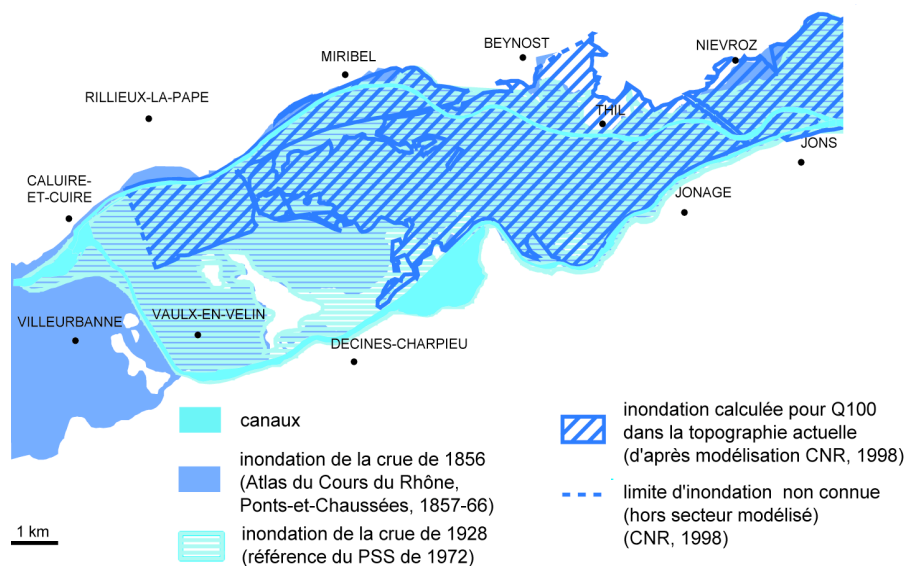


Fig. 3.6 Évolution du champ d'inondation à l'amont de Lyon depuis la crue de 1856 (*sources : Service Navigation Rhône-Saône ; Atlas du Cours du Rhône et de la Saône, Ponts-et-Chaussées, 1857-1866 ; CNR, 1998*)

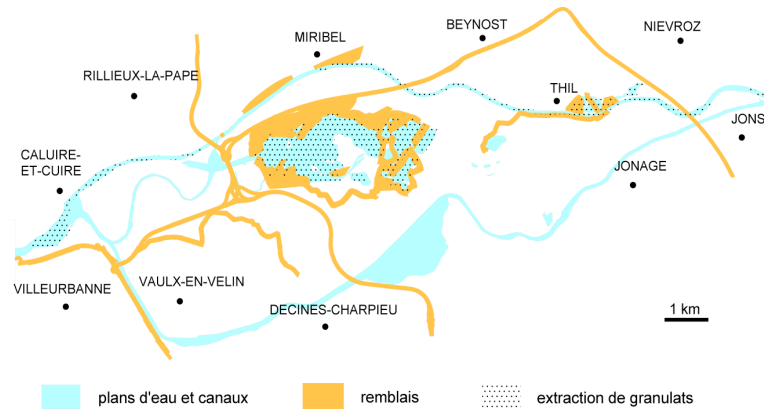


Fig. 3.7 Modification de l'enveloppe physique de la crue dans la plaine de Miribel-Jonage : une vulnérabilisation par les actions humaines — actions humaines ayant un impact indirect sur l'aléa ; (sources : SEGAPAL/SYMALIM et Bakes, 1995)

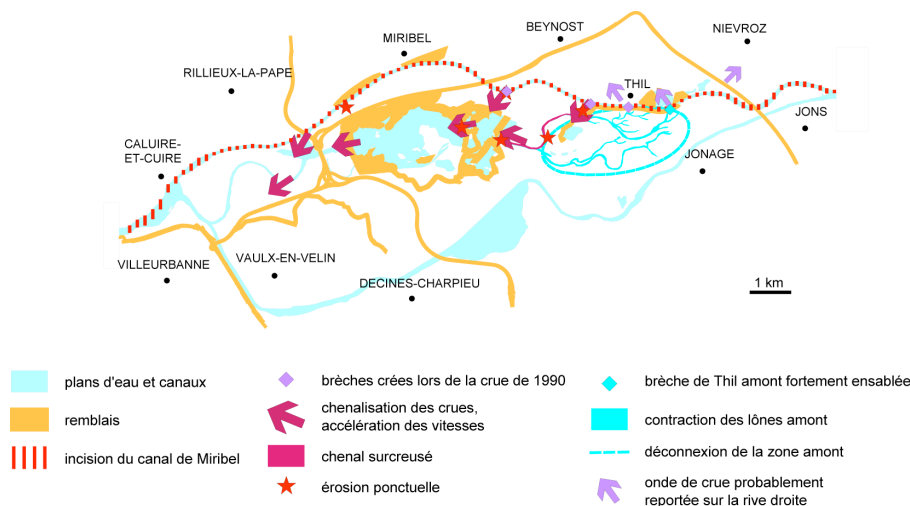


Fig. 3.8 Modification de l'enveloppe physique de la crue dans la plaine de Miribel-Jonage : une vulnérabilisation par les actions humaines — modification de l'enveloppe physique de la crue (sources : SEGAPAL/SYMALIM et Bakes, 1995)

### 3.5 Conclusion

Pour conclure, insistons encore sur l'importance du temps et de l'espace pour étudier les interactions entre le risque et l'urbanisation. L'approche géohistorique, qui s'appuie sur les capacités narratives et analytiques du SIG historique, permet une analyse globale des phénomènes. En ce sens, elle est complémentaire de l'approche de l'ingénieur et peut aider à la gestion du risque d'inondation. Les cartes obtenues constituent un outil d'aide à la décision et à la gestion. Elles permettent de poser les bases objectives d'un débat entre les différents acteurs du risque, pour mieux cibler les mesures à mettre en œuvre. En plus de cela, par un effet d'échelle, une vision globale à l'échelle de la région lyonnaise peut permettre des mesures plus localisées, mieux adaptées à la réalité du risque sur les territoires concernés. À l'amont de Lyon par exemple, la DIREN s'est appuyée sur nos travaux pour amorcer une réflexion sur la réorientation de la poli-

tique de gestion du risque d'inondation dans la plaine de Miribel-Jonage. Ces réflexions ouvrent également sur l'aspect pédagogique du SIG historique, pris cette fois en tant qu'outil de sensibilisation de la population urbaine et péri-urbaine à l'histoire des terres du Rhône et de la Saône, qui peut ainsi contribuer à recréer et à promouvoir une certaine culture du risque en milieu fluvial urbain et périurbain. En ce sens, l'équipe travaille actuellement sur la mise en ligne d'une partie du SIG, à disposition des chercheurs et des enseignants.

### 3.6 Bibliographie

BAKES J. (1995) — *Impact de la canalisation du Rhône et de l'aménagement du parc de loisirs sur le fonctionnement en crue de l'île de Miribel-Jonage* — Mémoire de maîtrise de Géographie, Université Joseph Fourier, 107 p.

- BRAVARD J.-P. (2003) — Le risque d'inondation dans le bassin du Haut Rhône : quelques concepts revisités dans une perspective géohistorique — Burnouf J. et Leveau Ph., (dir.), *Fleuves et Marais*, une Histoire au Croisement de la Nature et de la Culture. Sociétés préindustrielles et milieux fluviaux, lacustres et palustres : pratiques sociales et hydrosystèmes, CTHS, Paris, p. 391-402.
- CNR (1998) — *Étude Hydraulique du secteur de Miribel-Jonage et Étude d'un seuil au PK 14,5*, notice, 24 p. et annexes cartographiques (sous-dossiers A et B).
- CNR (2003) — *Étude de l'aléa inondation induit par les crues du Rhône et de la Saône* — Amélioration de la prévention et de la protection vis-à-vis du risque inondation sur le territoire du Grand Lyon.
- COMBE C. (2004a) — *Le risque d'inondation à l'amont de Lyon : héritages et réalités contemporaines* — Géocarrefour vol. 79 1/2004, p. 63-73.
- COMBE C. (2004b) — *Étude du risque de rupture de digue sur le territoire du grand Lyon. Constitution d'un SIG historique sur les digues du Grand Lyon* — Étude réalisée pour le compte du SNRS, Notice et annexes, Université Lyon 2, 150 p.
- COMBE C. (2002) — *Le Y Lyonnais, pour une approche historique et spatiale du risque en milieu fluvial urbain et périurbain* — Mémoire de DEA, Université Lyon 2, 50 p. + annexes et pochette atlas.
- COMBE C. (2001) — *La gestion du risque d'inondation en rive droite du canal de Miribel* — Mémoire de maîtrise de géographie, Université Lyon 2, 148 p. + annexes et atlas.
- DAUPHINÉ A. (2001) — *Risques et catastrophes, Observer-Spatialiser-Comprendre-Gérer* — Armand Colin, 288 p.
- JOLIVEAU T., BRAVARD J.-P., DUPUIS B., REDMAN C. et MEAGANC. (2003) — *Mapping land use change in a « river city »*. An opportunity for designing a comparative interdisciplinary approach and discussing a common conceptual framework in LTER — European-american workshop on long term socio-environmental research, Motz (France), 1-5 juillet 2003, communication.
- JOLIVEAU T. (2004) — Production et mutualisation de données. Questions et réflexions à propos du SIG historique du Y lyonnais — *Journée thématique de la ZABR. Les données pour la gestion des milieux aquatiques sur le bassin du Rhône. Quelle mutualisation entre scientifiques et acteurs opérationnels ?*, Charbonnières (69), Zone Atelier Bassin du Rhône. 7 p.
- JOLIVEAU T. (2004) — *Géomatique et gestion environnementale du territoire. Recherches sur un usage géographique des SIG* — Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences Humaines, Rouen, Université de Rouen, 2004, 2 vol. 504 p. + 1 vol. non paginé.
- LAGANIER R. (2002) — *Recherche sur l'interface eau-territoire dans le Nord de la France* — mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, 237 p.
- PIGEON P. (2005) — *Géographie critique des risques* — *Economica*, 217 p.
- Ponts-et-Chaussées (1857-66) — *Atlas du Cours du Rhône et de la Saône*, 1/10 000.
- SINTON J. (1999) — *Using GIS to assess change and persistence in land use : Philadelphia and Cologne*, 17 p.
- SINTON J. (2001) (dir.) — *Past time, past place. GIS for History* — ESRI Press, 202 p.
- SEGAPAL/SYMALIM (1997) — *Atlas du site de Miribel-Jonage*, 54 p.

### Remerciements

L'auteur tient à remercier le professeur Jean-Paul Bravard pour ses conseils avisés, ainsi que l'équipe du CRENAM pour son précieux soutien technique. Le projet « SIGéohistorique Y Lyonnais » a bénéficié d'un financement de la Région Rhône-Alpes dans le cadre du programme de recherche Emergence 2002.

## Partie 2

### La carte, produit du modèle





## 4 Cartographie de l'aléa inondation à Sommières (Gard, France)

Annick TEKATLIAN\* et Bruno LEDOUX\*\*

\*Centre d'Études Techniques du Ministère de l'Équipement Méditerranée (CETE) DHACE/Service Hydraulique, Pôle d'activité des Milles, CS 704999, 13593 Aix-en-Provence cedex 3

annick.tekatlian@equipement.gouv.fr

\*\*Consultant — Directeur adjoint du Syndicat du Vidourle (2004-2006)

ledoux.bruno@wanadoo.fr

**Résumé.** — Les inondations catastrophiques de septembre 2002 sur le bassin du Vidourle ont tout particulièrement touché la commune de Sommières. La ville étant depuis longtemps soumise aux Vidourlades, diverses opinions circulent au sein de la population sur les causes des débordements et sur les façons de s'en protéger. Afin de disposer d'une analyse précise et accessible au grand public sur ces questions, pour constituer dorénavant une référence incontournable, le Syndicat du Vidourle a confié au CETE Méditerranée une étude hydraulique. La carte — déclinée selon diverses modalités — est au cœur du rendu de cette étude et constitue l'instrument privilégié de communication des résultats vers les non spécialistes.

**Mots-clés.** — risques naturels, inondations, modélisation, cartographie, information des populations

**Title.** — *Flood hazard mapping in Sommières (Gard, France)*

**Abstract.** — The Vidourle catastrophic floods of 2002 had inundated large areas in Sommières. The town is very frequently flooded and people had many points of views about the factors that cause floods and about flood control. So, it was important to have reliable information about these issues. The CETE Méditerranée's hydraulic study supplies information about different levels of flood and about flood protection in Sommières. The outcomes are plotted on different kinds of maps. These maps are widely used for public information.

**Key-words.** — natural hazards, floods, hydraulic model, risk mapping, public information

### 4.1 Contexte et objectifs

La ville de Sommières, dans le Gard, est fréquemment gênée par les débordements du Vidourle qui traverse la ville.

Ces inondations suscitent de la part des collectivités et des riverains de nombreuses interrogations récurrentes, tant sur les causes des débordements (notamment le rôle éventuellement aggravant des aménagements existants) que sur les solutions envisageables pour limiter ces perturbations. Le Syndicat Interdépartemental d'Aménagement du Vidourle (SIAV), Établissement Public Territorial de Bassin, a confié au CETE Méditerranée une étude hydraulique sur cette commune, qu'il voulait à la fois opérationnelle et pédagogique. Cette étude s'inscrit dans le Plan Vidourle, programme d'action de prévention du risque inondation, retenu comme projet pilote national courant 2003 par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (SIAV, site Internet).

Elle répond aux objectifs suivants (Tekatlian, 2006) :

- caractériser la crue de septembre 2002, désormais crue de référence ;
- apporter des réponses définitives aux questions récurrentes sur le rôle des ouvrages présents dans le champ d'expansion des crues ;
- définir et dimensionner des aménagements destinés à réduire l'aléa inondation pour différents niveaux de crues ;
- élaborer un volet communication prévoyant des supports et deux réunions publiques.

Le contenu de l'étude se devait donc d'être pédagogique pour apporter une réponse claire aux uns comme aux autres. Par exemple, les types de crues étudiés ont été définis à partir d'une « hauteur à l'échelle » de Sommières, référence connue et ancienne pour les habitants, plutôt que par des valeurs de débits, qui font référence à un langage de spécialistes. Mais l'étude se devait aussi de produire des résultats opérationnels, en particulier quantifier l'impact des ouvrages existants et des projets d'aménagement. Ces deux aspects conduisent à élaborer des produits d'étude propices à une visualisation synthétique des résultats, accessible pour des non spécialistes, de manière à permettre la lecture directe des conclusions issues de ces résultats (le message) plutôt que la visualisation des objets qui composent le message. Les représentations cartographiques sont alors des outils privilégiés, d'autant plus utiles que les récents développements des Systèmes d'Information Géographique facilitent la représentation synthétique d'éléments géoréférencés.

Dans ce document, seuls quelques aspects de l'étude sont présentés : les principaux types de cartes élaborées, les contraintes et les cas spécifiques qui se posent aux échelles correspondantes. Les illustrations présentées sont souvent des extraits de cartes : les paramètres obligatoires des cartes,

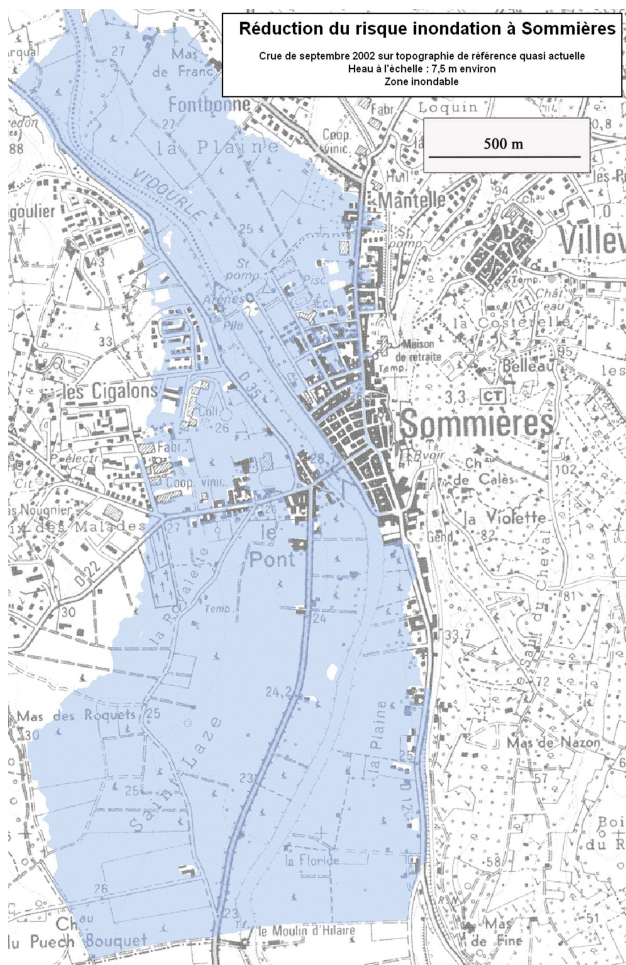


Fig. 4.1 modélisation de la limite de la zone inondée à Sommières lors de la crue de septembre 2002

comme la légende, l'échelle, le nord ou les coordonnées, ... ne sont pas nécessairement présents ou lisibles, ou bien ont été modifiés, pour servir l'illustration (CERTU, 2001).

#### 4.2 Détermination des éléments à cartographier

L'aléa inondation est une notion générique englobant plusieurs types de caractérisation de l'ampleur de la sollicitation hydraulique pour une crue donnée : hauteur d'eau, cote d'eau, vitesse d'écoulement, ... en valeur maximale atteinte au cours de la crue, ou bien en valeurs instantanées pendant une période de la crue. Globalement, les valeurs maximales sont utiles pour évaluer l'ampleur de l'aléa, qui conduit par exemple à l'élaboration de réglementations comme les PPR, tandis que les valeurs instantanées permettent d'apprécier le déroulement de la crue, ce qui est utile par exemple à l'élaboration des plans de secours. La limite de la zone inondable est aussi une quantification de l'aléa : cet élément est une donnée importante des PPR (MEDD & MELT, 1999). D'autres valeurs, calculées à partir des valeurs brutes de cotes d'eau et de vitesse d'écoulement, peuvent aussi caractériser un aspect de l'aléa inondation. Par exemple, la durée

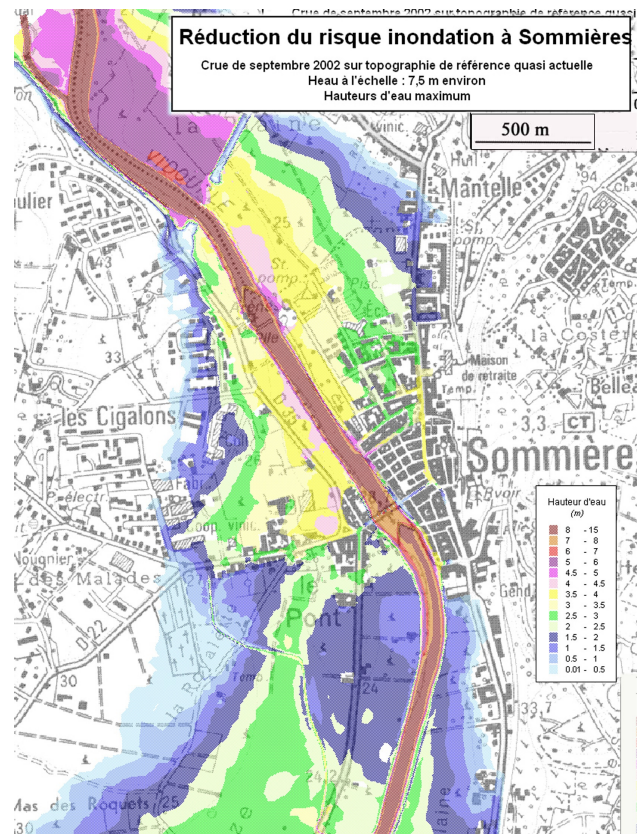


Fig. 4.2 Hauteur d'eau maximale atteinte au cours de la crue de septembre 2002

de submersion au cours d'une crue, qui varie en plan, ou le chronodatage de cette submersion (au bout de combien de temps, à partir du début de la crue telle route est inondée et pendant combien de temps).

Ainsi, la cartographie systématique de l'ensemble des grandeurs hydrauliques les plus courantes aboutit rapidement à une surabondance de cartes, néfaste à la visualisation claire des réponses aux questions. Il faut donc déterminer les éléments à cartographier à partir des objectifs de l'étude hydraulique (Tekatlian, 2004).

Mais ceci ne suffit pas : il faut aussi considérer la culture du lecteur potentiel de la carte, voire le format du support. Par exemple, pour apprécier le niveau de submersion, faut-il cartographier la cote d'eau ou la hauteur d'eau ? Dans le cas de l'étude de Sommières — où la population est très sensibilisée au risque inondation —, les rendus s'adressent principalement à des collectivités et à des riverains, c'est à dire à des utilisateurs des cartes qui, connaissant bien le terrain, son historique, voire la réglementation associée, sont très familiers de la notion de hauteur d'eau, alors que la notion de cote d'eau est plutôt familière aux hydrauliciens. C'est donc la destination de la carte qui définit les éléments à cartographier : le contenu du message (la réponse à une question qui matérialise un objectif de l'étude) et sa forme (son adéquation à la culture de ses utilisateurs).

Dans le cas de Sommières, les principaux éléments cartographiés, pour diverses crues de projets, sont les suivants :

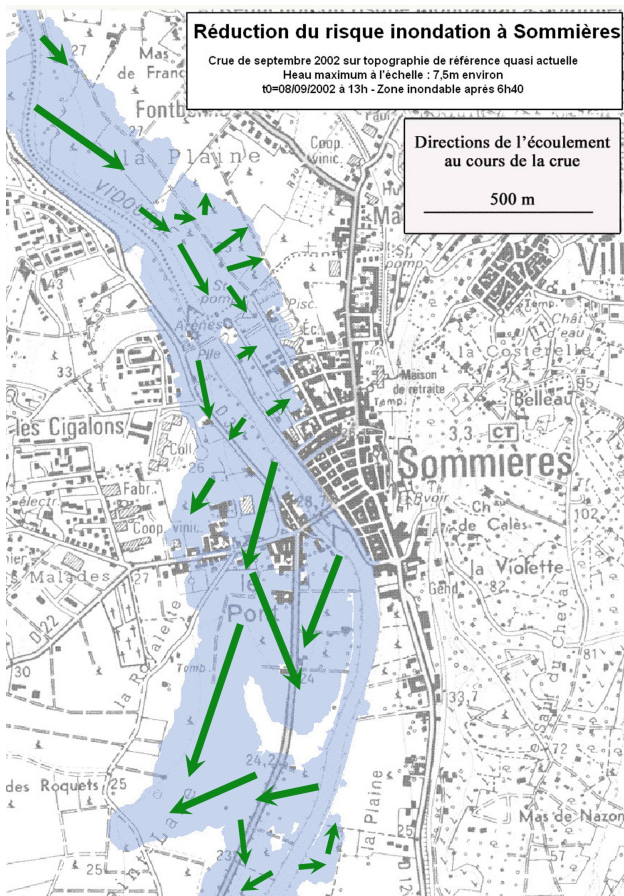


Fig. 4.3 Principales directions d'écoulement 6h40 après le début de la crue de septembre 2002

- La « limite de la zone inondable », terme qui correspond plutôt ici à la zone inondée calculée (figure 4.1 p. 34) : cette information permet de comparer cette limite à celle qui a été évaluée à partir de témoignages et photographies au lendemain de la crue pour en tirer la limite la plus appropriée à une réglementation. Pour certaines zones, la carte permet de confirmer par le calcul l'inondation potentielle, tandis que pour d'autres zones, la carte montre une différence entre calcul et constatations historiques.
- La hauteur d'eau et la vitesse d'écoulement maximale atteintes au cours de la crue (figure 4.2 p. 34) : la cartographie de ces grandeurs permet de repérer les zones de dégâts potentiels. Il faut remarquer que ces cartes ne correspondent à aucun instant de la crue : les grandeurs maximales sont atteintes à des instants différents, correspondant au temps de propagation de l'onde de crue.
- Les directions principales de l'écoulement débordant au cours de la crue de référence (figure 4.3 p. 35) : ce repérage, composé de plusieurs cartes correspondant chacune à un instant de la crue, est utile à l'élaboration des plans de secours.
- L'impact d'ouvrages existants et de projets d'aménagement, en terme de hauteurs d'eau et de vitesse d'écoulement

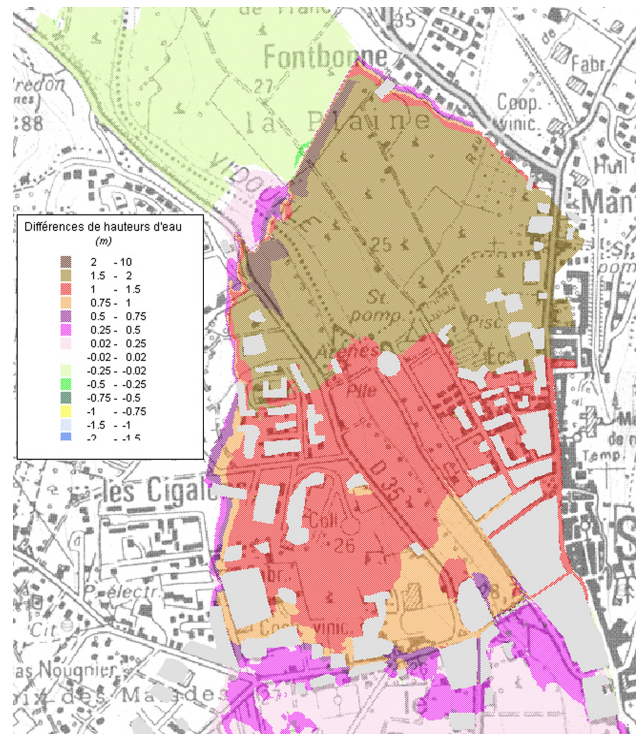


Fig. 4.4 Impact du pont de la RN 110 sur les hauteurs d'eau maximales atteintes au cours de la crue de septembre 2002

ment maximale, c'est à dire la différence de ces valeurs avec et sans l'ouvrage (figure 4.4 p. 35) : ces représentations tentent d'une part de répondre aux questions récurrentes sur l'influence des ouvrages existants, d'autre part d'évaluer l'efficacité de projets d'aménagements. D'autres cartes, ne répondant pas directement aux objectifs de l'étude, ont été élaborées, pour les besoins de présentation de la démarche ou de validation de la modélisation numérique. Il s'agit par exemple de la représentation des cotes d'eau maximales atteintes au cours de la crue de référence, calculées via le modèle numérique, et des cotes observées pour cette même crue, sur une même carte. Enfin, la cartographie de l'altimétrie du terrain est très utile dans les études hydrauliques : c'est un outil pédagogique qui permet de repérer les lieux des premiers débordements, les zones d'écoulement préférentiel des crues, ... via une interprétation géomorphologique du terrain. Ce type de carte permet aussi d'élaborer les premiers principes d'aménagements, dont l'efficacité est ensuite quantifiée via des calculs d'impact. Par exemple, un projet de réalisation d'une zone de stockage, destinée aussi à piéger les embâcles, a été situé dans l'intrados du méandre au nord de la ville : la carte d'altimétrie montre un point bas en rive gauche, en amont d'une zone assez étendue pour être susceptible de stocker un volume d'eau non négligeable (figure 4.5 p. 36).

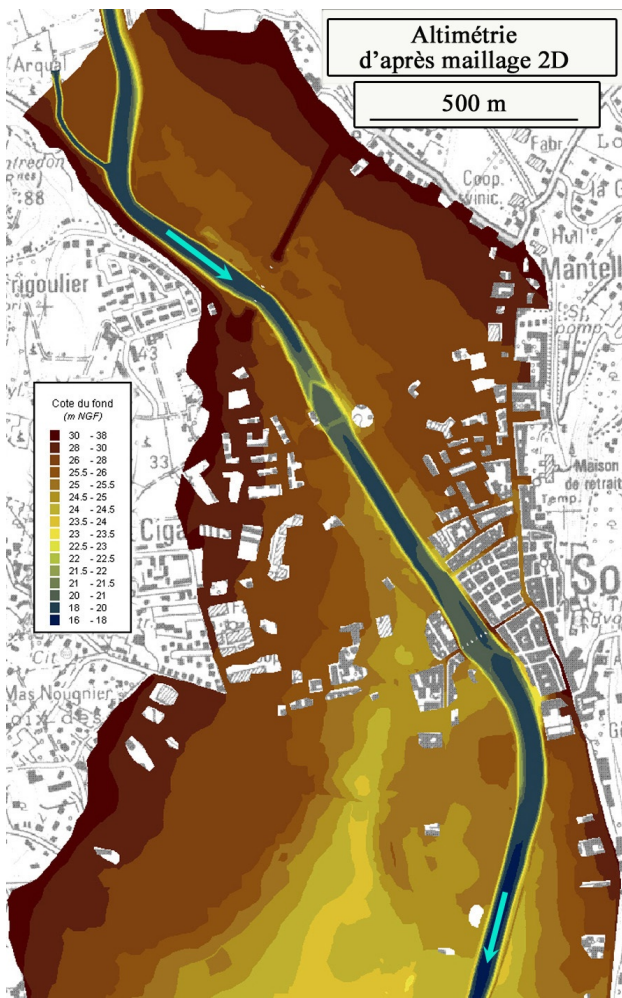


Fig. 4.5 Altimétrie de la zone d'étude

### 4.3 Détermination des éléments par carte — Lisibilité

La principale limitation dans le choix des informations à porter sur chaque carte est sa lisibilité.

Le fond de plan est le plus souvent nécessaire pour permettre le repérage de l'utilisateur à l'aide d'une représentation qui lui est familière. C'est pourquoi, malgré sa précision planimétrique grossière à l'échelle d'une commune, une image scannée du type des SCAN 25 de l'IGN est le plus souvent utilisée. Ce type de fond de plan permet aussi, s'il est dégradé en niveau de gris assez clairs, de préserver la lisibilité des cartes par rapport à des fonds de type orthophotographies. Certains des éléments qui ont été définis pour l'étude de Sommières pourraient être groupés sur une même carte sans pour autant dégrader sa lisibilité : par exemple la carte de la zone inondable calculée pourrait contenir la limite de la zone observée suite à la crue de septembre 2002, la position des repères de crue, ... (figure 4.1 p. 34 1).

Mais la plupart des cartes élaborées sont trop chargées d'informations pour contenir plus d'une grandeur hydraulique à la fois. Par exemple, la richesse des informations de hauteur d'eau maximale, cartographiée par tranche de hauteur de

0.5 m, ne permet pas l'ajout d'une information cartographiée supplémentaire (figure 4.2 p. 34).

Un exemple de problème de lisibilité posé dans l'étude sur Sommières est la représentation des directions d'écoulement autour d'un remblai en rive gauche du Vidourle pour lequel des projets d'aménagements ont été examinés. Pour des raisons de sécurité, il est important de connaître la manière dont l'ouvrage est sollicité au cours de la crue. Ainsi, sur la carte des vecteurs vitesse avant surverse, où la crête du remblai est délimitée par l'absence de couleur représentant une hauteur d'eau non nulle, on remarque que l'ouvrage est contourné par l'écoulement débordant qui remonte en arrière du remblai (figure 4.6 p. 37). Puis, lorsque le remblai est submergé, la direction locale de l'écoulement s'aligne sur celle de l'écoulement en lit mineur. Ici, la densité nécessaire des vecteurs vitesse qui constituent l'information est trop importante pour permettre l'utilisation d'un fond de plan, qui dégraderait la lisibilité de la carte. Dans ce cas particulier, l'absence de fond de plan n'est cependant pas utile compte tenu de la très grande échelle de la représentation.

### 4.4 Paramètres des cartes : échelle, légende, ...

L'importance de ces paramètres est principalement centrée sur deux aspects :

- faciliter l'interprétation,
- consigner les caractéristiques de l'origine des éléments représentés

Dans les études hydrauliques, le choix des classes de valeurs est influencé par le compromis entre finesse de l'information et lisibilité. Ceci conduit souvent à définir des classes extrêmes d'ampleur plus importantes que les classes centrales. Par exemple, pour l'étude sur Sommières et la crue de septembre 2002, les hauteurs d'eau ont été classées par tranches de hauteurs de 0.5 m jusqu'à 5 m (10 couleurs), l'écart étant porté à un mètre dans l'intervalle de 5 à 8 m (3 couleurs), une couleur étant encore à consacrer aux valeurs supérieures à 8 m.

Lorsque c'est possible, il est utile de représenter des classes plus fines : c'est ce qui est souvent pratiqué dans les études destinées à dimensionner les aménagements, pour lesquels des impacts inférieurs à la dizaine de centimètres ont souvent une influence sensible sur le coût des travaux.

### 4.5 Incertitudes

Les problèmes de cohérence planimétrique entre plusieurs éléments représentés, surtout si ces éléments sont placés sur une même carte, peuvent conduire à des débats complexes, compte tenu de l'importance d'enjeux comme la réglementation de l'occupation des sols.

Les principales sources d'incertitude sont les suivantes :

- précision altimétrique et planimétrique des données topographiques : quel que soit le type de modélisation hy-

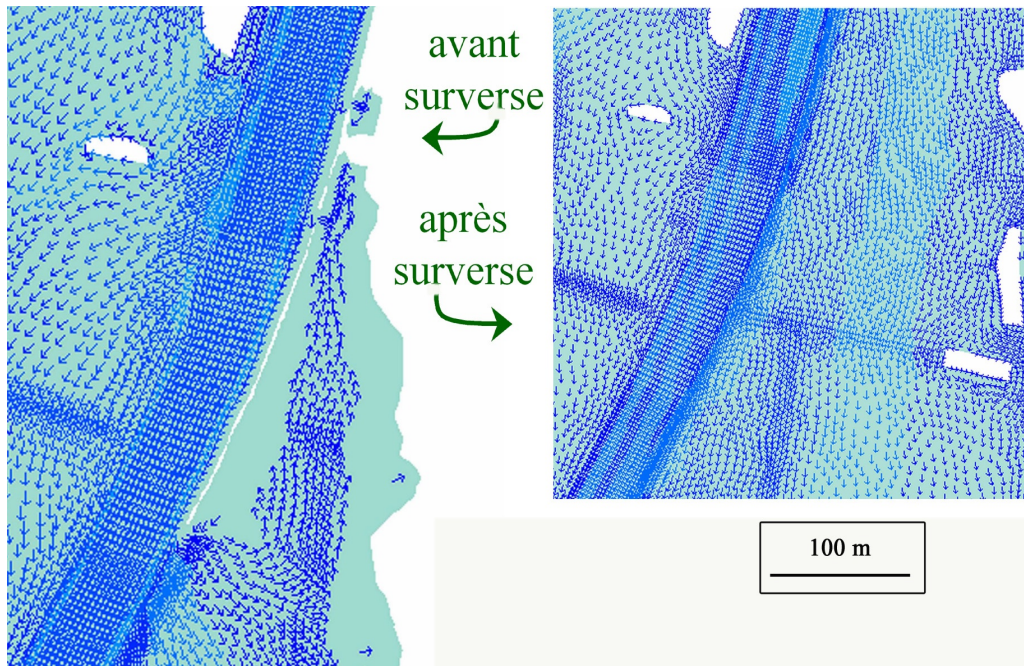


Fig. 4.6 Directions locales d'écoulement autour du remblai en rive gauche avant et après surverse

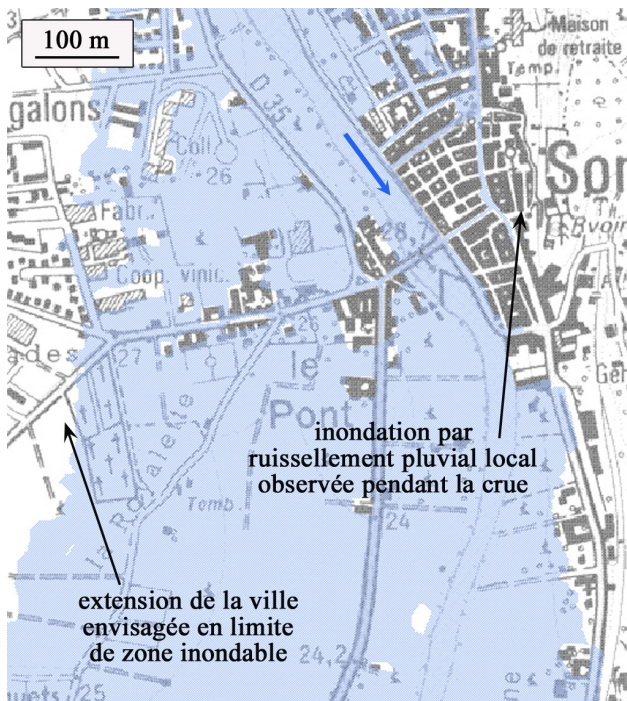


Fig. 4.7 limite de la zone inondée : modélisation dans le centre ville de Sommières lors de la crue de septembre 2002

draulique, les résultats sont directement influencés par cette précision, puisque la dynamique des écoulements est relative aux pentes et aux singularités géométriques du terrain. Le fond de plan est lui aussi réalisé à partir de données topographiques, dont la précision est souvent plus grossière que celle des données utilisées dans les calculs. Dans le cas de modélisations hydrauliques à

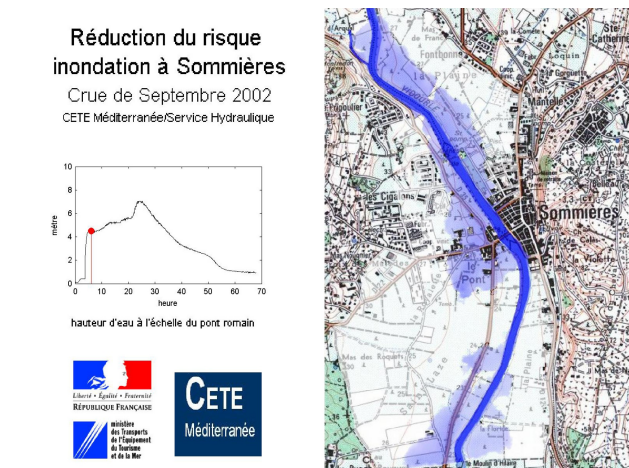


Fig. 4.8 Extrait du film vidéo présentant le déroulement de l'inondation modélisée au cours de la crue de septembre 2002.

moyennes et grandes échelles, ces dernières sont caractérisées par des précisions inférieures à 30 cm tandis que les fonds de plans de type SCAN 25 correspondant à des précisions planimétriques jusqu'à plusieurs dizaines de mètres (Tekatlian, 2001).

- précision des données hydrauliques : il s'agit par exemple du débit caractérisant une crue historique ou théorique, des coordonnées positionnant une « laisse de crue » (point observé lors d'une crue historique, utile au calage des modèles), ... : l'incertitude correspondante est très difficile, voire impossible, à quantifier.
- type de modélisation : toute modélisation, en simplifiant plus ou moins le terrain et la manière dont l'écoulement se propage, correspond à une erreur dite d'« idéalisa-

tion ». Pour Sommières, la modélisation hydraulique utilisée, dite « bidimensionnelle », schématise très finement le terrain et la propagation de l'écoulement à l'intérieur de la zone d'étude. Mais seul l'écoulement issu du débordement du Vidourle est pris en compte : la modélisation du ruissellement pluvial, encore à l'état de recherche, n'est pas encore utilisable dans le domaine opérationnel.

- approximations effectuées dans le post-traitement des résultats : les résultats de calcul sont représentés par classes de valeurs et positionnés sur une carte via une interpolation, souvent linéaire, d'un point à l'autre de calcul. Ceci revient à affecter aux points d'une carte des valeurs approchées des résultats de calculs, dont l'incertitude est plus ou moins importante en fonction de la densité planimétrique de ces résultats. Pour Sommières, l'approximation des post-traitements cartographiques est relativement faible dans la mesure où le nombre de points de calculs est élevé.

Ces différentes incertitudes influencent l'interprétation de résultats.

En effet, le premier réflexe des riverains et des collectivités est de rechercher la situation planimétrique des informations présentée par repérage sur le fond de plan.

Un exemple concerne la limite de la zone inondable : le PPR étant en cours de révision, les résultats de l'étude constituent l'une des sources pour la définition de la zone inondable la plus réaliste servant de base à la réglementation. La carte de la zone inondée modélisée a donc été à l'origine d'un débat. En particulier, il a été nécessaire d'expliquer que la zone inondable modélisée représente mal la réalité dans le centre ville ancien, en rive gauche, à cause de l'incertitude des données topographiques et du fait que le modèle hydraulique ne prend pas en compte l'inondation locale par accumulation de ruissellement pluvial. Ces mêmes incertitudes sont aussi à l'origine de la différence entre limite modélisée et limitée observée au cours de la crue en rive droite, où la commune envisage une extension de l'urbanisation (figure 4.7 p. 377).

Lorsque les problèmes issus de décalages en plan des éléments superposés sur une carte sont assez importants pour rendre la carte non utilisable, il est possible d'affiner les incertitudes planimétriques. Outre une amélioration des post-traitements, il est envisageable d'utiliser un fond de plan de précision planimétrique plus fine. Par exemple, les orthophotographies réalisées à l'occasion d'un survol photogramétrique sont caractérisées par une précision planimétrique aussi fine que les données topographiques des plans.

## 4.6 Conclusion

L'étude hydraulique élaborée sur la commune de Sommières est une illustration de l'importance du rôle des représenta-

tions cartographiques lorsque l'objectif de l'étude est à la fois opérationnel et pédagogique, avec une grande sensibilité des riverains au risque inondation.

Lors des deux réunions publiques, les réactions tant des élus que des habitants laissent entendre que les représentations graphiques des nombreux et différents résultats de l'étude ont été appréciées. La compréhension par le public d'explications de phénomènes complexes et de résultats parfois opposés aux « croyances » locales est certainement à mettre en grande partie au bénéfice de la production cartographique de l'étude. Ce double volet « restitution cartographique — vocation pédagogique des cartes » était dès l'origine un des attendus du cahier des charges.

Pour finir sur une pratique de communication utilisant des cartographies, récente dans le domaine opérationnel et très appréciée, précisons que des vidéos numériques ont été élaborées pour l'étude sur Sommières. L'un des films réalisés simule la propagation de la crue de septembre 2002 avec une seule couleur dont la densité augmente avec la hauteur d'eau. Cette visualisation « ludique » contient à elle seule des milliards d'informations hydrauliques (trois grandeurs hydrauliques en 87 000 points pour environ 140 000 pas de temps) et 93 cartes (figure 4.8 p. 37).

## 4.7 Bibliographie

- MEDD & MELT (Ministère de l'Écologie et du Développement Durable & Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement) (1999) — *Plan de prévention des risques naturels (PPR) — Risque inondation — Guide méthodologique* — Éditions La documentation française, Paris, 124 p.
- CERTU (Centre d'Études et de Recherche sur les Transports Urbains) (2001) — *Représentation cartographique — Guide méthodologique* — ed. CERTU, Lyon, 87 p.
- TEKATLIAN A. (2001), *Catalogue de techniques d'acquisition de données topométriques pour les études hydrauliques*, 74 p., sous la direction du Cetmef, publié sur le site Internet du Cetmef : [www.cetmef.equipement.gouv.fr/projets/hydraulique/clubcourseau/publications](http://www.cetmef.equipement.gouv.fr/projets/hydraulique/clubcourseau/publications)
- TEKATLIAN A. (2004), *Thème 8 — Représentation cartographique*, 56 p., dans Collectif, sous la direction du Cetmef, *Guide méthodologique pour le pilotage d'études hydrauliques*, publié sur le site Internet du Cetmef : [www.cetmef.equipement.gouv.fr/projets/hydraulique/clubcourseau/forum](http://www.cetmef.equipement.gouv.fr/projets/hydraulique/clubcourseau/forum)
- TEKATLIAN A. (2006) — L'aléa inondation en voie de réduction à Sommières — & *E Recherche Équipement*, n° 6, p. 36-37.
- SIAV (site Internet) — Plan Vidourle : projet pilote national, fichier Plan\_Vidourle.pdf téléchargeable sur le site du SIAV, [www.vidourle.org](http://www.vidourle.org)

## 5 Modèles hydrologiques et décisions politiques

Bertrand LEMARTINEL

*Médi-Terra, Université de Perpignan Via Domitia, 52, avenue Paul Alduy 66860 Perpignan Cedex*  
lemart@univ-perp.fr

**Résumé.** — Depuis une dizaine d'années, en raison des inondations récurrentes, les hydrologues, en particulier en Languedoc et en Roussillon, développent des modèles qui visent à prédire l'importance des débits et donc l'impact du flot à partir d'une évaluation des précipitations par imagerie radar. Sans vouloir minimiser l'utilité des remarquables travaux menés en ce sens, nous souhaiterions montrer que la prédiction — et son incertitude relative — comporte sa part de danger. En effet, elle peut conduire à des décisions guère plus appropriées que celles qui auraient été prises de manière empirique. En outre, d'autres modèles qui permettent, à l'aval, d'évaluer la submersion des plaines restent en fin de compte trop généralistes et laissent de côté les particularités dynamiques de chaque événement. Est-il logique, notamment, de prendre comme référence systématique l'*aiguat* de 1940 pour l'élaboration des scénarios, quand on voit la part d'originalité de chaque accident ? En nous appuyant sur quelques exemples choisis, nous tenterons de montrer qu'il serait sans doute intéressant de faire porter l'effort sur la simulation « sociale » des crises autant que sur leur modélisation physique, et de les intégrer plutôt que de les juxtaposer.

**Mots-clés.** — inondations, modélisation pluie-débit, modèles hydrauliques de transfert, scénarios hydrauliques, gestion des crises

**Title.** — *Hydrological models and political decisions*

**Abstract.** — About since ten years, because of the recurrent floods in Mediterranean area, hydrologists, especially in Languedoc and Roussillon, have developed models to improve the prediction of river discharges by evaluation of rainfalls from radar imaging and therefore the flood impact on the banks. We don't minimize this interesting research, but we will demonstrate that prediction — and its relative uncertainty — involves itself hazards. In fact, it can lead to decisions barely more appropriate than empiric choices. Besides, other models, which evaluate the flood level on the plains downstream, seem non-specialized and forget the dynamic characteristics of events. Particularly, it's not logical way to use systematically the « *aiguat* » of 1940 as reference to make flooding scenarios, when we observe

the original features of each accident. Using selected examples, we will demonstrate that it is necessary to concentrate one's effort on the social simulation of crisis as well as on the physical modelling, and it's better to integrate these approaches rather than dealing with them separately.

**Key-words.** — floods, rainfall and discharge modelling, hydrological scenarios, crisis management

### 5.1 Introduction

Les progrès de l'instrumentation météorologique, des moyens de calcul et des systèmes d'information géographique ont conduit au développement de modèles hydrologiques. Leur fonction est naturellement de faire progresser la connaissance du comportement des écoulements. Mais ces travaux ont aussi des applications pratiques qui n'ont pas échappé aux décideurs puisqu'ils permettent, dans une certaine mesure, de prédire les conséquences des pluies torrentielles qui régulièrement s'abattent sur les rives de la Méditerranée. En effet, l'anticipation est un atout politique qui autorise *a priori* une meilleure gestion des accidents. C'est pourquoi, non seulement les recherches en la matière sont financées, mais encore de lourds investissements sont aujourd'hui réalisés, qui se fondent sur les grandes espérances suscitées par la modélisation, qu'elle ait pour fins l'analyse à court terme ou l'évaluation prévisionnelle de l'aléa. Nous examinerons donc successivement les deux démarches, qui tendent à confondre le risque avec le fait de nature, pour essayer d'en montrer quelles en sont les incertitudes et donc les limites décisionnelles. Nous verrons enfin que le problème des interfaces entre nature et société, qu'il soit d'essence technocratique ou sociale, est trop souvent négligé en Languedoc et en Roussillon, alors qu'il mériterait au contraire d'être mis en pleine lumière.

### 5.2 Un lourd investissement dans la modélisation de l'urgence hydrologique

#### 5.2.1 Modèles de transformation pluies-débits et prévisions de crue

Depuis une dizaine d'années, de très gros efforts à la fois financiers et théoriques sont fournis pour perfectionner le système d'alerte des crues. La méthode mise en œuvre consiste à d'abord évaluer la quantité probable de précipitations à



partir d'une analyse de la masse nuageuse réalisée grâce à des radars météorologiques. C'est ainsi que le radar toulousain a été complété en Languedoc et en Roussillon par ceux de Bollène, de Nîmes et d'Opoul, au coût affiché de 1,65 millions d'euros l'unité (Parent du Châtelet, 2003). Ils permettent d'anticiper de quelques heures les mesures pluviométriques faites au sol. Le logiciel *CALAMAR*, développé par la DDE du Gard, fournit ensuite des valeurs du champ de pluie pour une grille régulière de maille kilométrique, donc plus dense que celle permise par l'appareillage traditionnel. Enfin, les observations permettent d'appréhender d'une manière satisfaisante l'hétérogénéité du champ de pluie à de brefs pas de temps

Les valeurs obtenues sont immédiatement versées dans un modèle de transformation pluie-débit. On notera en particulier, pour nos régions, les intéressants travaux qui ont abouti à la réalisation du logiciel *Alhtair* (**A**larme **H**ydrologique **T**erritoriale **A**utomatisée par **I**ndicateur de **R**isque). Ce type de logiciel utilise des fonctions de transformation de la pluie spatialisée en débit ruisselant, ainsi que des lois de propagation de l'eau précipitée vers les concentrateurs constitués par les bassins-versants d'un Modèle Numérique de Terrain, simplifiés et réduits à leur dimension hortonienne ; il renvoie les débits et les temps de propagation à l'exutoire ou, tout au moins, vers une station prédéterminée, par exemple Corbès ou Roucan sur les Gardons. Les simulations réalisées à partir de la crue de 1995 (DDE 30, 1999) montrent la validité de l'approche et l'intérêt de la méthode, puisque les débits calculés et réels s'avèrent proches les uns des autres. Ensuite, pour évaluer le risque d'inondation en chaque point, des courbes de tarage, pour autant qu'elles existent, permettent en principe de prédire les hauteurs d'eau qui peuvent être attendues sur les segments à risque des cours d'eau.

### 5.2.2 Les limites conceptuelles de la modélisation de l'urgence

Nous redisons ici tout l'intérêt scientifique de ces recherches. Il faut aussi en signaler les limites conceptuelles qui ont évidemment un impact sur leur opérabilité. Le premier problème est constitué par les différences mesurées entre l'évaluation des précipitations par le radar et celles relevées sur les pluviographes. Ainsi, lors des pluies cévenoles des 8 et 9 septembre 2002, les deux approches se sont caractérisées par des écarts maximaux d'intensité horaire qui pouvaient aller de 60 à 140 mm/h à Anduze, la valeur radar étant systématiquement minimisée ; on voit bien les répercussions que ce fait peut avoir en terme de prévision. Cette distorsion n'est pas seulement quantitative ; elle est aussi géographique. A. Marchandise (2003) montre que les centres de gravité des pluies radar et pluviographiques étaient, toujours en septembre 2002 et dans le même secteur, distants d'une dizaine de kilomètres. Il n'est pas certain que la mesure physique faite au sol soit plus correcte que celle produite par télé-détection, cette dernière s'avérant moins ponctuelle et donc moins sujette à accident. Mais il n'en reste pas moins que les notables différences font planer de fortes incertitudes sur les

valeurs injectées dans les mailles du modèle qui convertit les pluies en débit. En outre, dans les Corbières et pour une même maille située dans une zone de crête — donc plus arrosée — on a pu constater en 1999 d'étonnants contrastes morphogéniques témoignant de l'hétérogénéité du champ de pluie (Calvet M., Lemartinel B., 2002). Si, dans les grands bassins hydrographiques, ces phénomènes sont lissés par la taille des zones de réception, dans les plus petits, et c'est le cas en Languedoc et en Roussillon, ces incontrôlables variations ont des conséquences importantes et immédiates sur les écoulements.

Cet impact de la morphométrie ne se limite pas à celui qui s'exerce sur les fonctions de transfert. Il concerne aussi des lieux particuliers, quand il faut — pour déclencher à bon escient l'alerte aux crues — convertir le débit en hauteur d'eau. Les courbes de tarage, tout à fait efficaces pour les débits faibles et moyens représentent fort mal la réalité en cas de débits forts ou exceptionnels. En effet, les jaugeages qui seraient nécessaires à leur réalisation sont à peu près irréalisables durant des crues-éclair à la fois violentes et brèves. Cela est d'autant plus vrai que dans nos régions, la partie aval des fleuves s'écoule sur des plaines d'inondation et que le niveau de base fluctuant modifie de manière très sensible l'étalement d'une station : ainsi, en 1999, les basses pressions et les vents d'Est, qui ont pu drosser un navire, le *Danube Voyager*, sur la plage de Leucate, ont sensiblement relevé le niveau de la mer. Au total, la modélisation de l'urgence, malgré son coût fort élevé, repose sur des bases théoriques relativement fragiles.

### 5.2.3 Les limites pratiques, entre accidents et urgence « urgente »

On ajoutera qu'au-delà des limites conceptuelles, dont on peut imaginer qu'elles pourront être franchies grâce au progrès scientifique, existent des obstacles pratiques au fonctionnement opérationnel des modélisations prédictives. Il s'agit d'abord des éléments qui ne sauraient être aisément intégrés au modèle, sauf à le corriger en permanence. Nous pensons par exemple aux états de surface des sols, plus ou moins saturés, et donc plus ou moins imperméables au départ de l'événement, sans qu'il soit très aisé d'en évaluer la réalité tout au long d'un bassin-versant. D'autres aléas, comme l'a été en 1940 et sur le Tech le barrage accidentel de la Baillanouse, viennent perturber les écoulements. On nous dira, et c'est vrai, que les prédictions s'approchent très correctement des observations. Mais ce qui n'est qu'une erreur marginale au regard de critères scientifiques devient un problème majeur d'incertitude lorsqu'il s'agit d'en faire des outils de décision sociale. En effet, lorsque le risque majeur est avéré, point n'est besoin de connaissances très fines pour ordonner l'état d'alerte. La difficulté est surtout de le déclencher, alors que ses conséquences sociales et financières sont importantes, dans les cas-limite. En effet, des hauteurs d'eau très voisines, donc situées dans la marge de confiance des modèles, peuvent avoir des effets très différents suivant qu'elles débordent ou non les digues...

Un autre problème est celui de la réponse qui peut être faite à l'accident, fût-il parfaitement modélisé et anticipé par le calcul. Pierre Dartout, préfet des Pyrénées-Orientales durant l'événement des 12 et 13 novembre 1999, a remarquablement défini la question lorsqu'il a dit que « *Nous nous trouvions pendant un jour férié, prolongé par un pont et les services publics n'étaient pas organisés comme un jour normal* ». Lorsqu'on traduit cet élégant langage administratif dans notre langue quotidienne, on se rend compte que le haut fonctionnaire, bien qu'averti correctement par deux Bulletins Régionaux d'Alerte Météorologiques (BRAM) des services de Météo-France, et notamment par celui de 13 h 25, n'avait pas à sa disposition immédiate les troupes nécessaires pour faire convenablement face au danger. Dans ces conditions, on doit réellement se demander si l'amélioration du traitement des urgences ne viendrait pas plus d'une meilleure gestion des services de garde que l'amélioration de la prévision à court terme, pour laquelle a cependant été investi beaucoup d'argent. Cette gestion plus fine suppose aussi une meilleure connaissance des scénarios envisageables, en fonction d'un événement d'ampleur déterminée. C'est pourquoi, et la journée Géo-risques du 7 février 2006 l'a bien montré, se développent des stratégies qui se fondent de plus en plus sur des modélisations à long terme des aléas.

### 5.3 La modélisation prévisionnelle « long terme »

#### 5.3.1 La modélisation des submersions

Le but est évidemment de calculer très à l'avance les hauteurs d'eau prévisibles en un point en fonction de précipitations d'intensité déterminée. L'intérêt est évidemment de ne pas faire reposer les décisions sur un modèle hydrologique unique, de comparer les résultats pour chacun d'entre eux et de mieux cerner l'aléa en le cartographiant sur la base des valeurs calculées. On essaie aussi d'appréhender les vitesses probables du flot en chaque point de la zone atteinte par la crue. Les travaux en cours, par exemple à Sommières ceux du CETE Méditerranée et du SMI du Vidourle, ou en Roussillon, ceux de la DDE 66, montrent la vogue actuelle de cet angle d'attaque des problèmes d'inondabilité.

Il n'en reste pas moins que l'approche n'est pas forcément féconde. Il existe en effet un très grand nombre de modèles, entre autres :

- Cequeau (Morin, Paquet, Sochansky)
- Hydram (Polytechnique de Lausanne)
- Hydrotel (Fortin, Royer, Québec)
- Marthe (BRGM)
- Mercedes (IRD)
- ModCou (École Nationale Supérieure des Mines de Paris)
- ISBA-Modcou (*Id.*)
- Topmodel (Beven and Kirkby)

dont beaucoup ont été conçus dans une optique et/ou pour une zone géographique particulières, avant que d'être utilisés de manière généraliste. L'utilisation conjointe, comme BRLi la pratique dans l'initiative *Predict* n'est pas nécessairement porteuse de sens, et « *croiser toutes les informations géographiques d'un bassin-versant ou d'une commune avec tous les modèles hydrauliques et hydrologiques connus* » relève plus de l'affirmation de l'obligation de moyens que de la démarche scientifique. On ajoutera que la modélisation des inondations urbaines relève autant de l'état de la ville, en particulier du stationnement automobile à une heure et dans des lieux précis, de la situation des carrefours et des aménagements ponctuels, éminemment variables, que des forces naturelles mises en branle. On l'a bien vu dans le vieux centre de Nîmes en 1988 où l'écoulement a souvent pu être fonction des bouchons constitués par les empilements de voitures compressées ... Enfin, les lieux inondables ne le sont pas tous en fonction d'organismes fluviaux. Si les plaines du Languedoc et du Roussillon ne connaissent pas tout à fait les *sheet-floods* que nous avons pu observer en Arizona, il n'en demeure pas moins que des abats d'eau brutaux peuvent déclencher des écoulements en nappes en dehors de tout drain établi. Le plateau de Torremila, au NW de Perpignan, en fut en 1996 un très bel exemple.

#### 5.3.2 Méconnaissance des acquis et occupation des sols

L'investissement actuel — y compris financier — dans la modélisation « appliquée » a d'autant la faveur des élus qu'elle est une manière pour eux de signifier le manque d'informations dont ils souffrent ou estiment souffrir. Ainsi, le chef de projet *Predict* (BRL), Alix Roumagnac, se dit confronté à des « *élus qui se plaignent de ne pas avoir d'éléments pour prendre des décisions* » (*L'indépendant*, 5 janvier 2006). Certes, la modélisation est une des voies d'amélioration de la chaîne de décision. Mais il est sans doute excessif d'affirmer qu'il n'existe pas des études antérieures, des méthodes d'analyse et des expériences susceptibles de conduire à des choix en cas de crise hydrologique. Il est donc un peu facile de s'exonérer ainsi de leur méconnaissance. Depuis au moins quinze ans (Desailly, 1990), les travaux se sont vraiment multipliés en Languedoc et en Roussillon, notamment dans la sphère universitaire. Qu'ils n'aient pas été connus des décideurs peut mettre en cause la médiocrité et la difficulté de leur diffusion par leurs auteurs ; c'est un défaut assez commun de la recherche de ne point trop s'intéresser à la vulgarisation. Il n'en demeure pas moins qu'ils existent et documentent les événements passés (Vinet, 2003), fort instructifs pour réfléchir sur les avenir possibles des *aiguats*.

Naturellement, les obstacles opérationnels que nous avons décrits pour la modélisation se dressent aussi devant les expertises empiriques. En particulier, la rapide évolution de l'occupation des sols entre Nîmes et Argelès, depuis une vingtaine d'années, complique considérablement la prospective. Comment cerner correctement les conséquences hydrauliques d'un accroissement de population qui peut atteindre, comme à Lattes, 35 % entre 1990 et 1999 ? Dans l'aire ur-

baine de Perpignan, on compte chaque année 3 000 habitants de plus, essentiellement distribués dans des lotissements qui imperméabilisent les sols et perturbent le passage des eaux dans des zones à très faible pente. À cet égard, les modélisations des débordements tentées pour l'Agly maritime, malgré leur valeur intrinsèque, restent extrêmement théoriques (Paquier et Mignot, 2000) dans la mesure où elles sont très vite remises en cause par l'urbanisation galopante et la création de routes-digues. Dans ces conditions, les simples constats de terrain, aisément renouvelables, ont une réelle valeur et méritent toute l'attention des décideurs, ce qui n'est pas vraiment le cas. Comment ainsi comprendre que la zone d'écoulements en nappe du plateau de Torremila (cf. supra) bien connue par les travaux de Fourcade et Martinez (1997) soit maintenant une « zone UEb à vocation médicale » et qu'une extension de même nature soit prévue dans le PLU de Saint-Estève (zone 6NA) ? On se demande vraiment quel sens, de l'arrivée ou de l'évacuation de patients, sera privilégié en cas d'inondation majeure des rez-de-chaussée...

### 5.3.3 Des déplacements plus utiles à modéliser

Il est clair que, dans l'ensemble, on modélise beaucoup l'aléa et fort peu le risque, la coutume étant d'assimiler un peu facilement le dernier au premier, plus facile à cerner. La journée Géorisques 2006, qui a motivé cette communication, l'a prouvé de façon assez nette. S'il est intellectuellement très satisfaisant de bien connaître l'aléa, ce n'est peut-être pas l'entrée la plus pertinente si l'on a pour ambition de parer au danger. On tirerait au moins autant de profit de l'examen de la situation des personnes victimes des eaux débordantes et de la position des biens inondés, d'autant que les repères de crues de plus en plus nombreux, les déclarations de sinistre et d'accidents peuvent permettre une analyse assez fine des problèmes. On notera en particulier que « *les récentes inondations ont montré qu'une grande partie des victimes étaient sur la route pendant les événements (de 30 à 50 %).* » (DRM 66, site Internet) ; ce n'est pas pour autant que l'on en tire vraiment les conséquences. « *L'aiguat [de 1992] a provoqué 39 coupures de routes ou fermetures de gués. Ce recensement a permis de mettre en évidence la vulnérabilité du réseau routier face aux crues du Réart et de ses affluents. Les fermetures ont eu lieu entre 20 h, le 26 septembre et 3 h, le 27. Elles ont été réalisées de l'ouest vers l'est en suivant les intensités maximales des précipitations.* ». La question est de savoir si le comportement décisionnel doit s'ancrer sur l'enregistrement des intensités maximales de précipitations ou sur la connaissance des flux d'automobiles qui partent de Perpignan pour gagner — d'Est en Ouest ! — en les zones périurbaines de la vallée de la Têt, du Soler à Prades...

Si l'on souhaite valoriser une démarche scientifique en vogue, qui veut modéliser pour limiter les dangers, n'est-il pas plus profitable, sur la base de ce constat et en fonction des niveaux de crue répertoriés, de simuler les flux routiers plus que ceux des eaux, de façon à sécuriser — autant que faire se peut — les parcours automobiles ? Il ne suffit pas de

déclarer que « *la RN 9 bénéficie malgré tout d'un réseau de substitution grâce à l'autoroute* » quand l'accès à l'A9 est impossible et que les péages restent localement exigés pour des déplacements locaux. L'expertise en matière de circulation routière est pourtant un domaine dans lequel existent déjà des bases de données, de solides moteurs d'inférences et des modèles éprouvés. Par exemple, le centre de recherches en transports de l'Institut Polytechnique de Montréal (Canada) possède sur ces sujets une connaissance réelle, d'autant que les aléas climatiques pèsent lourdement sur la gestion de la circulation routière des grandes métropoles de ce pays. *Transports Québec*, qui s'écarte quelque peu de l'approche séquentielle classique, préconise une modélisation « origine-destination » qui essaie de définir le chemin optimum en fonction des cas de figure qui se présentent. Il nous semble — même si nous ne sommes pas spécialiste de ce genre de problème — qu'il y a là une opportunité de gestion de crise : il n'y a pas que l'eau qui circule en cas de précipitations intenses. On éviterait en tout cas de se trouver devant la situation du dimanche (encore un dimanche !) 29 janvier 2006 à Perpignan, où les panneaux (entrée Ouest) indiquant les routes barrées se trouvaient à l'endroit même des débordements, obligeant les automobilistes à de dangereux demi-tours en pleine voie et créant un regrettable désordre. Mais pour l'administration concernée, il s'agissait moins, sans doute, de gérer une crise que de s'exonérer d'une responsabilité en cas d'accident. La question, au final, est donc bien celle des interfaces décisionnelles et des modèles implicites d'intervention, plutôt que celle de la modélisation de l'aléa, d'ailleurs prise pour celle du risque.

## 5.4 Le problème des interfaces

### 5.4.1 Les défauts du modèle d'intervention technocratique « descendant »

Cette confusion, comme le choix de largement faire reposer la décision sur la modélisation hydrologique, résulte d'abord d'une conception très, trop technocratique de la gestion des crises. La tradition française est en effet celle de la « culture d'ingénieur », ce qui explique sans doute, et le choix de faire surtout reposer la prévision sur des bases mathématiques, et celui d'appuyer l'action des accidents sur une intervention hiérarchique descendante qui privilégie la compétence technique. En outre, et c'est aussi très français, les ministres et les préfets, le plus souvent anciens élèves d'une grande école d'administration s'appuient sur de hauts fonctionnaires de l'Équipement, généralement anciens élèves des grandes écoles d'ingénieurs, et leur confient en retour l'organisation fonctionnelle des secours. Les organigrammes descendants des plans d'intervention, dans lesquels la population, considérée comme sujet plus que comme acteur, occupe une case en bas de tableau sont à cet égard significatifs. Parfois, les communes prennent en main les procédures d'alerte ; ainsi, Saleilles (Pyrénées-Orientales) a mis en place un système d'alerte téléphonique informatisée couplée à un

système d'information géographique développée par la société *Médi@Sig*. Mais cette démarche reste relativement marginale et s'avère encore très caractéristique des de l'habitude qui consiste à privilégier une solution technique : il n'est en effet pas certain que le « décroché » téléphonique soit réalisé par la personne à informer plutôt que par les automates de réponse que multiplient les opérateurs de télécommunications pour optimiser l'occupation et la rentabilité de leur réseau.

Nous ne nions pas ici, pas plus que nous n'avons récusé l'intérêt d'une approche hydrologique, l'utilité d'un État et de d'administrations solides capables de mettre en route un appareil solidement structuré. Ils font la différence entre les catastrophes et les drames trop connus des pays pauvres. Il est aussi patent que de considérables progrès ont été réalisés depuis 1988 : la catastrophe de Nîmes semble avoir été un révélateur des faiblesses nouvelles de notre région. Par exemple, le groupe électrogène de secours de la DDE 66, dont le bâtiment est dans l'aire inondable du quartier du Vernet, a été assez récemment sécurisé. Les procédures de gestion du transport scolaire en cas de crise ont été singulièrement améliorées. L'évacuation des lotissements menacés vers des lieux d'accueil appropriés se fait avec bien plus d'efficacité. Mais les structures précitées ne suffisent sans doute pas, quand l'ensemble de la population n'a pas une idée claire des conduites à tenir en cas de crise. Ni l'information, ni l'éducation aux risques n'ont atteint le niveau voulu. Certes, il existe des missions académiques dévolues à cette question ; mais elles touchent encore une fois les directeurs d'école ou les enseignants, c'est à dire des fonctionnaires d'État, plus que la masse des gens. On est loin des systèmes organisationnels observables aux États-Unis, et notamment en Californie, où les conduites à tenir, et pas seulement d'un tremblement de terre, font l'objet d'un enseignement et de rappels nombreux, jusque dans les annuaires téléphoniques. Pourquoi les pratiques éprouvées, en France même dans les départements d'Outre-mer, ne pourraient-elles pas être adaptées en métropole et bien évidemment en Languedoc et en Roussillon, où les précipitations sont proches des records mondiaux enregistrés sous les Tropiques (Julian, 1993) ?

#### 5.4.2 Le problème politique : la lutte contre l'événement de référence

Lorsqu'un effort de communication est fait en direction des citoyens, le plus souvent par les élus en quête de voix, un autre travers apparaît : c'est la référence à un événement particulier, pris comme modèle, qui sert de base aux décisions politiques. Ainsi, dans les Pyrénées-Orientales, on renvoie toujours à l'*aiguat* pluri-centennal de 1940, qui n'est sûrement pas le meilleur critère pour préparer une défense contre les eaux. Certes, il parle à l'importante masse des électeurs âgés d'un département vieillissant, mais il est aussi atypique, par son excès, des accidents récurrents contre lesquels on peut raisonnablement tenter de se prémunir. Enfin, si la plupart des édiles ont acquis depuis vingt ans une solide culture hydrologique, il en reste pour penser qu'une

crue bi-centennale intervenue 1940 ne se reproduira qu'aux alentours de 2040...

Dans un autre sens, la tentation est visible de faire appel à la mémoire récente, pour toucher au contraire les populations nouvellement installées et annoncer aux électeurs que sont entrepris des travaux qui les protégeront contre la crue et les plus fortes inondations des années passées, en pratique les vingt dernières. Les statistiques montrent hélas qui se protéger contre la plus forte inondation connue des vingt dernières années conduit à avoir 18% de chances d'obtenir un dimensionnement supérieur à une crue plus que centennale (Gourbesville, 2005). Une digue elle-même conçue pour contenir le flot d'une crue centennale n'a que 65 % d'être vaincue dans les cent années suivantes (Goutx, Mériaux et Tourment, 2005). On comprend bien, dans cette perspective, que le lourd engagement financier que supposent ces défenses n'est guère optimisé par des choix qui seraient ou qui sont opérés sur la base d'un événement de référence. On peut naturellement imaginer que la sphère politique est conseillée par la sphère technico-administrative que nous avons évoquée plus haut, et qu'au final, les décisions politiques sont tempérées par la limitation des crédits d'une part et l'expertise théorique et pratique des ingénieurs qui les mettent en œuvre. Ce n'est pas toujours le cas.

#### 5.4.3 Le problème du suivisme technico-politique

On constate en effet que les bureaux d'études suivent parfois le choix « politique » de l'événement de référence. Par exemple, le 22 septembre 2004, *l'Indépendant* de Perpignan annonce que le CIEE de Montpellier exécute une commande départementale « portant sur la simulation d'une crue exceptionnelle type *aiguat* de 1940 ». Il est clair que ces organismes, qui vivent des commandes publiques ne peuvent adopter des postures trop différentes de celles des donneurs d'ordre. On le voit aussi pour des administrations qui attendent des subides pour fonctionner et doivent une partie de leur activité au commandes des élus, même si aucun subdivisionnaire ne tient ouvertement des propos aussi subversifs. En la matière, la décentralisation n'a pas eu que des effets positifs. En mettant un certain nombre de leviers financiers entre les mains des collectivités locales, on a pu prendre des risques.

Paradoxalement, le service RTM des Pyrénées-Orientales qui n'a pas une réputation de grande docilité à l'égard des élus, s'est aussi engagé dans la voie du suivisme et de l'événement de référence. Ainsi, le même *Indépendant* du 27 septembre 2005 relatait une réunion publique dans laquelle « *Éric Chojnaki, technicien des plans de prévention auprès du RTM informait l'assistance sur la méthodologie de l'étude qui a conduit à fixer l'aléa de référence pour la détermination du plan de zonage... à savoir la dramatique crue torrentielle de 1940* ». Mais en l'occurrence, il s'agissait plutôt de retourner une pratique contre ses auteurs politiques pour se « couvrir » en cas de débordement du Tech ; cela n'a pas manqué de provoquer le mécontentement d'Alexandre Reynal, maire d'Amélie-les-Bains-Palalda, conseiller général, pour qui s'avèrent inacceptables et irrecevables les options maximalistes retenues,

« la modélisation du RTM [n'intégrant] pas les travaux conséquents (digues, déroctages, etc.) réalisés depuis le 17 octobre tragique ». Cela montre à quel point, derrière les modèles, sont les jeux d'acteurs.

Au final, on retiendra que la mesure instantanée par radar des précipitations et la modélisation hydrologique qui s'y attache peuvent sembler une voie scientifique de gestion des crises, parce qu'elle donnent à mieux connaître l'aléa : cela explique son prestige toujours grandissant. La démarche est bénéficiaire des formidables progrès du calcul informatique et profite donc d'une image méritée de modernité — qui plaît aux élus — et d'objectivité, qui convient aux ingénieurs et administrateurs des grands corps de l'État. Mais cela se fait en partie au détriment de l'analyse des vulnérabilités et du risque proprement dits, qui sont bien plus qu'un problème hydrologique. D'autres modélisations, qui ne sont pas exclusivement fondées sur l'aléa comme celle, tout à fait cruciale, des déplacements en temps d'inondation, sont réalisables. Elles peuvent aussi donner lieu à prévention et pas seulement à une floraison de panneaux routiers indiquant dans l'instant les coupures du réseau... L'espace construit et vécu, fait structurel, a en effet un fort impact sur l'accident que représentent les pluies et les crues. On constate aussi que les modèles choisis font aussi partie du jeu d'acteurs qui organisent les territoires : il est prudent de ne pas leur conférer un statut particulier dans la chaîne décisionnelle. Enfin, puisque jeux d'acteurs il y a, il convient de ne pas oublier la modélisation sociale. Quand on regarde les interactions dans les processus organisationnels, on remarque sans trop de mal la place mineure dans laquelle est tenue dans nos régions la société civile, plutôt mal préparée à subir les problèmes que nous venons d'évoquer. La répétition des drames que nous avons connue en Languedoc et en Roussillon devrait nous inciter à nous intéresser à ces questions, comme commence à le faire l'initiative *Predict* de la BRLi : le soin d'une maladie suppose, en fin de compte, que l'on oublie pas le malade.

## 5.5 Bibliographie

- BRLi, Cemagref (2002) *Étude hydrologique de l'Agly, de Rivesaltes à la mer, tome 1, hydrologie, hydraulique et scénarios d'aménagement*, Rapport d'étude pour la DDE 66.
- CALVET M., LEMARTINEL B. (2002) — Précipitations exceptionnelles et crues éclair dans l'aire pyrénéo-méditerranéenne. *Géomorphologie, relief, processus, environnement*, n° 1, p. 35-50,
- DESAILLY B. (1990) Crues et inondations en Roussillon : le risque et l'aménagement fin du XVI<sup>e</sup> siècle au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, Thèse NR, Géographie, Université Paris X Nanterre, 352 p.
- DDE 30 (1999) *ALHTAIR, Rapport sur l'élaboration et l'état d'avancement au sein du SAC 30*, Direction Départementale de l'Équipement du Gard, 17 p.
- DIREN (2004) *Analyse et synthèse des principales caractéristiques du bassin versant déterminant le fonctionnement hydrologique des cours d'eau : les cas du Vidourle, du Vistre et du Rhony*, Rapport d'étude, 26 p.
- DRM 66 (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS 66) site internet : [www.risques-majeurs66.com](http://www.risques-majeurs66.com)
- FOURCADE P., MARTINEZ L. (1997) *Les inondations par le réseau hydrographique local*, Mémoire de Maîtrise, Perpignan
- GOURBESVILLE Ph. (2005), *Gestion de l'eau et géographie : concepts, méthodes et hydro-informatique*, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, volume « original ».
- GOUTX D., MÉRIAUX P., TOURMENT R. (2004) Conception hydraulique des déversoirs et des endiguements de protection contre les inondations Actes de Colloque « sécurité des digues fluviales et de navigation » CFGB ; MEDD, 25 et 26-11-2004, Orléans, p. 531-550
- GRELOT F. (2004) *Gestion collective des inondations : peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?* Thèse de Doctorat École nationale supérieure d'arts et métiers, Paris, 177 p.
- JULIAN M. (1993) Problème du temps de retour des crues catastrophiques ; temps de retour et prise en compte, in *L'aiguat del 40 : les inondations catastrophiques et les politiques de prévention en Méditerranée nord-occidentale*, Generalitat de Catalunya, Barcelone, 484 p.
- LEQUIEN A. (2003) *Analyse et évaluation des crues extrêmes par modélisation hydrologique spatialisée. Cas du bassin versant du Vidourle*, Mémoire de DEA, 61 p.
- MARCHANDISE A. (2003) *Analyse et modélisation hydrologique de l'événement exceptionnel des 8 et 9 septembre 2002 sur le bassin versant du Gardon d'Anduze*, Mémoire de DEA, 71 p.
- MEDD (2002) Inventaire cartographique des inondations des 8 et 9 septembre 2002 ; analyse de la pluviométrie sur le bassin versant des Gardons  
[www.languedoc-roussillon.environnement.gouv.fr/risques/gard\\_2002/gardons/rapport/pluvio.html](http://www.languedoc-roussillon.environnement.gouv.fr/risques/gard_2002/gardons/rapport/pluvio.html)
- NEPPEL L. (2003) *Analyse de l'épisode pluvieux du 08 et 09 septembre 2002*, Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, Direction de la prévention des pollutions et des risques, 27 p.
- PAQUIER A., MIGNOT E. (2000) *Potentialités et limites de la modélisation hydrodynamique bidimensionnelle pour la détermination des zones inondables*. Rapport MEDD et Action Concertée Incitative « Prévention des Catastrophes Naturelles » soutenu par le MENRT. 6 p.
- Parent du Châtelet (2003) Aramis, le réseau français de radars pour la surveillance des précipitations *La Météorologie* — n° 40, p. 44-52
- Préfecture de l'Aude (2002) Inondations 1999 ; trois ans après, *La lettre du Préfet*, 4 p.
- VINET F. (2003) Crues et inondations dans la France méditerranéenne. Les crues torrentielles des 12 et 13 novembre 1999, Nantes, Éditions du temps, 224 p.

*N.B. : Après la réalisation de cet article, s'est tenu, sous l'égide de la Société Hydrotechnique de France, un colloque « Valeurs Rares et Extrêmes de Précipitations et de Débits ; pour une meilleure maîtrise des Risques » Lyon, 15-16 mars 2006, dont les communications développent certains points de ce papier.*



## 6 La vulnérabilité des réseaux routiers urbains face aux risques d'altération

Manuel APPERT\* et Laurent CHAPELON\*\*

\*Maître de conférences, Université Lyon 2, UMR 5600

\*\*Professeur, Université Montpellier III, EA 3766 GESTER

17 rue Abbé de l'Épée, 34090 Montpellier

laurent.chapelon@univ-montp3.fr

**Résumé.** — Les réseaux routiers urbains assurent une desserte quasi continue par imbrication généralisée d'axes de concentration et de voies capillaires. Cette organisation, en partie à l'origine de l'attrait pour l'usage de l'automobile, expose aussi davantage les réseaux routiers interconnectés aux risques de paralysie. Cet article vise à montrer en quoi la hiérarchisation/polarisation des réseaux peut accroître leur vulnérabilité au regard de l'accessibilité des territoires desservis. En postulant que le réseau ne répond pas de la même manière à l'apparition d'un risque selon qu'il survienne sur tel ou tel de ses liens, nous évaluerons pour chacun d'eux l'impact de leur paralysie. Nous interrogeons donc la structuration hiérarchique des réseaux en nous demandant s'il existe des prédispositions à la vulnérabilité (morphologie), si elles sont amplifiées par la hiérarchisation technique (qualité des infrastructures) et si elles sont influencées par le fonctionnement différencié des voies (congestion).

**Mots-clés.** — vulnérabilité, réseaux, accessibilité, Montpellier, risque, indices, graphe

**Title.** — *Vulnerability of the urban highway networks*

**Abstract.** — The urban road network provides spatial access to the city through an overlapping hierarchy, ranging from highways to local access streets. This pattern of network organisation has led to an increased propensity to vulnerability, exposing parts of the city to sharp decreases in accessibility when traffic blockages occur on the main links or at junctions. Our aim is to define road network vulnerability and to measure the road network's exposure to risk. We postulate that the network morphology, structure and level of congestion can be influencing factors for overall road network vulnerability.

**Key-words.** — vulnerability, networks, accessibility, Montpellier, risk, indices, graph

### 6.1 Introduction

La ville subit actuellement de profondes mutations liées es-

sentiellement à l'évolution des rythmes de vie qui induisent de nouvelles pratiques de déplacement (allongement des distances quotidiennes, déstructuration des horaires de travail, multiplication des activités de loisirs...). Ces nouvelles pratiques ont été rendues possibles par l'adaptation des réseaux et services de transport. Les réseaux routiers urbains occupent une place particulière dans l'organisation de la ville. Véritable appareil circulatoire, ils assurent une desserte fine du territoire urbanisé. Les usagers profitent en effet d'une desserte quasi continue par imbrication généralisée d'axes de concentration et de voies capillaires.

Cette imbrication, en partie à l'origine de l'attrait pour l'usage de l'automobile, expose aussi davantage les réseaux routiers interconnectés et interdépendants aux risques de paralysie (phénomènes de saturation, accidents, sensibilité aux événements climatiques comme de violents orages, glissements de terrain...). Tant que les réseaux routiers urbains restaient homogènes, le risque était diffus, moins aigu. En revanche, l'apparition des réseaux rapides s'est traduite par une polarisation accrue. Or, la concentration des trafics sur une faible proportion du réseau peut s'avérer pénalisante. Les blocages deviennent vite des paralysies coûteuses pour la collectivité. Ces situations sont d'autant plus graves que les réseaux présentent des prédispositions morphologiques, qualitatives et fonctionnelles à la vulnérabilité.

Avec la pression circulatoire et l'évolution technique, la ville s'est donc dotée d'infrastructures routières de plus grande capacité et plus rapides, qui viennent se superposer comme élément primaire d'une nouvelle hiérarchie séparant les trafics selon leur portée spatiale. Les voies rapides urbaines (VRU), d'accès limité, prennent en charge le transit urbain alimenté par les routes distributrices qui collectent les trafics locaux depuis les plus fins capillaires. L'usage des VRU permet une amélioration substantielle de la vitesse de déplacement au prix d'un allongement de la longueur de l'itinéraire polarisé par quelques grands axes. De plus, les niveaux élevés de trafic engendrés par ces modifications de l'offre sont devenus difficilement gérables dès que la circulation sur le réseau rapide se grippe. Il s'ensuit une réaffectation intolérable sur des zones qui ne sont pas destinées au transit urbain (insécurité, bruit, pollution conduisant à la dégradation de la qualité de vie). Cela se traduit par une vulnérabilité accrue du réseau et plus largement par une dégradation de l'accessibilité des territoires desservis.

Cet article vise à montrer en quoi la hiérarchisation/polarisation des réseaux peut accroître leur vulnérabilité



au regard de l'accessibilité des territoires desservis. En postulant que le réseau ne répond pas de la même manière à l'apparition d'un risque (structurel ou accidentel) selon qu'il survienne sur tel ou tel de ses liens, nous évaluerons pour chacun d'eux l'impact de leur paralysie. Nous interrogerons donc la structuration hiérarchique des réseaux en nous demandant s'il existe des prédispositions à la vulnérabilité (morphologie), si elles sont amplifiées par la hiérarchisation technique (qualité des infrastructures) et si elles sont influencées par le fonctionnement différencié des voies (congestion).

Pour cela, nous présenterons un indicateur de vulnérabilité du réseau qui traduit la perte d'accessibilité globale subie par le territoire suite à la suppression de chacun des liens ou des nœuds individuellement. Ainsi, plus l'écart par rapport à la situation de référence (réseau complet) sera grand, plus le lien ou le nœud jouera un rôle stratégique dans la desserte du territoire et plus sa suppression accroîtra la vulnérabilité du réseau. Pour le calcul de cet indice, trois mesures d'accessibilité sont retenues afin d'évaluer globalement le poids des trois facteurs explicatifs avancés précédemment : morphologie, qualité et congestion du réseau.

Le réseau est modélisé par un graphe valué. Les calculs sont opérés par le logiciel NOD© (Chapelon, 1993-2007) et les résultats cartographiés sous forme d'arcs proportionnels (logiciel MAP©, L'Hostis, 1993-2007). Les hypothèses et la méthode d'évaluation seront testées sur le réseau routier de la ville de Montpellier (Hérault, France).

## 6.2 Mesurer et cartographier la vulnérabilité des réseaux routiers

### 6.2.1 Une démarche centrée sur l'offre de transport et l'accessibilité

La vulnérabilité a déjà été définie par certains chercheurs dans une perspective plus large, y compris à travers la question de la sécurité. En nous concentrant sur la vulnérabilité du réseau du point de vue de sa capacité circulaire, nous rejoignons les préoccupations et conclusions de Berdica (2000, 2001, 2002), Goodwin (1992), Taylor (1999), dans la mesure où « un besoin de caractérisation générale des réseaux routiers pour mieux connaître leur propension à dysfonctionner<sup>1</sup> » se fait sentir (Taylor, 1999). Notre objet n'est pas de quantifier les conséquences des risques sur un espace donné, mais d'évaluer l'offre de transport — les itinéraires possibles entre les nœuds sur un réseau — de façon systématique par une approche théorique et quantitative de la vulnérabilité. L'utilisation de la notion de vulnérabilité semble plus adaptée que la notion de « fiabilité » (Taylor, 1999) pour l'évaluation de l'offre de transport. En effet, la vulnérabilité est uniquement « relative aux conséquences du blocage des liens et ne tient pas compte de la probabilité

de blocage<sup>2</sup> » (Taylor, 1999), ce que la notion de fiabilité intègre (Berdica, 2002).

Dans la perspective d'identifier et de mesurer les altérations de l'offre face aux risques, il est nécessaire de décrire la performance du réseau routier (infrastructures et niveau de service) du point de vue de l'accessibilité offerte aux usagers (Berdica, 2002). La performance peut ainsi être définie de façon spécifique selon plusieurs critères : longueur des trajets en kilomètres, temps de parcours, etc. La notion d'accessibilité est celle qui selon nous permet le mieux de couvrir cette dimension du service offert par la route. L'accessibilité est à la fois « la capacité fondamentale d'un système à vous transporter de votre lieu de départ vers votre lieu de destination, au moment où vous le souhaitez [...] et qui rend le déplacement réalisable et utile<sup>3</sup> » (Goodwin, 1992) et la plus ou moins grande facilité avec laquelle ce déplacement peut s'effectuer. Ainsi, « l'accessibilité ne renvoie pas uniquement à la seule possibilité d'atteindre ou non un lieu donné, mais elle traduit la pénibilité du déplacement, la difficulté de la mise en relation appréhendée le plus souvent par une fonction décroissante des distances entre les lieux » (Bavoux et al., 2005).

La vulnérabilité du réseau routier est alors « sa sensibilité aux incidents, laquelle se traduit par une détérioration considérable de l'accessibilité<sup>4</sup> ». Ces incidents (accident, travaux, inondation, glissement de terrain...) peuvent être plus ou moins prévisibles, provoqués volontairement ou involontairement par l'homme ou la nature. La vulnérabilité est déterminée par la gravité absolue d'un incident et par les conséquences relatives de son occurrence sur une infrastructure ou un service. Quelle que soit la nature de l'incident, ce sont les deux éléments constitutifs des réseaux techniques, les liens et les nœuds, qui sont potentiellement source de dysfonctionnements.

Les recherches sur l'évaluation de la performance des réseaux de transport ont permis d'identifier plusieurs composantes susceptibles d'influencer les niveaux d'accessibilité (Chapelon, 2006, Appert & Chapelon, 2003). Il s'agit notamment de composantes liées à la morphologie du réseau (agencement, pente et sinuosité des voies), à sa qualité (nature des voies) et à son fonctionnement (conditions de circulation) (figure 6.1 p. 49). Comme nous le verrons par la suite, selon la valuation de la distance choisie et la façon de la calculer, les indices de vulnérabilité permettront de rendre compte de ces différentes composantes.

### 6.2.2 Modélisation des réseaux par les graphes

Les réseaux sont modélisés à l'aide de graphes valués décrits

<sup>2</sup> « related to the consequences of link failure, irrespective of the probability of failure ».

<sup>3</sup> « the basic ability of a system to deliver you from where you are, to where you want to be, at the time you want to travel [...] that makes the journey worthwhile ».

<sup>4</sup> « vulnerability in the road transportation system is a susceptibility to incidents that can result in considerable reductions in road network serviceability ».

<sup>1</sup> « there is a need for an overall characterisation of road networks, to gain insight into their propensity to malfunction ».

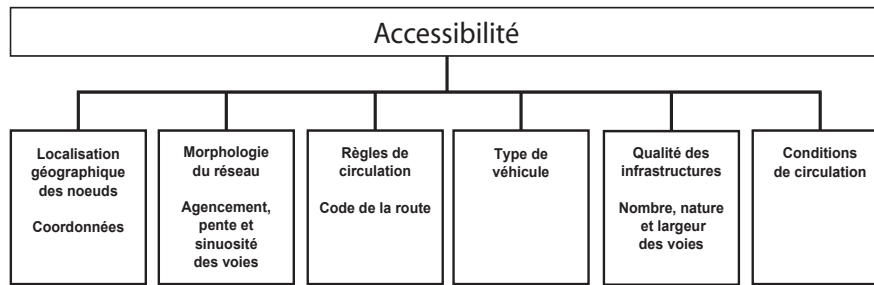


Fig. 6.1 Les composantes de l'accessibilité routière

en machine sous forme alphanumérique. Aux nœuds de réseaux correspondent les sommets du graphe et aux liens, les arcs. Lors de la conception du graphe, chaque arc est caractérisé par sa longueur en kilomètres (caractéristiques morphologiques), par la vitesse maximale de circulation automobile permise sur l'infrastructure qu'il représente (rocade, boulevard, rue...) dans le respect du code de la route (caractéristiques qualitatives) et par un coefficient de limitation de vitesse en fonction du niveau d'utilisation des voies (caractéristiques fonctionnelles). Les indices de vulnérabilité s'appliqueront aux éléments constitutifs du graphe, les arcs et les sommets.

La phase de construction du graphe est déterminante dans le processus de modélisation car les choix effectués à ce stade peuvent avoir des conséquences non négligeables sur la précision des résultats obtenus.

Tout d'abord, le graphe doit rendre compte fidèlement de la hiérarchie routière urbaine et donc distinguer les différents types de voies qui composent le réseau. Le graphe est orienté car à l'échelle mésoscopique à laquelle se place notre analyse, les sens obligatoires de circulation influencent fortement les itinéraires des automobilistes et, par conséquent, les niveaux d'accessibilité.

Ensuite, il convient de couvrir l'intégralité du territoire étudié. Le choix des sommets est déterminant. Tous les carrefours et autres bifurcations doivent être retenus afin d'optimiser la recherche d'itinéraires sur le réseau. De la même façon, tous les changements de caractéristiques techniques des voies entre les jonctions doivent être pris en compte et donc être bornés par des sommets. Aucun critère d'ordre démographique ou socio-économique n'a été considéré pour la construction du graphe afin de rester strictement dans le cadre d'un protocole de modélisation et d'analyse de réseau. Enfin, la modélisation des jonctions doit prendre en compte les restrictions aux carrefours qui peuvent influencer les itinéraires, en interdisant certains et en canalisant d'autres (impossibilité de tourner dans certaines directions, échangeurs incomplets...).

Le réseau routier montpelliérain couvre donc l'ensemble de l'espace urbanisé. Le choix de l'agglomération comme périmètre permet de considérer, pour cette première recherche-test, un réseau plus homogène correspondant à un milieu à la densité plus régulière que celui compris dans les limites

d'une aire urbaine ou d'une région métropolitaine. De cette façon, le biais lié à l'hétérogénéité de la couverture spatiale du réseau devrait être minimisé.

La description du réseau repose sur une classification complète et détaillée composée de neuf types de routes allant des rues aux autoroutes (tableau 6.1 p. 50). Chaque classe de route est caractérisée par une vitesse maximale d'utilisation dans le respect de la réglementation routière en vigueur et par une capacité en fonction du profil en travers et de la nature des intersections.

Le graphe routier montpelliérain utilisé dans le cadre des applications présentées par la suite est constitué de 302 sommets et de 901 arcs (figure 6.2 p. 50).

### 6.2.3 Modélisation des réseaux par les graphes

#### 6.2.4 Indice de vulnérabilité par destruction des liens du réseau

L'indice développé traduit la perte d'accessibilité globale subie par les nœuds d'un réseau et donc par le territoire qu'ils irriguent, à la suite de la suppression de chacun des liens individuellement. La suppression d'un arc du graphe permet de simuler une coupure accidentelle du lien de réseau qu'il représente. Dans certains cas, cette suppression peut entraîner la perte de connexité du réseau, c'est-à-dire l'impossibilité pour un automobiliste de se rendre en tel ou tel lieu. L'accessibilité globale est évaluée par la somme des distances minimales de parcours entre tous les nœuds du réseau (algorithme de Floyd). Il s'agit de l'indice de dispersion d'un réseau.

La première étape consiste à calculer cette somme à réseau complet afin d'obtenir une valeur de référence unique servant de base de comparaison (figure 6.3 p. 51, étape 1).

Lors de la deuxième étape, l'algorithme supprime automatiquement le premier arc de la liste (figure 6.3 p. 51, étape 2). La somme des distances minimales de parcours est ainsi recalculée à réseau incomplet, c'est-à-dire à réseau altéré par un incident empêchant l'utilisation de cet arc. Cette somme est au mieux égale, mais généralement supérieure, à la valeur de référence précédente. Elle est comparée, par soustraction, à cette dernière pour donner l'indice de vulnérabilité. La valeur de cet indice est affectée à l'arc supprimé. Plus la différence est élevée, plus la perte d'accessibilité glo-

Tableau 6.1 Caractéristiques techniques des infrastructures routières

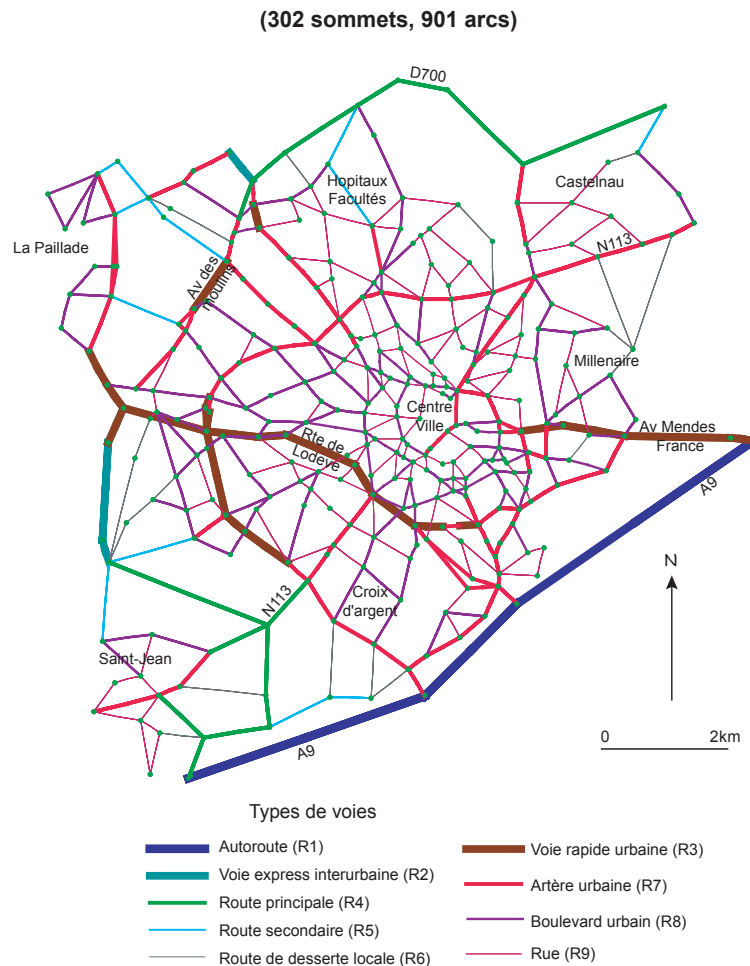
Classe	Caractéristiques techniques des infrastructures routières	Vitesses maximales (km/h)
R1	Autoroute	130
R2	Voie express interurbaine : double chaussée de type autoroutier et route de liaison principale ou régionale à chaussées séparées.	110
R3	Voie rapide urbaine : autoroute ou double chaussée de type autoroutier avec accotement réduit (< 60 cm).	80
R4	Route de liaison principale ou régionale à 3 ou 4 voies ou à 2 voies larges, largeur : ]7 m-9 m].	90
R5	Route de liaison principale ou régionale à 2 voies « standards », largeur : ]5 m-7 m].	80
R6	Route de liaison principale ou régionale et route de desserte locale à 1 ou 2 voies étroites, largeur : ≤ 5 m.	70
R7	Artère urbaine : pénétrante ou rocade structurante du réseau routier urbain.	50
R8	Boulevard urbain : voie de desserte urbaine principale.	35
R9	Rue : voie de desserte urbaine locale.	35

bale occasionnée par la suppression du lien est forte et plus ce dernier joue un rôle stratégique dans le fonctionnement du réseau. Le même exercice de comparaison des valeurs d'accessibilité entre réseau complet et incomplet est ensuite réalisé pour chacun des autres arcs du graphe individuellement après avoir préalablement replacé dans le graphe l'arc supprimé à l'étape précédente (figure 6.3 p. 51, étapes 3 et suivantes).

Cette démarche systématique se veut complémentaire des approches classiques consistant à supprimer a posteriori tous les liens touchés par un incident (une inondation par exemple) et à évaluer les conséquences sur l'accessibilité des territoires.

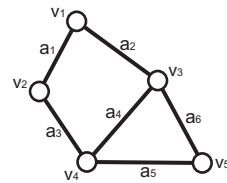
### 6.2.5 Indice de vulnérabilité par destruction des nœuds du réseau



Cet indice est basé sur le même principe que l'indice mesurant la vulnérabilité des liens du réseau. Il permet d'évaluer la perte d'accessibilité globale résultant de la paralysie de chaque nœud individuellement et, par voie de conséquence, de celle des arcs incidents à ce nœud. Sa finalité est ainsi



Manuel Appert, Laurent Chapelon, 2007

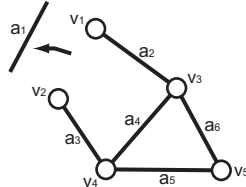
Fig. 6.2 Graphe du réseau routier de Montpellier

**Etape 1 : calcul de la valeur de référence (graphe complet)**


n sommets (noeuds)   
 m arcs (liens) 

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(i, j)$$

$\alpha$  : somme des distances minimales  $d(i, j)$  entre tous les sommets en kilomètres ou en minutes avec ou sans trafic

**Etape 2 : calcul de l'importance stratégique de  $a_1$** 


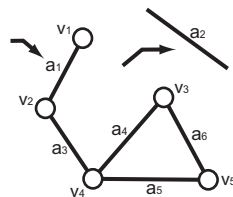
n sommets  
 m-1 arcs (m- $a_1$ )

$$\beta(a_1) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(i, j)$$

$\beta(a_1)$  : somme des distances entre tous les sommets (m-1 arcs)

Vulnérabilité :  $a_1 \leftarrow \beta(a_1) - \alpha$

$\beta(a_1) - \alpha$  : perte d'accessibilité due à la suppression de  $a_1$

**Etape 3 : calcul de l'importance stratégique de  $a_2$** 


n sommets  
 m-1 arcs (m- $a_2$ )

$$\beta(a_2) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d(i, j)$$

$\beta(a_2)$  : somme des distances entre tous les sommets (m-1 arcs)

Vulnérabilité :  $a_2 \leftarrow \beta(a_2) - \alpha$

$\beta(a_2) - \alpha$  : perte d'accessibilité due à la suppression de  $a_2$

**Etape 4 : calcul de l'importance stratégique de  $a_3$ ...**

Manuel Appert, Laurent Chapelon, 2007

Fig. 6.3 Indice de vulnérabilité par destruction des liens

de hiérarchiser les nœuds selon leur importance stratégique dans la structure et le fonctionnement du réseau.

L'accessibilité est calculée de la même manière que pour l'indice de vulnérabilité des liens, à partir de l'indice de dispersion (somme des plus courts chemins de tout point à tout autre).

Quelques différences doivent cependant être soulignées. Premièrement, la suppression d'un sommet du graphe à chaque étape exige que la somme des plus courts chemins porte sur les déplacements entre les autres sommets du graphe, y compris pour le calcul de la valeur de référence. La comparaison des valeurs d'accessibilité entre les réseaux complet et incomplet doit être faite en utilisant exactement les mêmes sommets. Ainsi, contrairement à l'indice de vulnérabilité précédent, il y a autant de valeurs de référence que de sommets, puisque celles-ci sont recalculées chaque fois qu'un sommet est supprimé (figure 6.4 p. 52, étapes 1 et 3). La suppression d'un sommet conduit à la suppression de tous les arcs incidents (figure 6.4 p. 52, étape 2), ce qui peut altérer notablement l'accessibilité globale.

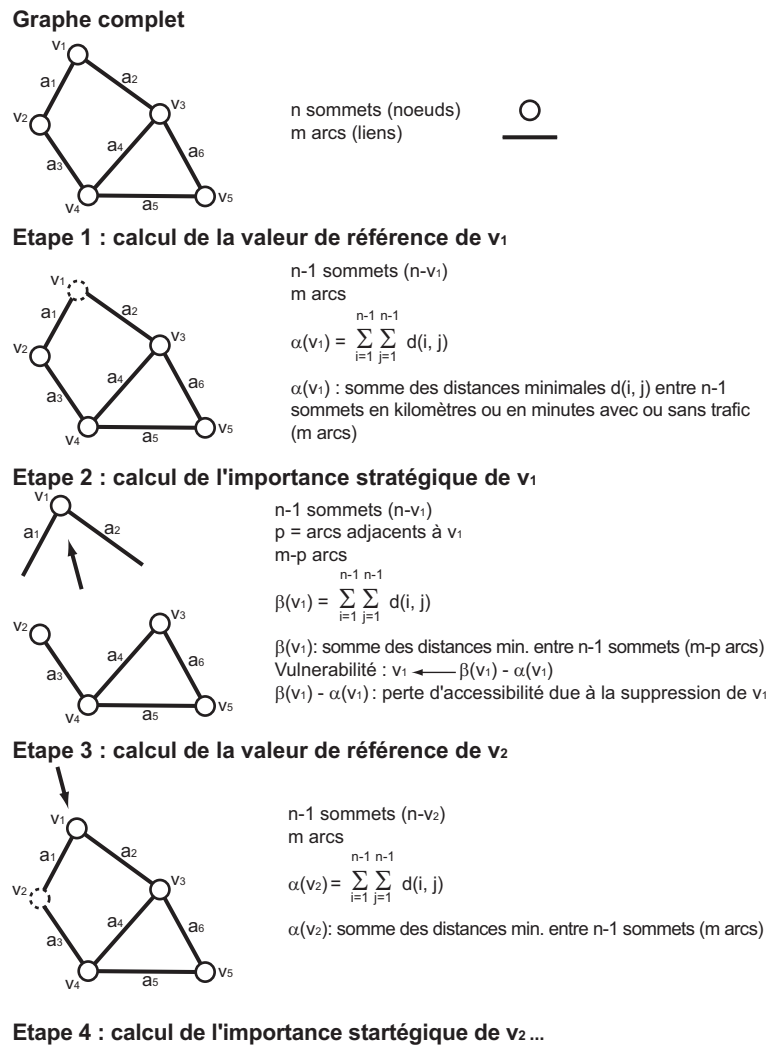
Techniquement, l'algorithme choisit le premier sommet dans la liste ( $v_1$ ) et calcule l'indice de dispersion (valeur de référence) entre tous les autres sommets (figure 6.4 p. 52, étape 1). À cette étape, les arcs incidents au sommet  $v_1$  peuvent être empruntés par les plus courts chemins. Ensuite, le même calcul est réalisé, mais après suppression de  $v_1$

et des arcs incidents (figure 6.4 p. 52, étape 2). La valeur résultante est généralement plus grande que la valeur de référence. Elle ne peut en aucun cas être inférieure.

L'indice de vulnérabilité associé au sommet  $v_1$  est obtenu en soustrayant cette valeur à la valeur de référence. Plus la différence est grande, plus les détours occasionnés par la paralysie de  $v_1$  sont importants, plus ce sommet joue un rôle stratégique dans la morphologie, la qualité ou le fonctionnement du réseau. L'importance stratégique des sommets dépend de leur emplacement, central ou périphérique, du nombre et de la nature des arcs connectés.

On procède de la même manière pour chacun des autres sommets du graphe après avoir préalablement replacé le sommet et les arcs supprimés à l'étape précédente (figure 6.4 p. 52, étapes 3 et suivantes).

Ce second indice apparaît particulièrement approprié pour mesurer la vulnérabilité de ce que la littérature scientifique appelle « les réseaux invariants d'échelle » (Barabasi 2002, Barabasi & Bonabeau, 2003, Lagues & Lesne, 2003). Ce sont des réseaux dans lesquels un petit nombre de nœuds possède un nombre très élevé de liens alors que la plupart des autres nœuds n'en ont que quelques-uns. L'intérêt de cette forme de réseau est d'une part d'accroître les possibilités relationnelles grâce aux multiples correspondances ou transbordements permis dans chacun des « supernœuds » et, d'autre part, d'obtenir une plus grande massification des



Manuel Appert, Laurent Chapelon, 2007

Fig. 6.4 Indice de vulnérabilité par destruction des nœuds

flux. La logique d'organisation en hub and spokes mise en place par le transport aérien en est un excellent exemple. Les réseaux invariants d'échelle sont particulièrement robustes en cas d'incident touchant aléatoirement tel ou tel de leurs nœuds. En revanche, ils sont extrêmement vulnérables à une attaque ciblée portant sur les « supernœuds » à cause de leur haut niveau de connectivité. L'indice présenté ici permet d'identifier ces nœuds stratégiques afin, le cas échéant, de les sécuriser.

Les applications présentées dans ce chapitre concerneront uniquement la vulnérabilité par destruction des liens du réseau. La méthodologie relative aux nœuds est actuellement en cours d'application au sein de l'équipe GESTER.

### 6.2.6 Cartographie des indices de vulnérabilité

Afin de rendre lisibles les représentations cartographiques, la valeur absolue ( $V_i$ ) de l'indice de vulnérabilité sur chacun des liens  $i$  est transformée en pourcentage de la valeur maximale ( $V_{max}$ ) obtenue :

$$V(i) = \frac{V_i}{V_{max}} \times 100$$

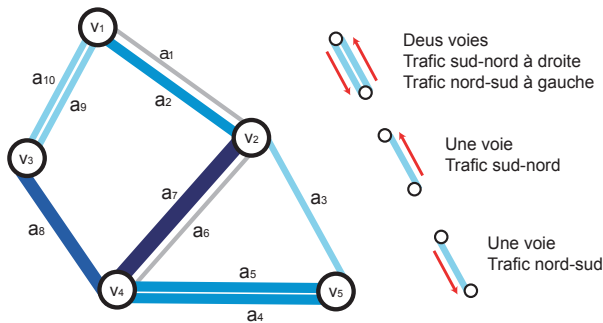
Compte tenu de l'orientation du graphe, les résultats des indices de vulnérabilité diffèrent selon le sens de circulation. Il convient donc d'adapter la cartographie des résultats en conséquence. Prenons l'exemple (figure 6.5 p. 53) d'une route à double sens de circulation (a1 et a2) bornée par deux intersections (v1 et v2) à chaque extrémité.

Afin de distinguer visuellement les sens de circulation, les arcs a1 et a2 sont séparés par un espace et décalés par rapport au centre des cercles v1 et v2. Leur positionnement relatif tient compte du fait que l'on roule à droite sur le réseau. Ainsi, dans l'exemple précédent (figure 6.5 p. 53) l'arc nord-sud relie la partie gauche de v1 à la partie gauche de v2 alors que l'arc sud-nord va de la partie droite de v2 à la partie droite de v1.

Les sens uniques sont représentés par un seul arc. Là aussi, la position de l'arc par rapport aux extrémités est donnée

par le sens de circulation. Sur la figure 5, l'arc a3, décalé à droite des cercles v2 et v5, correspond au sens de circulation sud-nord.

Après calcul de l'indice de vulnérabilité, les différentiels d'accessibilité qu'il mesure sont représentés sur chaque arc sous forme d'arcs rectilignes dont l'épaisseur est proportionnelle à la valeur obtenue (figure 6.5 p. 53). Plus l'épaisseur est grande, plus l'accessibilité globale du territoire est altérée, plus la paralysie du lien considéré accroît la vulnérabilité du réseau. Cela reflète le caractère stratégique du lien. En revanche, un trait fin signifie que son blocage ne cause qu'une perte d'accessibilité limitée et que les conséquences sur la vulnérabilité du réseau sont réduites.



Épaisseur ( $a_1$ ) =  $f$  (vulnérabilité ( $a_1$ ))  
 Épaisseur ( $a_2$ ) =  $f$  (vulnérabilité ( $a_2$ ))...  
 Trait épais = arc de grande importance stratégique ( $a_7$ ,  $a_8$ )  
 Trait fin = arc de faible importance stratégique ( $a_1$ ,  $a_6$ )

Manuel Appert, Laurent Chapelon, 2007

Fig. 6.5 Cartographie des indices de vulnérabilité

Compte tenu de la transformation en valeur relative de l'indice de vulnérabilité (voir ci-dessus), l'épaisseur du trait ne varie que de 0 à 100%. Dix classes d'égale amplitude ont été retenues afin de permettre une meilleure comparaison des résultats. La représentation des valeurs absolues était rendue impossible par les écarts très importants obtenus entre les valeurs.

Les résultats des indices de vulnérabilité seront présentés sous forme de trois cartes qui traduisent l'impact de la morphologie, de la qualité et du fonctionnement du réseau sur sa vulnérabilité.

## 6.3 La vulnérabilité du réseau routier urbain montpellierain

### 6.3.1 Principales caractéristiques du réseau

Le réseau routier de Montpellier (figure 6.2 p. 50) est caractéristique de celui d'une agglomération française de taille moyenne. Montpellier est au centre d'une agglomération de près de 400 000 habitants. Le cœur de l'agglomération se caractérise par une structure médiévale modifiée surtout au XIX<sup>e</sup> siècle et par une forte densité urbaine. Cette dernière diminue classiquement et progressivement jusqu'en périphérie. Le réseau routier se compose principalement :

- de rues étroites et sinueuses dans le centre historique compensées par des percées à plus grand gabarit et complétées par des boulevards radiaux et circulaires (XIX<sup>e</sup> siècle).
- de routes à plus grand gabarit construites dans la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle pour fluidifier et accélérer les déplacements entre les quartiers de la ville et vers les communes périphériques. Certains de ces axes répondent aux caractéristiques des voies rapides urbaines (profil en travers et accès limité). Dans le cas de Montpellier, ces axes ne sont pas toujours continus et leur couverture spatiale reste relativement modeste en raison de l'abandon, dans les années 1980, des plans routiers. C'est le cas de l'avenue Mendès-France ou de la route de Lodève.
- de l'autoroute A9 qui borde l'agglomération au Sud. C'est un axe d'importance nationale et internationale autour de la Méditerranée. L'autoroute est ici gratuite et dotée de nombreux diffuseurs qui la connectent au réseau routier montpellierain.

### 6.3.2 Prédilection morphologique à la vulnérabilité

Nous évaluons tout d'abord l'impact de la morphologie du réseau (agencement relatif des voies, pente, sinuosité) sur sa vulnérabilité (figure 6.6 p. 54). En d'autres termes, il s'agit de mesurer la prédilection morphologique du réseau à la vulnérabilité. L'indice de vulnérabilité par destruction des liens sera calculé à partir des distances kilométriques sur le réseau (longueurs des plus courts chemins en kilomètres). On parle de prédilection morphologique dans la mesure où l'indice mesure uniquement l'allongement kilométrique des trajets suite à la suppression de chaque lien individuellement, sans tenir compte, pour l'instant, des vitesses maximales et des conditions de circulation sur le réseau.

La classe de couleur jaune (figure 6.6 p. 54) représente les isthmes du réseau. Ces arcs sont très importants car leur paralysie entraîne la perte de connectivité du réseau. En d'autres termes, certains nœuds ne seraient plus accessibles. Il s'agit de rues ou de boulevards successifs à sens unique. Ils incluent le tunnel de la Comédie, construit au milieu des années 1980 pour permettre la piétonisation de la principale place de la ville. Ce tunnel assure le bouclage du contournement de l'Écusson, cœur historique de la ville.

L'analyse des valeurs absolues montre que le réseau routier du centre-ville se caractérise par une prédilection morphologique à la vulnérabilité relativement importante. Même si plusieurs itinéraires alternatifs sont possibles dans le centre, du fait de la densité du maillage, la concentration des chemins minimaux liée à l'agencement particulier des axes se traduit par une forte sensibilité aux incidents.

La route nationale 113, boulevard urbain au tracé rectiligne et au gabarit relativement important, obtient les scores les plus élevés ce qui souligne son rôle stratégique dans la morphologie du réseau routier montpellierain. La vulnérabilité morphologique est étroitement liée à la taille des mailles du réseau et donc de la densité des infrastructures.

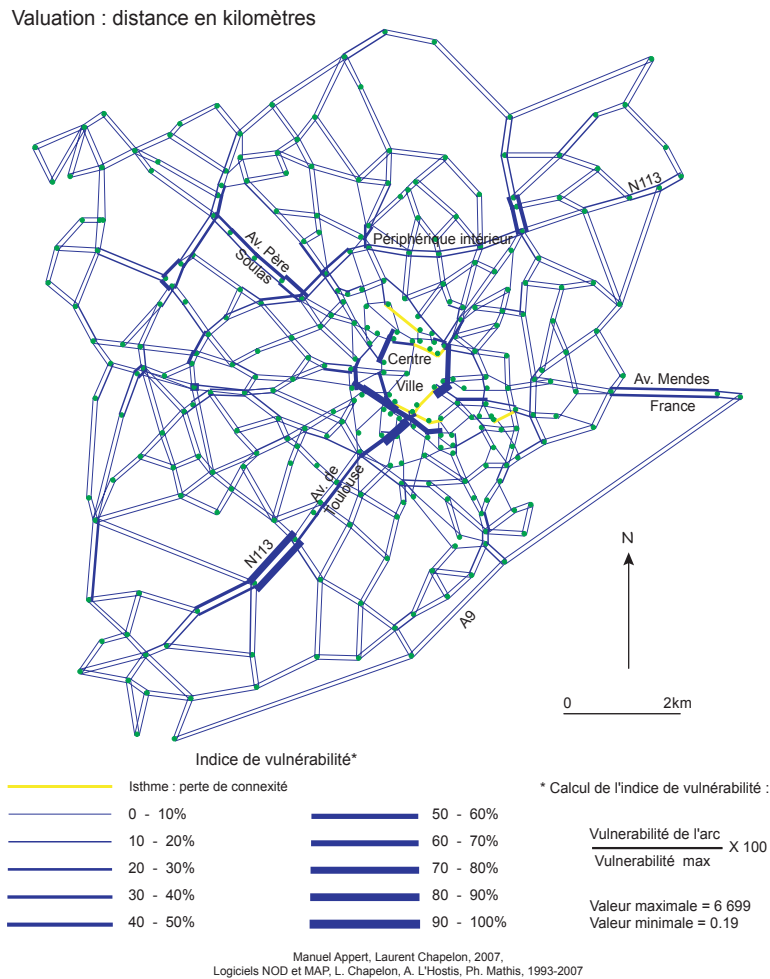


Fig. 6.6 Vulnérabilité morphologique du réseau

La distribution des itinéraires minimaux est essentiellement radiale, convergeant vers le centre et le contournant par les boulevards les plus proches. Le rôle stratégique de ces derniers apparaît clairement. Quelques itinéraires traversent de part en part l'agglomération, comme ceux utilisant le périphérique intérieur, ce qui traduit une vulnérabilité morphologique principalement centrale et radiale.

### 6.3.3 Prédiposition qualitative à la vulnérabilité

Comme nous avons pu le mentionner, un réseau peut être plus ou moins bien prédiposé à répondre à un incident survenant sur tel ou tel de ses liens. Outre la morphologie (profil en long), la qualité des voies (profil en travers) influence grandement cette prédiposition. Afin de prendre en compte ce critère supplémentaire dans les calculs de vulnérabilité, nous utiliserons la vitesse maximale de circulation ( $C_{max}$ ). Il s'agit de la vitesse hors congestion, permise techniquement par chaque classe d'infrastructures dans la limite autorisée par le code de la route. Connaissant la longueur  $L_i$  de chaque arc  $i$  en kilomètres, la vitesse maximale permet de calculer les temps de parcours ( $T(i)$ ) en fonction de la classe d'infrastructures  $j$  à laquelle l'arc appartient :

$$T(i) = \frac{L_i}{C_{max,j}} \times 60$$

Une fois le graphe entièrement valué en distances-temps, l'indice de vulnérabilité peut être calculé. Il compare la longueur des plus courts chemins en temps à réseau complet et altéré.

Cet indice mesure la prédiposition qualitative du réseau à la vulnérabilité et par conséquent, l'impact de la classification hiérarchique des routes sur cette vulnérabilité. Compte tenu de la valuation retenue (le temps optimal de parcours hors congestion) cette prédiposition qualitative englobe les facteurs morphologiques précédents et de nouveaux facteurs liés au profil en travers des infrastructures (largeur, existence d'un séparateur central de chaussées, espacements latéraux) et à la réglementation routière en vigueur (limitations de vitesse). Tous ces facteurs conditionnent en effet l'optimum temporel sur le réseau. Précisons que les valeurs absolues ne sont pas directement comparables avec les résultats précédents (prédiposition morphologique) car la valuation est différente (longueurs en kilomètre/temps en minutes ici).

Valuation : Temps de parcours optimal sur le réseau (trafic fluide)

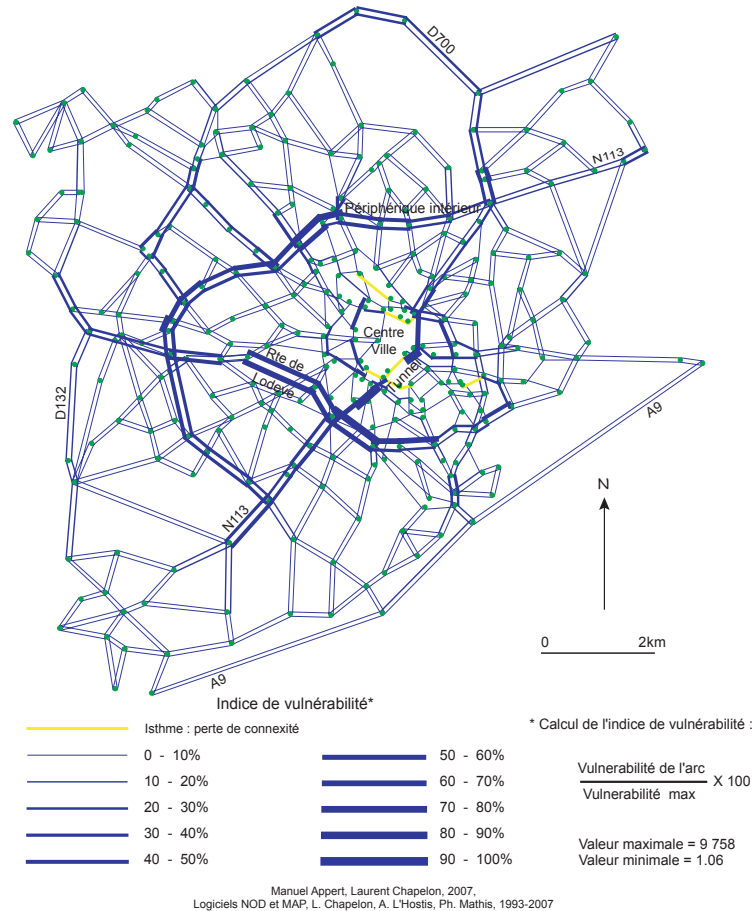


Fig. 6.7 Vulnérabilité qualitative du réseau

À Montpellier (figure 6.7 p. 55), la structure spatiale de la vulnérabilité change très nettement. De radiale elle devient radioconcentrique.

Les rocades se distinguent par des valeurs élevées. L'auto-roue A9 fait exception compte tenu de sa position périphérique dans l'espace d'étude (effet de bord). La hiérarchisation du réseau ressort aussi clairement. Les infrastructures les plus stratégiques correspondent aux axes majeurs de circulation. Leur paralysie entraîne des pertes substantielles d'accessibilité.

C'est le cas notamment sur la D700, la N113, la route de Lodève et le périphérique intérieur.

Les aménagements routiers passés avaient pour objectif de séparer spatialement les circulations, en les hiérarchisant, et d'éviter aux flux de transit de se concentrer dans la partie centrale de l'agglomération. Cette hiérarchisation fonctionnelle tend cependant à accroître la vulnérabilité du réseau dans la mesure où la faible qualité des infrastructures alternatives secondaires contraint fortement les itinéraires optimaux. La cartographie élaborée ici permet de localiser les axes stratégiques, de quantifier les conséquences de leur blocage et d'envisager des mesures pour les « protéger ».

### 6.3.4 Prédiposition fonctionnelle à la vulnérabilité

Au-delà de la prédiposition qualitative qui traduit le fonctionnement optimal du réseau, il convient d'intégrer à l'analyse les conditions de circulation réelles qui en altèrent le fonctionnement. C'est ce que l'on appelle la prédiposition fonctionnelle à la vulnérabilité. À la morphologie et à la qualité des infrastructures, s'ajoutent donc ici des facteurs liés à la capacité du réseau à écouler correctement les flux, en particulier lors des périodes de pointe. Il s'agit d'approcher au plus près le fonctionnement réel de celui-ci.

Les temps de parcours utilisés pour la valuation du graphe sont obtenus à partir de la vitesse réelle de circulation sur chacun des liens à l'heure de pointe du soir. La vitesse réelle tient compte de la capacité des liens et du volume de trafic observé (confrontation de l'offre et de la demande). La capacité est fonction des caractéristiques techniques des infrastructures. L'heure de pointe du soir (17h-18h) a été choisie afin d'illustrer la période de charge maximale du réseau.

Une méthode spécifique de calcul de la vitesse réelle adaptée à l'échelle « mésoscopique » a été développée. La figure 6.8 p. 56 synthétise les étapes du processus. Pour chaque lien, plusieurs paramètres sont requis :



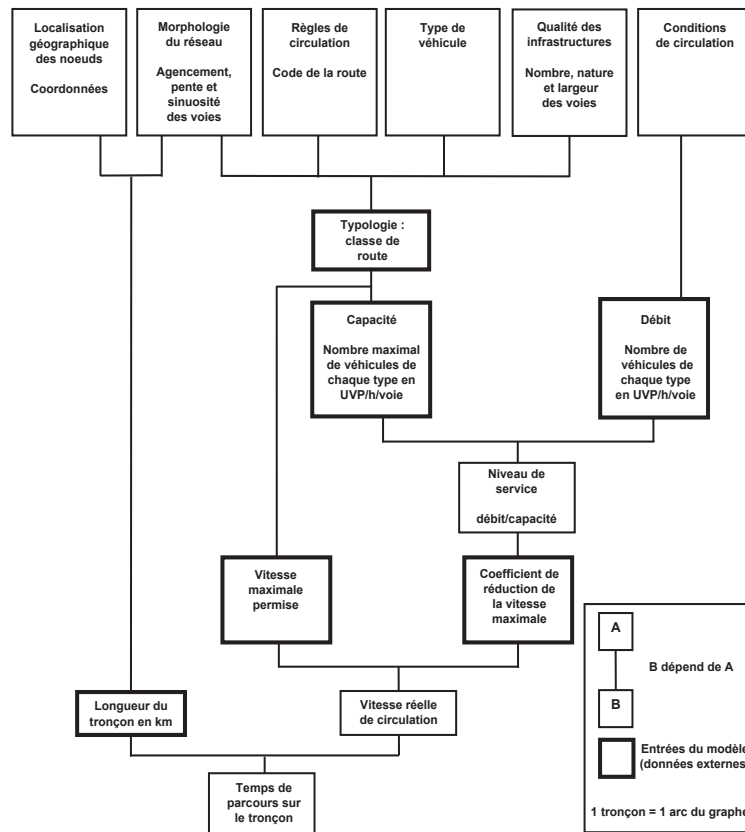


Fig. 6.8 Méthode de calcul des temps réels de parcours en fonction des conditions de circulation

- la vitesse maximale,
- la capacité,
- le débit pendant le créneau 17 h-18 h affecté ici par le modèle de trafic EMME/2 (source : CETE Méditerranée).

La confrontation de l'offre et de la demande s'opère en divisant le débit par la capacité. Le résultat reflète le niveau de service pour la tranche horaire considérée. La correspondance entre le niveau de service et le rapport débit/capacité diffère selon la classe d'infrastructures à laquelle le tronçon appartient (Transport Research Board, 1998). À chaque niveau de service et pour chaque classe d'infrastructures correspond un coefficient de réduction de la vitesse maximale compris entre 0 et 1. La vitesse réelle est obtenue en multipliant ce coefficient par la vitesse maximale. Pour un descriptif détaillé de la méthode, nous renvoyons le lecteur à Appert & Chapelon (2007).

Le temps de parcours de l'arc  $i$  est ensuite obtenu en divisant sa longueur ( $L_i$ ) par la vitesse réelle ( $C_{\text{réelle}}(i)$ ).

$$T(i) = \frac{L_i}{C_{\text{réelle}}(i)} \times 60$$

Comme précédemment, l'indice de vulnérabilité est calculé en soustrayant la somme des chemins minimaux en temps à réseau complet et altéré. Plus l'indice est élevé, plus l'arc supprimé joue un rôle stratégique dans le fonctionnement

du réseau. Les résultats sont directement comparables avec les précédents (vulnérabilité qualitative) car la valuation reste inchangée.

Pour cette recherche-test, nous avons focalisé notre attention sur l'analyse de l'offre sans tenir compte des modifications de comportement des usagers confrontés à un blocage. Un développement intéressant consisterait à réaffecter tout ou partie du trafic sur les tronçons adjacents au tronçon paralysé afin de calculer des temps de parcours plus proches de la réalité. En effet, en cas de blocage, certains automobilistes se reportent sur d'autres itinéraires, souvent de plus faible capacité, et contribuent à leur saturation ce qui contraint fortement les temps de parcours sur le réseau. La difficulté de l'exercice est que cette réaffectation de trafic doit être effectuée à chaque itération, c'est-à-dire autant de fois qu'il y a d'arcs supprimés, ce qui rend les calculs particulièrement lourds. En outre, les reports de trafic devront tenir compte du fait que les automobilistes n'ont qu'une connaissance partielle du réseau et de sa charge. Le choix de leur nouvel itinéraire ne sera pas nécessairement optimal.

Les résultats sur Montpellier (figure 6.9 p. 57) montrent que la valeur absolue de la vulnérabilité fonctionnelle globale du réseau est deux fois plus élevée que dans le cas précédent (circulation optimale). La valeur maximale passe de 9 758 minutes à 21 454 minutes. Ceci s'explique par les conditions de circulation très dégradées en période de pointe et par

Valuation : Temps de parcours sur le réseau à l'heure de pointe du soir (17h-18h)\*  
 \*Temps de parcours calculés par une fonction débit/vitesse pour chaque type de voie. Débits issus du modèle de trafic EMMÉ/2

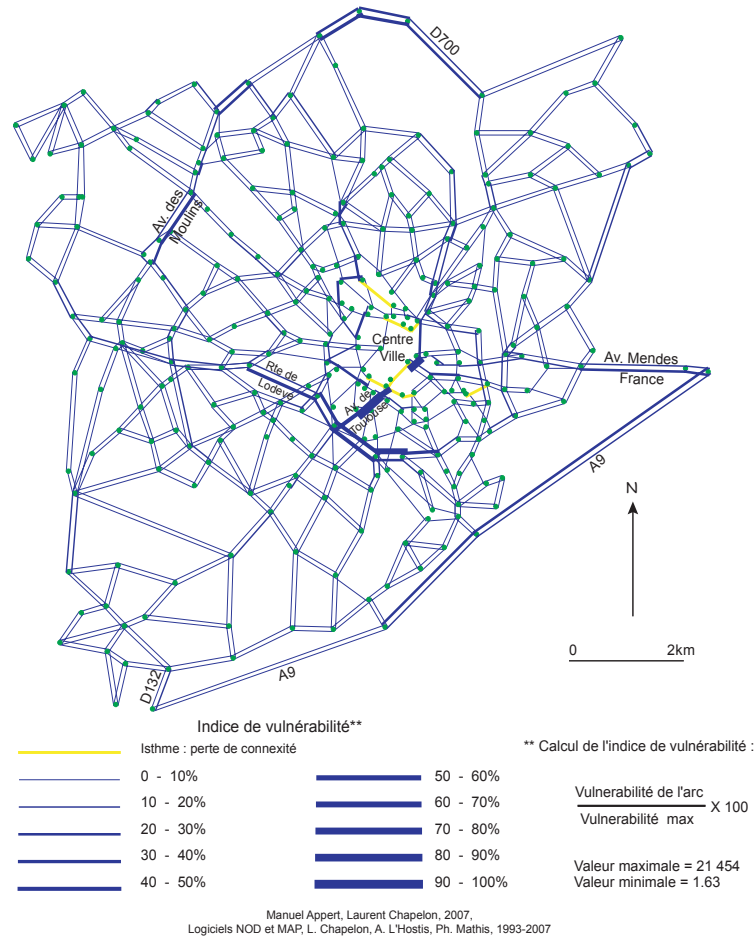


Fig. 6.9 Vulnérabilité fonctionnelle du réseau

la grande variabilité des vitesses de circulation d'un arc à l'autre dans la mesure où la congestion ne touche pas les axes avec la même intensité.

On observe également que la hiérarchie routière est atténuée par la congestion. La distribution des liens vulnérables est plus diffuse sinon généralisée. Après blocage, les itinéraires minimaux court-circuitent les artères principales et se déploient sur des axes qui ne sont pas destinés à les supporter.

Les arcs les plus stratégiques sont localisés au sud-ouest du centre ville notamment sur la route de Lodève et l'avenue de Toulouse. L'autoroute A9 joue un rôle plus important que dans la simulation précédente en canalisant les itinéraires de transit est-ouest.

## 6.4 Conclusion

Le réseau routier est essentiel dans le fonctionnement urbain. Véritable appareil circulatoire, il autorise un accès direct, ou presque, à toutes les parties de la ville. Les automobilistes bénéficient d'un service quasi continu de porte-à-

porte grâce à l'imbrication des différents sous-réseaux et à leur hiérarchisation. Cette imbrication est également responsable d'un accroissement de la vulnérabilité du réseau face au risque d'altération. Lorsque le réseau routier urbain était encore relativement homogène et peu polarisé, la distribution des itinéraires optimaux en temps était plus diffuse et l'exposition au risque plus limitée.

L'apparition puis la multiplication des réseaux routiers primaires modernes (1970-1980), caractérisés par des vitesses de circulation plus élevées, par une capacité plus importante et par un accès sélectif dans l'espace, se sont traduites par un accroissement de la polarisation et de la concentration des itinéraires sur certains liens du réseau. En effet, avec la croissance du trafic routier et grâce aux innovations de l'ingénierie routière, de très nombreuses villes ont opté pour la construction d'infrastructures rapides, qu'il s'agisse de voies radiales ou orbitales. Ces infrastructures se sont superposées à celles qui préexistaient et, séparant plus strictement circulation locale inter-quartiers et circulation de transit, elles sont devenues les épines dorsales du réseau routier urbain. Lorsqu'un incident survient sur ce type d'infrastructure rapide, c'est une grande partie du réseau qui en subit les consé-

quences. Le blocage incite les automobilistes à emprunter des itinéraires de substitution à travers des espaces qui ne sont pas adaptés aux volumes de circulation induits. En résultent insécurité routière, pollution et détérioration de la qualité de vie. Le réseau routier urbain semble donc plus vulnérable qu'avant au blocage et expose plus largement la ville à des baisses brutales d'accessibilité.

Le degré de vulnérabilité ne sera pas identique d'un réseau à l'autre car il est conditionné par la morphologie, la qualité et le fonctionnement de chaque réseau. Nous avons pu montrer que la vulnérabilité du réseau routier urbain est fonction de la hiérarchisation de ses liens. Il peut être surprenant de lire que le réseau routier urbain rapide puisse être à l'origine d'une aggravation de la vulnérabilité. Mais l'accroissement de la polarisation et la concentration des itinéraires minimaux sur un nombre réduit de liens, censés fluidifier et accélérer les déplacements automobiles dans la ville, conduit à une élévation de l'exposition au risque.

En regardant de plus près, il semble que la distribution des portions de réseau les plus vulnérables a changé. Si la vulnérabilité historique du réseau de centre-ville de Montpellier diminue, elle augmente substantiellement en périphérie. La diminution de la vitesse de déplacement à l'heure de pointe du soir sur les axes dits rapides se traduit par une redistribution des itinéraires sur d'autres axes, souvent moins adaptés, atténuant la gravité de la vulnérabilité à l'échelle locale mais la diffusant plus largement dans l'espace.

Les indices de vulnérabilité des réseaux routiers que nous avons élaborés dans cette recherche ainsi que la façon de les cartographier pourraient s'avérer utiles pour les aménageurs car ils permettent d'évaluer les conséquences d'une exposition à un risque, quelle que soit sa nature. Une action anticipatrice de mise en sécurité des tronçons les plus stratégiques pourra ensuite être envisagée. Ces indicateurs montrent également l'importance grandissante de la thématique du risque en géographie urbaine. Si dans nos sociétés du juste-à-temps, l'accès physique et la vitesse accrue sont essentiels au fonctionnement des activités, ils ne sont plus suffisants. La notion de fiabilité des temps de parcours prend une place importante que doivent intégrer les autorités responsables de l'aménagement urbain et des transports.

## 6.5 Bibliographie

- APPERT M., CHAPELON L., 2007, The Space-time variability of road base accessibility : application to London, Mathis Ph. (ed.), Graphs and networks : multilevel modeling, London, ISTE, p. 3-30.
- BARABASI A.-L., BONABEAU E., 2003, Réseaux invariants d'échelle, Pour la science, n° 314, p. 58-63.
- BARABASI A.-L., 2002, Linked : The New Science of Networks, Perseus Publishing.
- BAVOUX J.-J., BEAUCIRE F., CHAPELON L., ZEMBRI P., 2005, Géographie des transports, Paris, Armand-Colin, (Coll. U.)
- BEOM J. K., CHANG NO Y., HOLME P., SEUNG KEE H., 2002, Attack vulnerability of complex networks. Working paper.
- BERDICA K., 2002, An introduction to road vulnerability : what has been done, is done and should be done, Transport Policy, vol. 9, n° 2, p. 117-127.
- BELL M. G. H., LIDA Y., 1997, Network reliability, Transportation Network Analysis, Chichester, Wiley & Sons, p. 179-192.
- CERTU, 1990, Les études de prévision de trafic en milieu urbain : guide technique, Lyon, CERTU
- CHAPELON L., 2006, Politiques de transport et accessibilité : contribution à la conception de réseaux et de services de transport, Habilitation à diriger des recherches, Dossier de synthèse, Montpellier : université Paul-Valéry.
- COHEN S., 1990, Ingénierie du trafic routier, Paris, Presses de l'ENPC.
- GLEYZE J. F., 2001, « Les dommages induits par les coupures du réseau routier », communication au colloque Risque d'accidents et risques environnementaux dans les transports routiers — Octobre 2001.
- GLEYZE J. F., 2003, Fonctionnalité du réseau de métro parisien, communication aux 6<sup>es</sup> rencontres Théoquant, 20-21 Février 2003, Besançon.
- GOODWIN P. B., 1992, A quality margin in transport, Traffic Engineering and Control, vol. 33, n° 12, p. 661-665.
- LAGUES M., LESNE A ; 2003, Invariances d'échelle : des changements d'états à la turbulence, Paris, Belin.
- LIDA Y., 1999, Basic concepts and future directions of road network reliability analysis, Journal of Advanced Transportation, vol. 33, n° 2, p. 125-134.
- MILLER H. J., SHAW S. L., 2001, Transportation, Environment and Hazards, Geographic Information Systems for Transportation, Oxford, Oxford University Press, p. 341-379.
- TAYLOR M.A.P., 1999, Dense network traffic models, travel time reliability and traffic management. I : General introduction, Journal of Advanced Transportation, vol. 33, n° 2, p. 218-233.
- TAYLOR M. A. P., 1999, Dense network traffic models, travel time reliability and traffic management. II : application to network reliability, Journal of Advanced Transportation, vol. 33, n° 2, p. 235-251.
- Transport Research Board, 1998, Highway Capacity Manual, Washington, TRB, 3<sup>e</sup> éd.

## Partie 3

# La carte, outil de régulation



## 7 La cartographie réglementaire des risques naturels en Suisse, en Italie et en France

Anne PELTIER

Département de géographie/GEODE, UMR 5602 CNRS,  
Université de Toulouse-le-Mirail, 5 allées Antonio Machado,  
31058 Toulouse cedex 9  
peltier@univ-tlse2.fr

**Résumé.** — Le zonage réglementaire constitue l'une des méthodes privilégiées dans certains pays d'Europe de l'Ouest pour la réduction des risques naturels. Cependant, à partir d'un objectif commun, les pouvoirs publics qui ont adopté ce type de méthode l'ont aménagée selon des modalités assez variées, comme le démontre l'analyse de la Suisse, de la France et de la Vallée d'Aoste (Italie). Sont examinés en détail le nombre de zones et les contraintes qui leur sont associées, les critères de délimitation de ces zones, ainsi que les seuils distinguant chaque niveau d'aléa. Il apparaît que les seuils utilisés varient fortement, la France présentant les conditions les plus restrictives tandis que la Suisse permet un zonage beaucoup plus souple. D'autres facteurs de différenciation démontrent à la fois le caractère politique du zonage et la relation entre modalités de zonage et approche du risque spécifique à chaque pays.  
**Mots-clés.** — Risques naturels, politiques publiques, zonage réglementaire, Suisse, Italie, France

**Title.** — *Lawful zoning of natural hazards in Switzerland, Italy and France*

**Abstract.** — Lawful hazard mapping is one of the favourite methods of risk management in many western European countries. This method is not used, however, in the same way in each country, as shown by the analysis of the Swiss, Italian and French cases. We examine precisely the number of zones and their related constraints for land-use. The criteria used to delimit these areas are also studied, as well as the thresholds between each area. This study shows that the thresholds used are really different in each country : the French administration uses restrictive criteria, whereas hazard mapping, as it is practiced in Switzerland, is really more flexible. Other factors differentiate the three cases, showing the political aspects of hazard mapping but also the relationship between the mapping methods and the specific approach of risk constitutive to each country or region.  
**Key-words.** — Natural hazards, public policies, lawful hazard mapping, Switzerland, Italy, France

Le zonage des risques naturels est l'un des principaux moyens mis en œuvre par la France pour limiter l'accroissement de la vulnérabilité dans les zones dangereuses et, de manière plus générale, pour « gérer » les risques. Depuis plus de vingt ans que cette méthode existe, de nombreux travaux de recherche se sont intéressés à ses impacts et aux facteurs de blocage (Bourrelrier, 1997 ; Pigeon, 1998 ; Pottier, Veyret *et al.*, 2004), si bien que les enjeux et les limites de ce mode de gestion des risques naturels sont aujourd'hui bien connus. On sait moins que le zonage des risques a également été adopté dans d'autres pays — encore qu'il soit loin de représenter une méthode universelle de gestion des risques.

L'analyse qui suit est fondée sur l'étude de trois pays, ou plus exactement de trois régions<sup>1</sup>, dans lesquelles les modalités du zonage du risque ont été examinées en détail : le Valais en Suisse, la Vallée d'Aoste en Italie et les Hautes-Pyrénées en France. Le choix de l'échelon régional plutôt que national s'explique par les très fortes disparités existant en Suisse et en Italie entre les différentes régions. En Suisse, le fédéralisme se traduit en effet par des différences importantes dans la conduite des affaires des cantons, y compris dans le domaine des risques naturels. En Italie, si l'État central dispose de prérogatives importantes, les régions, et en particulier les régions autonomes, ont une importante capacité de décision qui génère également des situations très contrastées. Quant à la France, des études manquent dans le domaine des risques naturels sur d'éventuelles disparités régionales, si bien que malgré une centralisation qui demeure très forte dans la gestion des risques, il apparaît plus judicieux de limiter l'analyse à un département.

Le zonage des risques, en particulier lorsqu'il revêt une dimension réglementaire, constitue en fait un cas relativement rare en Europe : au Royaume-Uni, en Allemagne, en Grèce, au Portugal, par exemple, le zonage, lorsqu'il existe, n'est qu'informatif (Veyret, Garry, Meschin de Richemond, 2004). Cette pratique est donc loin d'être généralisée. Par ailleurs, l'analyse détaillée des modalités du zonage met en

<sup>1</sup> Le terme « région » doit être compris dans cet article au sens d'échelle géographique intermédiaire entre l'échelon national et l'échelon local. Il désigne donc tout aussi bien le canton suisse, la région autonome italienne, que le département français.

évidence ce paradoxe que le recours au zonage du risque, réalisé dans des objectifs similaires, peut obéir en fait à des logiques différentes.

## 7.1 Des objectifs similaires

Les objectifs recherchés par la pratique du zonage du risque sont similaires dans les trois régions étudiées : il s'agit essentiellement de limiter l'accroissement de la vulnérabilité.

### 7.1.1 Un objectif ancien...

En Suisse comme en France et en Vallée d'Aoste, le zonage du risque fait l'objet depuis longtemps d'une réflexion de la part des pouvoirs publics, ce en quoi ces trois terrains se distinguent de nombre de pays européens dans lesquels cette approche est plus récente.

En Suisse, la première tentative dans ce sens est l'arrêté fédéral de 1972 obligeant les cantons à prendre des mesures d'urgence en matière d'aménagement du territoire et en particulier à délimiter les zones menacées par des aléas. Par cet arrêté, la Confédération cherche à la fois à limiter la construction dans les zones dangereuses et plus largement à affirmer ses compétences dans le domaine de la gestion des risques, un domaine qui ne fait pas explicitement partie de ses attributions aux termes de la Constitution. D'autres textes (les lois de 1979 et 1991, en particulier) complètent cette première ébauche pour créer la « carte des dangers » telle qu'elle existe aujourd'hui.

En France, après la loi de 1935 instaurant le Plan des surfaces submersibles (PSS), la création de l'article R111.3 du code de l'urbanisme en 1955 et la création du Plan des zones exposées à des risques naturels (PZERN) en 1974, autant de dispositifs qui n'ont été que peu appliqués, une nouvelle impulsion est donnée au zonage des risques avec la loi de 1982 créant les Plans d'exposition aux risques. La loi de 1995 instituant les Plans de prévention des risques constitue le dernier avatar du zonage des risques naturels.

En Italie, il faut attendre plus longtemps une loi sur le zonage des risques. La première loi nationale sur le sujet est celle du 18 mai 1989 sur la protection du sol (*la difesa del suolo*). Ce texte prévoit la réalisation de plans à l'échelle des bassins-versants, des plans ressemblant aux Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) français mais avec une composante « risque » beaucoup plus marquée. Cependant, l'échelle de ces plans (1/25 000) et leur caractère non opposable aux tiers en font un document indicatif n'ayant pas la portée du PPR ou de la carte des dangers.

En Vallée d'Aoste, le gouvernement régional n'a pas attendu l'intervention de l'État central pour mettre au point une politique de zonage des risques. Une circulaire de janvier 1976 contraint ainsi les communes à réaliser des plans des zones exposées aux avalanches, aux glissements de terrain, aux éboulements et aux inondations et à les rendre inconstructibles. De nombreux autres textes ont suivi, faute d'applica-

tion de la loi, et les premières cartes n'ont vu le jour qu'après la loi de 1998, qui précise les modalités d'élaboration des cartes des risques, et surtout après la crue d'octobre 2000, à la suite de laquelle le gouvernement régional a donné trois ans aux communes pour réaliser les cartes. Au total, pas moins de six lois ont été nécessaires, en vingt-cinq ans, pour que ces cartes soient réellement mises en œuvre. En Suisse comme en France, des adaptations ont également été nécessaires, ce qui traduit à la fois les difficultés liées à l'élaboration de cet outil et les difficultés pour le faire appliquer.

### 7.1.2 ... identifier les zones à risque

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de préciser l'objet de la cartographie : que l'on parle de carte des dangers en Suisse, de carte des zones inconstructibles pour cause de risques en Vallée d'Aoste ou de Plan de prévention des risques (PPR) en France, la cartographie est avant tout celle de l'aléa. C'est particulièrement clair en Suisse<sup>1</sup> et en Vallée d'Aoste, mais la carte du PPR français, comme son nom ne l'indique pas, est fondée avant tout sur la délimitation de l'aléa<sup>2</sup>.

#### 7.1.2.1 La réalisation de la cartographie

S'il existe une réelle convergence dans les objectifs généraux du zonage des risques ainsi que dans la chronologie de la mise en place de ces zonages, on constate en revanche une différence nette dans le choix des acteurs chargés de la cartographie.

En Valais, l'élaboration du zonage est à la charge de la commune, qui confie dans la pratique la cartographie à des bureaux d'étude certifiés dont la liste est dressée par le canton. Chaque commune doit réaliser sa carte. Les aspects techniques et scientifiques de la cartographie sont ensuite vérifiés par les autorités cantonales, puis les services fédéraux se chargent de vérifier la légalité du zonage. Cette approche est spécifique au Valais. Dans le canton de Fribourg ou au Tessin, par exemple, la carte des dangers est réalisée par les services cantonaux.

En Vallée d'Aoste, l'État n'est pas impliqué dans le processus, qui est exclusivement régional. La cartographie des risques est réalisée sous la responsabilité de la commune par un bureau d'étude. Cependant, celui-ci n'est pas certifié comme c'est le cas en Valais et chaque commune peut faire appel au professionnel de son choix. Comme en Valais, la cartographie des risques est obligatoire dans chaque commune. La validité scientifique et administrative de la carte est vérifiée par l'administration régionale.

En France, la logique de répartition des compétences est

<sup>1</sup> La cartographie du risque en Suisse résulte de décisions fédérales mais elle est mise au point à l'échelle cantonale selon des modalités différentes, si bien que l'on est amené, selon les cas, à parler de la Suisse en général pour les décisions fédérales ou du Valais en particulier pour les parties de l'analyse qui ne s'appliquent qu'à ce canton.

<sup>2</sup> Par commodité de langage, on continuera à parler de cartographie du risque.

sensiblement différente puisque ce sont les services déconcentrés de l'État qui se chargent de l'ensemble du processus de réalisation des cartes. Le recours à des bureaux d'étude, de plus en plus fréquent, se limite à des études techniques spécifiques (hydrologie, modélisation, etc.). Autre différence avec le Valais et la Vallée d'Aoste : seules les communes recensées comme étant soumises à un risque sont dotées d'un PPR. Pour simplifier, en Valais et en Vallée d'Aoste les communes doivent prouver qu'elles ne sont pas exposées à un risque pour se dispenser de la réalisation du zonage, tandis qu'en France il faut que l'existence d'un risque soit prouvée ou tout au moins fortement pressentie pour justifier la réalisation d'un zonage.

#### 7.1.2.2 L'intégration du zonage dans les documents d'urbanisme

Le zonage définitif est réalisé sur une base cadastrale de façon à pouvoir être intégré dans les plans locaux d'aménagement. En Valais, la carte des dangers n'est pas en tant que telle opposable au tiers. Cependant, dans la mesure où les communes doivent tenir compte des risques naturels dans l'aménagement local, elles intègrent les cartes des dangers directement dans leurs Plans d'affectation de zones. En Vallée d'Aoste, la carte est intégrée, par la commune, dans le Plan régulateur général communal.

En France, la situation est légèrement différente dans la mesure où le PPR lui-même est opposable au tiers. En théorie, donc, la carte des dangers valaisanne ou la carte des risques valdôtaine ne sont qu'indicatives et pourraient très bien être modifiées par la commune avant d'être intégrées dans les plans communaux d'aménagement, alors que le PPR a un caractère réglementaire avant même son intégration dans le Plan local d'urbanisme. Dans la pratique, cependant, les communes reprennent la carte réalisée par les bureaux d'étude sans la modifier, pour ne pas risquer d'être accusées de minorer le risque.

La cartographie réglementaire des risques naturels obéit donc dans les trois cas à des objectifs similaires : il s'agit de délimiter les zones exposées à un aléa de façon à réglementer la construction dans ces zones<sup>1</sup>.

Cependant, ces objectifs convergents dissimulent des logiques sensiblement différentes. L'analyse des critères et des seuils utilisés pour délimiter les différentes zones, facteur a priori objectif, montre en effet des approches distinctes d'un cas à l'autre.

## 7.2 Les critères de délimitation des zones, révélateurs de choix politiques et économiques différents

On pourrait croire que la proximité géographique entre les trois terrains étudiés ainsi que la mise au point parallèle, depuis les années 1970, du zonage du risque, se traduisent par des procédures identiques. Or le choix des acteurs chargés de réaliser le zonage n'est pas le seul point de divergence entre les trois régions étudiées. Des éléments aussi divers que le nombre de zones, les critères de délimitation des zones ou même les seuils entre les différentes zones font l'objet d'approches différentes.

### 7.2.1 Le nombre de zones

Le nombre de zones de la carte définitive fait l'objet de choix différents d'une région à l'autre. En Suisse, les cartes de danger distinguent quatre zones de danger : élevé (zone rouge, inconstructible), moyen (zone bleue, constructible sous condition), faible (zone jaune, d'information) et résiduel (zone hachurée jaune et blanche). L'originalité de la Suisse tient à cette zone de danger (c'est-à-dire d'aléa) résiduel, qui correspond à la part incompressible du risque, dans laquelle on prévoit des mesures d'alerte et d'évacuation de la population.

En Vallée d'Aoste, la carte des risques ne compte que trois zones : aléa fort (zone rouge, inconstructible), aléa moyen (zone jaune, également inconstructible), aléa faible (zone verte, constructible sous condition)<sup>2</sup>. La spécificité de la Vallée d'Aoste tient à l'interdiction de construire également dans les zones d'aléa moyen. La réhabilitation de constructions anciennes y est en revanche autorisée. S'ajoute, dans le cas des avalanches, une zone violette, dans laquelle le risque n'est pas étudié de façon approfondie et qui n'est pas destinée à être ouverte à l'urbanisation à brève échéance. Si la commune envisage d'autoriser la construction dans cette zone, elle devra mener des études complémentaires. Cette zone violette représente en fait l'équivalent de la Carte de localisation probable des avalanches réalisée en France ; elle permet de disposer d'informations en dehors des zones habitées.

En France, le PPR comporte à la base deux zones : une zone de risque fort (zone rouge, inconstructible) et une zone de risque moyen (zone bleue, constructible sous condition). Progressivement ont été créées de nouvelles zones, destinées à mieux tenir compte de la spécificité des phénomènes. Ainsi, pour les inondations, certains services distinguent-ils désormais une zone spécifique pour le champ d'expansion des crues. Par ailleurs, dans les zones fortement urbanisées a été créée une zone violette correspondant à une zone d'aléa fort mais dans laquelle on ne peut pas envisager d'interdire toute nouvelle construction. Toutefois, le guide méthodolo-

<sup>1</sup> Progressivement, en France, la réglementation s'est étendue à l'utilisation du sol au sens large et non plus seulement à la construction. Depuis la loi de 2003 en particulier, les PPR peuvent en effet réglementer les pratiques agricoles et concernent également les zones non exposées à des risques mais dans lesquelles des modifications peuvent accentuer le risque (c'est le cas en particulier de certains versants avalancheux sur lesquels le déboisement pourrait accroître le risque).

<sup>2</sup> Loi régionale n° 11 du 6 avril 1998 portant dispositions en matière d'urbanisme et de planification territoriale en Vallée d'Aoste.



gique pour les PPR inondations ne mentionne que les zones bleues et rouges (MATE, 1999).

Le guide méthodologique pour les PPR avalanches fait en revanche explicitement référence à une zone jaune, correspondant à l'avalanche maximale vraisemblable, dans laquelle sont interdits les établissements recevant du public et pour laquelle les pouvoirs publics peuvent prévoir des mesures d'évacuation. Cette zone rappelle fortement la zone de danger faible ou résiduel que l'on trouve en Suisse. Pour les avalanches a également été créée une zone verte, non directement exposée au risque mais dans laquelle la construction de nouveaux bâtiments pourrait accroître le risque ou en provoquer de nouveaux (MEDD, 2004).

Le choix du nombre de zones n'est pas anodin. Plus le nombre de zones est grand, plus le zonage permet de nuances dans les niveaux d'aléa. Ainsi en France, les deux zones initiales conduisent-elles à une analyse assez schématique : le risque est fort, moyen ou considéré comme nul. Aussi, pour ne pas risquer de négliger une zone dans laquelle l'aléa est faible mais non nul, les services chargés de la cartographie peuvent-ils être tentés de l'inclure dans la zone bleue, alors même que le niveau d'aléa ne justifie peut-être pas des contraintes fortes. Inversement, en Suisse ou en Vallée d'Aoste, l'existence d'une zone intermédiaire entre l'aléa moyen et l'aléa nul permet-elle de limiter l'extension de la zone bleue.

Ces remarques pourraient sembler reposer sur un fil bien ténu. En fait, elles sont largement corroborées par le choix des seuils utilisés pour la délimitation des différentes zones.

### 7.2.2 Les seuils de délimitation des zones

Comparer les seuils utilisés pour délimiter les zones n'est pas forcément aisé. Les administrations des trois pays ou régions n'évoquent en effet pas toujours exactement les mêmes aléas. Ainsi, les textes officiels suisses distinguent-ils les inondations statiques ou dynamiques, les érosions de berges et les laves torrentielles, tandis que la législation valdôtaine ne parle que d'inondation au sens large et que les guides méthodologiques pour les PPR ne parlent de seuils que pour les inondations et les inondations par ruissellement urbain (en zone rurale périurbaine ou en zone urbaine). Il est donc parfois difficile de savoir de quel type de phénomène il est exactement question. Par ailleurs, même lorsque existent des critères chiffrés, ils ne sont pas obligatoirement exclusifs d'autres critères de type géomorphologique, hydrologique ou historique. L'intérêt de l'étude des seuils tient surtout à ce qu'ils permettent une comparaison précise et révèlent à ce titre des approches différentes du risque.

Les critères utilisés pour délimiter les zones sont également différents. Le cas des éboulements est significatif de ces difficultés. En Suisse, les directives fédérales imposent comme type de critère l'énergie cinétique dégagée par l'éboulement. En France, le guide méthodologique pour les PPR mouvements de terrain impose aux services instructeurs de tenir compte de l'énergie maximale des blocs pénétrant dans la zone (l'énergie cinétique) mais aussi de la probabilité qu'un

bloc entre dans la zone, ce qui ajoute un critère par rapport à la carte des dangers suisse. En Vallée d'Aoste enfin, il n'existe pas, dans des textes réglementaires pourtant très détaillés sur le sujet, de critère chiffré pour la délimitation des zones : les critères sont exclusivement géologiques et géomorphologiques (pente, traces d'éboulements antérieurs, etc.). Dans ce cas, comparer théoriquement les seuils de délimitation des zones est impossible. Le seul mode de comparaison envisageable consisterait à faire réaliser la carte des aléas d'un même lieu par des spécialistes des trois régions, afin de confronter les résultats.

Pour certains aléas cependant, les critères utilisés sont identiques. C'est le cas pour les avalanches : en Suisse, en France et en Vallée d'Aoste, le critère principal de délimitation des zones est la pression exercée par l'avalanche. Dans les trois cas, la limite entre aléa fort et aléa moyen est la même : une pression de 3 tonnes/m. Cette identité s'explique notamment par le fait que les travaux de l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA) de Davos, en Suisse, constituent une référence mondiale sur le sujet. En revanche, le seuil inférieur de l'aléa moyen diffère selon les cas. En Vallée d'Aoste, on parle d'aléa moyen à partir d'une pression de 0,5t/m<sup>2</sup>, alors que les seuils sont de 0,3t/m<sup>2</sup> en Suisse et 0,1t/m<sup>2</sup> en France (figure 7.1 p. 64). Le PPR se révèle donc, dans le cas des avalanches, beaucoup plus restrictif que la carte des risques valdôtaine ou la carte des dangers suisse, puisque pour une pression, par exemple, de 0,2t/m<sup>2</sup>, on sera en zone de risque moyen, avec des contraintes de construction, en France, alors que le niveau sera faible en Suisse et qu'il n'y aura pas de contrainte de construction, tout au plus l'organisation de l'évacuation.

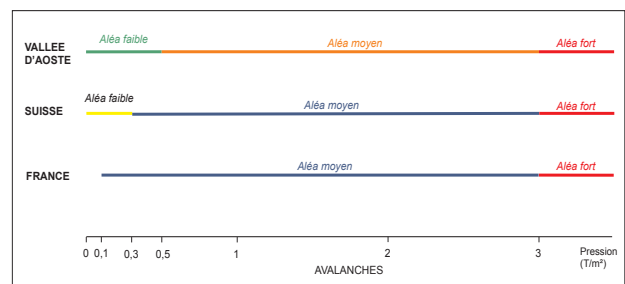


Fig. 7.1 Les seuils de délimitation des zones pour les avalanches en Suisse, Vallée d'Aoste et France

En ce qui concerne les inondations, on ne peut comparer que la Suisse et la France, la Vallée d'Aoste n'utilisant pas de critères chiffrés. Les directives suisses et françaises recommandent d'utiliser des critères de hauteur et de vitesse de l'eau, mais la combinaison entre ces critères varie d'un pays à l'autre, ce qui produit des résultats très différents. En France, une zone est classée « rouge » dès lors que la hauteur d'eau attendue est supérieure à 1 m et/ou la vitesse supérieure à 0,5 m/s. La plage comprise dans la zone rouge est donc très importante. En Suisse en revanche, est considéré comme soumis à un aléa fort tout terrain pour lequel le

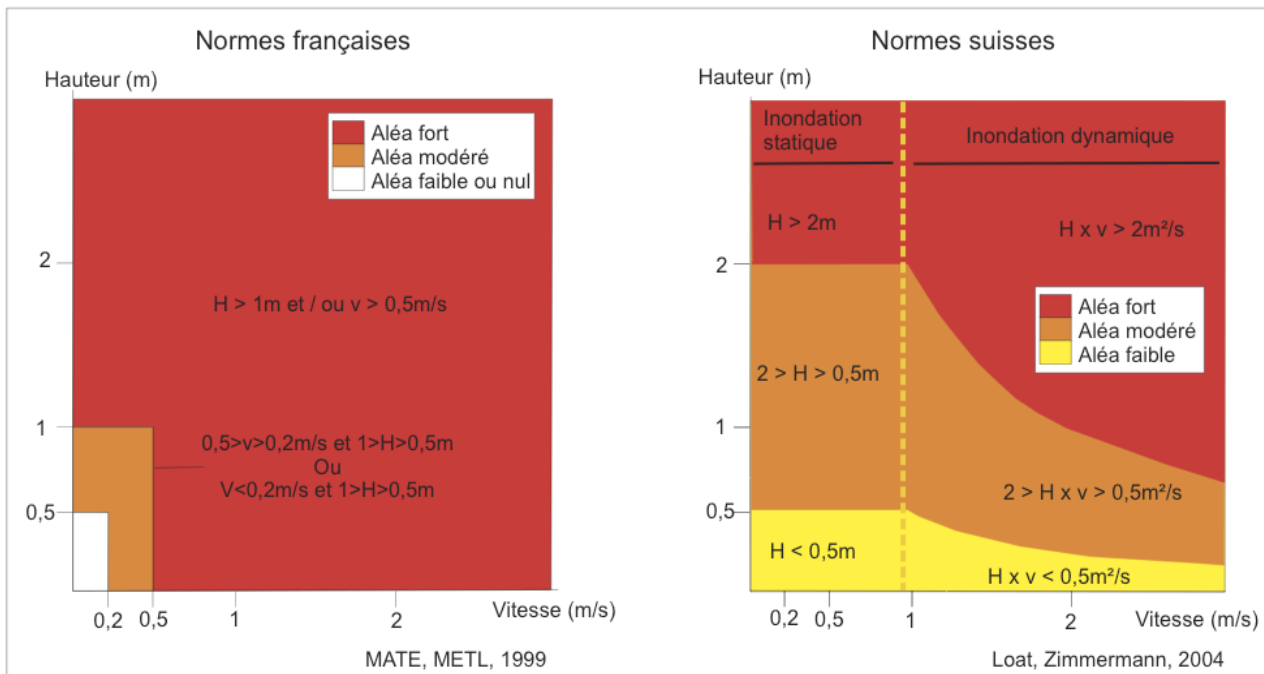


Fig. 7.2 Les seuils de délimitation des zones pour les inondations en Suisse et en France

produit de la hauteur et de la vitesse est supérieur à  $2\text{m}^2/\text{s}$  pour les inondations dynamiques ou pour lequel la hauteur d'eau attendue est supérieure à  $2\text{m}$  pour les inondations statiques. Lorsque l'on représente ces plages sur un graphique, on constate que les prescriptions françaises conduisent à considérer comme zone d'aléa fort des surfaces beaucoup plus importantes que les prescriptions suisses, en particulier pour les faibles hauteurs d'eau (figure 7.2 p. 65).

La comparaison met donc en évidence la dimension éminemment politique et économique de la cartographie des risques. Une dimension politique, dans la mesure où le choix d'un seuil plus ou moins élevé influence la superficie soumise à des contraintes et donc l'acceptabilité du zonage par la population concernée. Une dimension économique, parce que le choix d'un seuil permet de délimiter la zone menacée par un aléa et contribue donc à déterminer le coût des mesures de protection nécessaires.

### 7.3 Un problème de fond : la prise en compte des travaux de protection

La prise en compte des travaux de protection constitue l'un des points d'achoppement de la politique de zonage des risques naturels en France. Élus locaux et habitants s'indignent en effet fréquemment de ce que l'on réalise de coûteux travaux de protection — qu'ils financent d'ailleurs parfois — sans que cela permette de limiter la superficie des zones inconstructibles. Là encore, la situation française est assez originale.

#### 7.3.1 Le cas français

En France, la règle générale veut que le zonage des aléas ne tienne pas compte des ouvrages de protection. Le principe énoncé par le législateur est que les ouvrages de protection ne sont jamais infaillibles et qu'il faut tenir compte de leurs limites. Pour les PPR avalanches, le Guide méthodologique précise ainsi : « en règle générale l'efficacité des ouvrages, même les mieux conçus et réalisés, ne peut être entièrement garantie à long terme, notamment si leur maintenance et leur gestion ne sont pas assurées par un maître d'ouvrage clairement identifié. La qualification de l'aléa doit, par conséquent, être établie sans tenir compte des éventuels ouvrages de protection qui ne suppriment pas l'aléa ni ne réduisent son importance » (MEDD, 2004, p. 68). À la rigueur, il est admis que le zonage réglementaire intègre les travaux de protection si ces travaux offrent une garantie d'entretien et de fiabilité quasiment absolue. Ainsi le PPR avalanches permet-il de construire dans les zones d'aléa fort protégées si trois conditions sont réunies : absence d'autre site d'implantation possible à proximité ; les ouvrages présentent une sécurité et une fiabilité garanties avec un maître d'ouvrage identifié et un financement pérenne ; les avantages attendus de cette implantation sont supérieurs au coût des ouvrages et de leur entretien (*id.*). Ce type de dérogation doit cependant rester exceptionnel.

#### 7.3.2 Le cas valdôtain

En Vallée d'Aoste, les pratiques des bureaux d'étude sont un peu moins clairement définies. L'administration régionale indique que la cartographie de l'aléa n'est pas supposée tenir compte des ouvrages de protection existants, mais elle admet également que l'on peut tenir compte des effets des

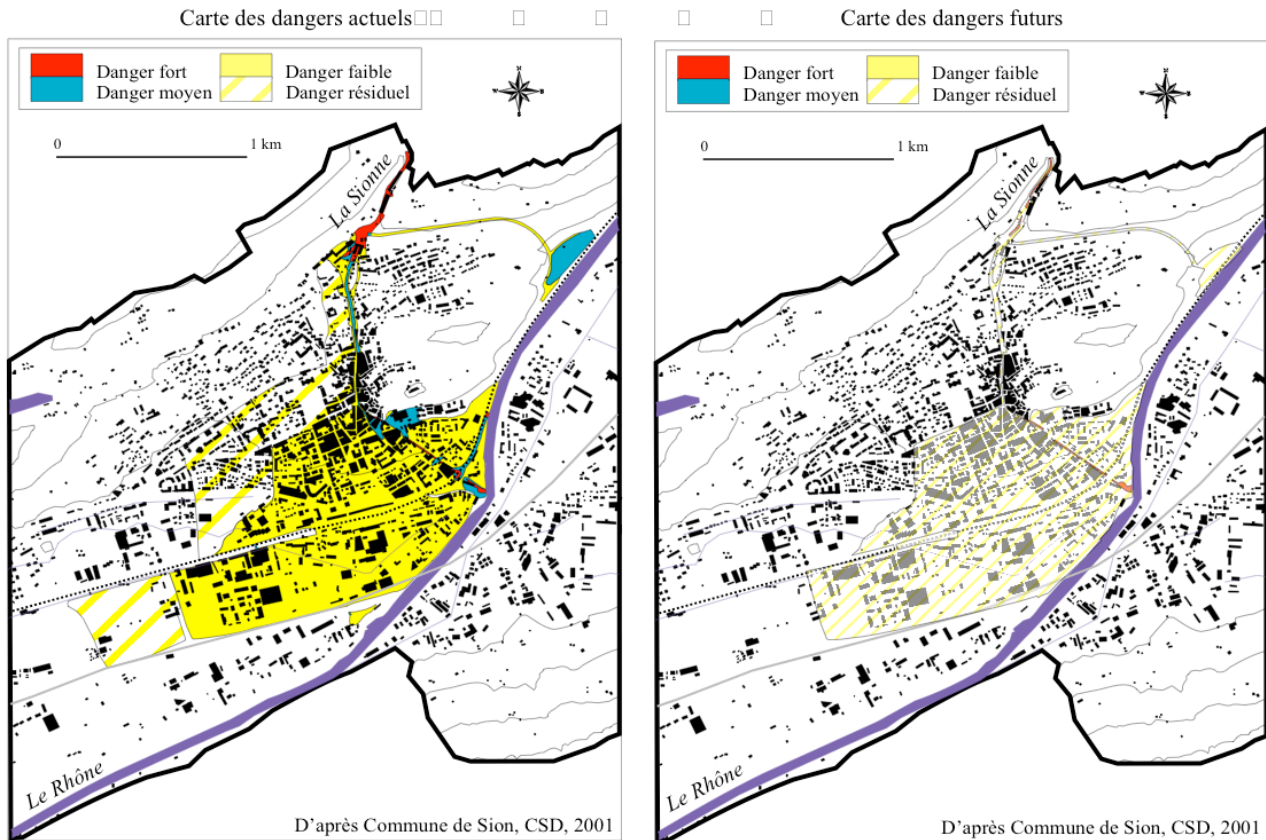


Fig. 7.3 Carte des dangers actuels et futurs liés à la Sionne dans la commune de Sion

ouvrages si ceux-ci présentent de bonnes garanties de durabilité. Dans les faits, en Vallée d'Aoste, la cartographie de l'aléa tient donc compte des ouvrages de protection, en particulier lorsqu'il s'agit de grands travaux de terrassement pouvant assurer une protection sur une assez longue durée. Ce type d'approche pose évidemment la question de l'entretien des ouvrages. Si en France les Guides méthodologiques PPR subordonnent la prise en compte des travaux de protection à des garanties d'entretien, aucun texte ne fixe ce type de réglementation en Vallée d'Aoste.

### 7.3.3 Le cas suisse

En Suisse, la législation permet de tenir compte des ouvrages de protection dans la cartographie de l'aléa. Cependant, à la différence de la Vallée d'Aoste, cette prise en compte est encadrée par la réglementation. Concrètement, la possibilité de tenir compte des ouvrages de protection se traduit par l'existence de deux types de cartes.

La procédure de cartographie du risque débouche dans un premier temps sur une carte dite des dangers actuels, qui délimite l'emprise spatiale des phénomènes en l'état actuel. Mais le processus ne s'arrête pas là. Il se poursuit par la réalisation d'une carte des dangers futurs, qui représente l'aléa après la réalisation de travaux de protection. En ce sens, la carte des dangers actuels constitue non seulement une base pour la réglementation de l'occupation du sol mais également un document essentiel pour la programmation

de travaux de protection.

La figure 7.3 p. 66 présente les cartes des dangers actuels et futurs de Sion. La ville de Sion, principale ville du Valais, est située sur le cône de déjection de la Sionne, dont elle a subi à plusieurs reprises les crues torrentielles dévastatrices. Le risque torrentiel est largement accentué par le fait que la Sionne emprunte dans la ville deux passages souterrains qui ne permettent pas l'écoulement de crues à forte charge solide. Les crues de 1944<sup>1</sup> et 1992, en particulier, ont causé des dégâts importants dans la ville (Pache, Moriggi, 1996). La carte des dangers actuels reproduite ici classe une bonne partie de l'agglomération en zone jaune d'aléa faible, avec des zones bleues et rouges au niveau des points de débordement. En l'état actuel, les contraintes à l'aménagement sont donc déjà faibles. La carte des dangers futurs, évaluant les aléas après la réalisation de travaux<sup>2</sup>, présente une situation encore plus favorable pour l'aménagement, puisque le danger faible est devenu résiduel et que la plupart des zones rouges ou bleues ont disparu.

La possibilité de modifier le zonage constitue sans aucun doute un argument de poids pour l'acceptation par la popu-

<sup>1</sup> Archives municipales de Sion, Tr.P.RT.Si.5

<sup>2</sup> Les travaux envisagés, et dont certains ont déjà été réalisés, consistent notamment dans l'élargissement et la modification du lit de la Sionne au niveau de la place des Tanneries, au cœur de la ville. Un barrage filtrant et une plage de dépôt ont été construits en amont de la ville après la crue de 1992.

lation des contraintes apportées par le zonage, puisqu'il est admis que le zonage est évolutif et qu'il sera corrigé si des travaux sont réalisés.

Le zonage réglementaire des risques naturels obéit donc, dans les trois cas étudiés, à un même objectif : réglementer la construction dans les zones à risque pour ne pas accroître la vulnérabilité. S'ajoutent parfois, selon les cas, d'autres objectifs, comme la planification de mesures de protection. Mais l'analyse des modalités de réalisation des cartes démontre que les approches de la cartographie sont différentes d'un pays à l'autre. La Suisse développe, de manière générale, une approche plus souple : les seuils de délimitation des zones sont moins contraignants qu'en France, et la Suisse assume pleinement et encadre la prise en compte des ouvrages de protection dans le zonage. Une démarche est engagée dans chaque commune en vue de la réalisation d'une carte des dangers. L'approche française est plus contraignante, les seuils utilisés sont beaucoup plus stricts, ce qui doit être mis en relation avec le faible nombre de zones du zonage définitif. En revanche, toutes les communes ne sont pas dotées d'un PPR. Par ailleurs le PPR n'est que peu évolutif par rapport à la carte des dangers suisse.

L'influence de ces modalités sur l'acceptation du zonage par la population concernée mériterait une étude approfondie. Cependant, les enquêtes menées auprès des élus locaux dans les trois régions (Peltier, 2005) laissent d'ores et déjà apparaître des différences sensibles dans le regard porté par les élus et les habitants sur les contraintes des cartes des risques : la carte des dangers est nettement moins critiquée par les élus locaux valaisans que le PPR par les maires des Hautes-Pyrénées.

En Vallée d'Aoste, la situation est un peu différente. La Région a emprunté aux pays voisins certaines de leurs méthodes, sans toujours inscrire cette démarche dans une logique très précise. Aussi certains aspects (la prise en compte des ouvrages de protection, par exemple), ne sont-ils pas toujours clairement définis. Par ailleurs, le choix de critères qualitatifs plutôt que quantitatifs ne facilite pas la comparaison avec la Suisse et la France.

En ce qui concerne ces deux derniers cas, il n'est pas question ici de juger si l'un des deux systèmes est meilleur que l'autre. En revanche, il faut remarquer que le zonage réalisé dans chacun des pays révèle des logiques différentes. Aussi toute tentative pour appliquer ici les mesures adoptées là ne peut-elle faire l'économie d'une réflexion sur la logique d'ensemble du zonage dans chaque pays, et sur les objec-

tifs recherchés. Elle ne peut non plus s'exonérer de la prise en compte du contexte socio-politique local, tant le zonage relève de logiques différentes, traduisant une approche du risque propre à chaque pays.

## 7.4 Bibliographie

- BOURRELIER P.-H. (dir.) (1997) — *La prévention des risques naturels. Rapport d'évaluation* — Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, Premier ministre, Commissariat général du Plan, Paris : La Documentation française, 702 p.
- LOAT R., ZIMMERMANN M. (2004) — « La gestion des risques en Suisse » — in Veyret Y., Garry G., Meschiné de Richemond N., *Risques naturels et aménagement en Europe*, Paris : Armand Colin, p. 108-120.
- MATE, METL (1999) — *Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques d'inondation — Guide méthodologique*, Paris : La Documentation Française, 123 p.
- MEDD (2004) — *Guide méthodologique, Plans de prévention des risques d'avalanches* — non publié, [en ligne], disponible sur [www.ecologie.gouv.fr](http://www.ecologie.gouv.fr), consulté en mars 2004, 106 p.
- PACHE L., Moriggi J. (1996) — *Le bassin-versant de la Sionne. Géomorphologie et aménagements* — Mémoire de licence (dir. J. Winistörfer) : Université de Lausanne, Institut de géographie, 121 p.
- PELTIER A. (2005) — *La gestion des risques naturels dans les montagnes d'Europe occidentale. Étude comparative du Valais (Suisse), de la Vallée d'Aoste (Italie) et des Hautes-Pyrénées (France)* — Thèse de doctorat en géographie, Université de Toulouse-le Mirail, 2 t., 741 p.
- PIGEON P. (1998) — « Représentation cartographique du risque et vulnérabilité liée à la pression touristique (Taconnaz, Les Houches et Vers-le-Nant, Chamonix) » — *Revue de Géographie Alpine*, t. 86, n° 2, p. 101-117.
- POTTIER N., VEYRET Y., MESCHINET DE RICHEMOND N., HUBERT G., RELIANT C., DUBOIS-MAURY J. (2004) — « Évaluation de la politique publique de prévention des risques naturels » — in Veyret Y., Garry G., Meschiné de Richemond N., *Risques naturels et aménagement en Europe*, p. 46-67.
- VEYRET Y., GARRY G., MESCHINET DE RICHEMOND N. (2004) — *Risques naturels et aménagement en Europe* — Paris : Armand Colin, 254 p.



## 8 Les plans de prévention des risques : le point après 10 ans

Liliane BESSON

Géologue expert, Administrateur de l'Institut des risques majeurs (IRMa), Grenoble. Ancien chef de la mission inter-services des risques naturels de l'Isère (MIRNat)

[liliane.besson@free.fr](mailto:liliane.besson@free.fr)

**Résumé.** — Cet article dresse un bilan critique de la procédure PPR. Il montre les évolutions apportées notamment en matière d'extension du champ d'application et d'affichage du risque. Cependant l'expérience, de plus de 10 ans, montre que si cette procédure offre une forte garantie sur le plan juridique elle n'en demeure pas moins très lourde. Les principaux freins résident dans la diversité des règles prescrites, notamment en matière de construction, dans les difficultés de leur mise en œuvre et de leur contrôle. Mais l'obstacle majeur demeure dans la définition de la responsabilité et du domaine de compétence de chacun des partenaires concernés. Malgré ces contraintes et son coût élevé, le PPR peut être considéré comme un bon outil de prévention des risques s'il est utilisé et appliqué avec discernement.

**Mots-clés.** — PPR, risques, prévention, bilan, cartographie, contraintes, responsabilités

**Title.** — *Risks Prevention Plans : the point after 10 years*

**Abstract.** — This paper draws up a critical assessment of the PPR procedure. It shows the evolutions brought in particular as regards extension of application field and risk display. The ten years experiment of PPR shows that this procedure offers a strong guarantee on the legal level but remains very heavy. The main constraints reside in the diversity of the prescribed rules, in particular as regards construction, in the difficulties of their implementation and their control. But the major hurdle remains in the definition of the responsibility and the field of competence of each partner concerned. In spite of these constraints and its high cost, PPR can be regarded as a good tool of risk prevention if it is used and applied with understanding.

**Key-words.** — PPR, risk, prevention, assessment, cartography, constraints, responsibilities

La procédure PPR, mise en place en 1995 par la loi BARNIER, est aujourd'hui la plus récente d'une série qui a commencé

vers les années 1960<sup>1</sup> avec les *périmètres de risques* définis par l'article R.111-3 du code de l'urbanisme (CU), suivis par les *Plans d'Exposition aux Risques naturels* (PER) en 1982, institués par la loi d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles.

### 8.1 Pourquoi une troisième procédure ?

Des difficultés majeures ont conduit le législateur à rechercher de meilleures dispositions. En effet, les périmètres de risques, servitudes d'urbanisme, se limitaient à subordonner uniquement l'acte de construire à des conditions spéciales. Tandis que les PER, qui élargissaient le champ d'application (tout type d'aménagement existant et futur), imposaient une mise en conformité pour l'existant.

Si cet élargissement constituait déjà un avantage indéniable pour une meilleure maîtrise des risques, l'obligation de conformité faite aux propriétaires a suscité une désapprobation de leur part et de celle des responsables des collectivités locales. Outre l'aspect pécuniaire (conformité à la charge des propriétaires), une difficulté technique de mise en œuvre (non disponibilité du foncier pour l'implantation de travaux de protection, aggravation du risque chez le voisin, etc.) a nui à l'application de la procédure PER. Cette mise en conformité, certes délicate, répondait pourtant à la nécessité de réduire la vulnérabilité des biens exposés.

Devant ce que l'on peut appeler un échec, le législateur, puisant dans l'expérience des deux procédures précédentes, a été amené, en écartant leurs difficultés d'application, à retenir et à rassembler leurs points positifs. Ainsi est née la loi de 1995 instituant les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR).

### 8.2 Un outil plus performant mais lourd

La loi support du PPR n'est plus une loi d'assurance, comme l'était la loi de 1982, mais une loi de sécurité civile, qui a donc élargi le champ économique initial.

Le PPR est un outil qui vise à limiter les conséquences humaines et économiques des catastrophes naturelles, dans

<sup>1</sup> Les plans de surface submersibles issus des décrets de 1935 et 1937 ne sont pas cités car ils étaient destinés à faciliter le libre écoulement des eaux, et non à protéger des enjeux comme le prévoient les textes ultérieurs.

une perspective de développement durable. Il a pour objectif, d'une part d'améliorer la sécurité des personnes, d'autre part d'arrêter la croissance de la vulnérabilité des biens et activités dans les zones exposées, et si possible de la réduire, afin de limiter, en cas de sinistre, les indemnisations dont le montant est largement supporté par la collectivité.

Le champ d'application (inondations, mouvements de terrain, avalanches et séismes communs aux anciens PER) s'étend aux incendies de forêts, aux éruptions volcaniques, aux tempêtes et cyclones. Le PPR est doté de possibilités d'intervention extrêmement larges pour réglementer le développement des zones concernées, y compris dans les secteurs non directement exposés. Il dispose de moyens d'action plus souples, depuis les prescriptions de toute nature (limitation des activités, des accès pour la sécurité des personnes, etc.) jusqu'à l'interdiction totale. Ces prescriptions peuvent notamment comprendre la réalisation d'études, pourvu qu'elles aient pour objet celui défini par la loi, mais aussi de définir les conditions de réalisation, d'utilisation ou d'exploitation des projets concernés.

La loi, qui essaie de couvrir le maximum de situations, offre à la lecture des textes assez complexes, mais qui doivent cependant être considérés comme une boîte à outils, dans laquelle on puise les moyens de mettre en œuvre les objectifs de la prévention des risques.

Cependant l'expérience, de plus de 10 ans aujourd'hui, montre que si cette procédure offre une forte garantie sur le plan juridique puisqu'elle possède son propre agrément, elle n'en demeure pas moins très lourde : il peut s'écouler jusqu'à deux ou trois ans, dans le meilleur des cas, entre le début des études techniques (ou la prescription) et l'approbation. Pendant ce long délai, seul le recours à l'article R.111-2 du CU permet de rendre opposables aux tiers les informations progressivement recueillies au cours de l'élaboration technique du dossier.

L'objectif de la prévention est bien d'afficher l'information « risque » le plus tôt possible dans les documents d'aménagement du territoire, en particulier les plans d'occupation des sols (POS) et les plans locaux d'urbanisme (PLU), afin d'éviter le développement d'une vulnérabilité par manque d'information. Le PPR est la solution idéale quand on peut disposer d'un nombre suffisant d'agents pour élaborer autant de PPR et au même rythme que les POS/PLU. C'est loin d'être le cas : en effet, même en sous-traitant toute la partie technique du dossier, le nombre est limité par le goulot d'étranglement constitué par le nombre de fonctionnaires devant piloter la procédure d'approbation (réunions en mairie au cours de l'élaboration, suivi de l'enquête publique, retour d'enquête, etc.). Il convient donc de rechercher la bonne adéquation : information risque disponible/économie de moyens. La circulaire interministérielle (Écologie — Équipement) du 21 janvier 2004 propose aux préfets de ne pas poursuivre la procédure PPR, si elle n'apparaît plus utile au regard des résultats des études engagées, et leur demande de porter les résultats de ces études à la connaissance des communes et de leurs groupements, pour qu'il en soit tenu

compte dans l'élaboration des documents d'urbanisme. C'est pourquoi, désormais, sur la base d'une réflexion menée pour hiérarchiser les besoins des communes en documents réglementaires et/ou informatifs, les préfets peuvent arrêter tout d'abord un programme prioritaire de PPR puis, par exemple, un programme de cartographies des aléas transcrites directement dans les documents d'urbanisme sans passer par la procédure PPR ; les informations affichées par ces cartes, rappelons-le non opposables, le deviennent dès l'approbation des documents d'urbanisme.

Les cas d'affichage des risques pouvant être traités de cette façon correspondent en général soit à des communes à faibles enjeux (les 22 000 communes exposées, répertoriées en France, ne nécessitent pas toutes l'élaboration d'un PPR pour répondre à l'obligation de tenir compte des risques dans l'aménagement de leur territoire), soit à des communes à plus forts enjeux qui entretiennent des relations de confiance réciproque avec les Services de l'État.

Compte tenu des moyens limités des Services, qui ne peuvent répondre aussi vite qu'il serait souhaitable à la nécessité d'afficher les aléas, et pour éviter que des aménageurs ne créent des situations difficiles à gérer ultérieurement et au pire nécessitant le recours... aux articles L.561-1 à 5 du code de l'Environnement (expropriation), l'urgence est de faire connaître l'aléa ! En conséquence, le pragmatisme conduit à ne pas être prisonnier du « tout-PPR », puisque d'autres outils existent pour répondre à cette nécessité. Il convient de choisir l'outil adapté au cas à traiter.

### 8.3 Quelques difficultés d'application des nombreuses règles ?

Le règlement des PPR édicte de nombreux types de règles que tout aménageur doit respecter : des règles d'urbanisme (implantation, volume, emprise au sol et densité des projets, ...), des règles de construction (études, fondations, drainages, murs renforcés, ...), des règles de gestion de l'espace, comme le stationnement de véhicules, ou d'autres règles comme le stockage de matériaux polluants ou le contrôle de l'étanchéité des réseaux, etc.

Dans le dossier de permis de construire (PC), seul le respect des règles d'urbanisme est vérifié par le service instructeur (service municipal, établissement public de coopération intercommunale, service de l'État). En effet depuis 1967, les règles de construction sont régies par le code de la construction et de l'habitation<sup>1</sup> et leur respect relève uniquement de

<sup>1</sup> La loi d'orientation foncière du 31-12-1967 a exclu le contrôle des règles de construction du champ d'application du permis de construire. Depuis la parution de ce texte, le respect de ces règles est seulement assuré par l'engagement du constructeur, qui devient ainsi responsable de l'application de la réglementation dans ce domaine. Cet engagement figure dans le dossier de permis de construire.

De plus, l'article 11 du décret d'application de la loi du 2-2-1995 complète le code de la construction par l'adjonction d'un article R.126-1, qui

la responsabilité du maître d'ouvrage ; ce qui soulève une difficulté : celle de fournir au pétitionnaire d'un permis, les règles de construction (études ou autres) spécifiques à son projet et dont il devra tenir compte.

Certes, ce dernier est censé être informé de ses obligations, d'une part lors de l'enquête publique du PPR, à laquelle tout administré est convié par voie de presse, d'autre part lors de l'établissement de sa demande, en remplissant l'imprimé dans lequel il est écrit, page 2, qu'il s'engage à respecter les règles de construction, sous peine de... De plus, le PC ne vaut pas garantie de sols (cf. jugement du Conseil d'État du 13 mars 1989, affaire Bousquet). Enfin, l'article L.421-3 du CU dispose que le permis de construire ne peut être accordé que si les constructions projetées sont conformes aux dispositions législatives et réglementaires concernant leur destination, leur nature, ..., leur assainissement, et si le demandeur s'engage à respecter les règles générales de construction prises en application du code de la construction et de l'habitation.

Mais l'expérience montre que, dans la majorité des cas, ces éléments échappent au pétitionnaire, car il ne cherche pas à aller au devant de l'information ! C'est donc aux Services qu'il revient de la lui porter. Dans ce but, certains départements ont élaboré des fiches-conseils de règles de construction : il s'agit par exemple de petits cahiers des charges très sommaires, qui expliquent aux demandeurs la manière de se prémunir contre tel ou tel phénomène, en attirant son attention sur des points particuliers et, dans certains cas, en préconisant la réalisation d'une étude spécifique et ce que l'on en attend. Elles sont remises dès que possible au maître d'ouvrage.

Une fois l'information parvenue au destinataire, est-elle prise en compte ?

Le cas le plus fréquent d'absence de prise en compte des règles de construction est l'ignorance des conclusions des études spécifiques (rappel : elles permettent d'adapter un projet de construction au terrain), et parmi celles-ci, les études géotechniques qui définissent, en particulier, le principe de la maîtrise des rejets d'eaux dans les secteurs sensibles aux glissements de terrain. Dans de tels terrains, le rôle potentiellement dommageable des rejets non contrôlés dont les eaux pluviales, est bien connu.

Si l'on considère l'obligation de maîtriser ces rejets comme une règle d'urbanisme, il s'agit alors de vérifier que le **principe du rejet**, en particulier celui des eaux pluviales, présenté dans le dossier n'est pas en contradiction avec les conclusions de l'étude. On comprend toute la difficulté de vérifier une règle d'urbanisme définie par une règle de construction !

Cette solution implique bien entendu la lecture de l'étude spécifique par les Services, elle peut présenter, en outre et le cas échéant, l'avantage d'apporter des précisions quantitatives locales à la carte d'aléa. Mais il ne s'agit pas de

vérifier son contenu, qui reste de la responsabilité du bureau d'études.

#### 8.4 Autres difficultés d'application

La mise en œuvre des mesures prescrites par les PPR, notamment multirisques, soulève également un certain nombre de difficultés. Compte tenu de la multiplicité des situations imposant par exemple une adaptation au terrain, les prescriptions des PPR ne peuvent avoir qu'une portée générale. Si, d'une façon générale, les règles d'urbanisme figurent correctement dans les permis de construire et sont mises en œuvre, comme nous l'avons vu ci-avant, le résultat semble plus aléatoire en matière de dispositions constructives. En effet, il n'existe que très peu de « règles de l'art ».

La rédaction et la mise à disposition de guide, tel que celui intitulé « construire en montagne : la prise en compte du risque avalanche », constituerait une aide précieuse pour les maîtres d'œuvre et les constructeurs individuels, notamment pour les glissements de terrain et le risque torrentiel. L'Agence pour la prévention des désordres et l'amélioration de la qualité de la construction édite des guides ; le guide technique de la construction individuelle, édition 1989, donne déjà les conseils élémentaires sur la nature des terrains, les reconnaissances de sol, les types de fondations, l'évacuation des eaux de ruissellement et de remontée de nappe, la réalisation des drainages etc., et les documents (DTU) de référence. Ces premiers guides techniques pourraient constituer une bonne base à développer et à compléter à l'intention des constructeurs et des pétitionnaires de permis de construire. Quant aux normes, elles n'existent que dans le domaine sismique.

Enfin, les contrôles par les services techniques des collectivités sont aujourd'hui quasi inexistant, y compris dans le domaine de l'assainissement où des obligations existent. De plus, des questions pratiques se posent, notamment :

- puisque l'on ne dispose pas d'études techniques préalables, comment prescrire des mesures sur l'existant permettant de définir les modalités de réalisation, tout en les rendant compatibles avec d'autres réglementations telle la défense contre les incendies ?
- un PPR ne pouvant contenir des données nominatives, comment afficher le fait que seul un immeuble ou une parcelle est concerné par une prescription et quelle autorité sera chargée de répertorier les propriétaires (voire locataires) pour les informer du contenu du PPR ?
- quelles sont les responsabilités de l'État s'il ne s'assure pas d'abord de la bonne information des administrés, puis si les mesures prescrites ne sont pas exécutées dans les cinq ans ? À supposer qu'il connaisse ces administrés, est-ce à lui ou au maire de les mettre en demeure de se conformer au règlement du PPR ? Quel rôle auront les sociétés d'assurance face à ce manque ?
- quelles sont les modalités pratiques de réalisation des mesures aux frais des intéressés ?



Enfin, l'article L.2212-2 5° du code général des collectivités territoriales (ainsi que la jurisprudence) met à la charge de la collectivité, dans la mesure de ses ressources, les travaux réalisés à des fins de protection sur des immeubles ou dans des propriétés privés : comment concilier ce principe avec la règle des 10 % s'appliquant à l'existant pour réaliser un ouvrage collectif dans un secteur menacé ?

D'un façon générale, comment faire participer des propriétaires à un ouvrage collectif dans la mesure où l'article L.151-37 du code rural (déclaration d'intérêt général) ne prévoit cette possibilité, en matière de « risque montagne », que pour les travaux présentant « du point de vue agricole ou forestier » un caractère d'intérêt général ou d'urgence ; même article ayant aussi été modifié par la loi sur l'eau (art. L.211-7 du CE) pour permettre de prendre en compte les « aménagements hydrauliques concourant à la sécurité civile » ?

## 8.5 Conclusion

Malgré son coût élevé (cf. encadré), le PPR peut être considéré comme un bon outil de prévention des risques s'il est utilisé et appliqué avec discernement. La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages, a complété et précisé le domaine d'intervention en modifiant le type d'enquête et en élargissant la consultation des élus mais aussi en apportant des dispositions nouvelles à prendre en compte dans les PPR, telles que les mesures de limitation de l'érosion des sols et l'utilisation du fonds Barnier pour diminuer la vulnérabilité des biens existants.

Quoi qu'il en soit, les difficultés d'application des contraintes liées à l'existence de phénomènes naturels résultent d'un problème de fond toujours d'actualité : celui de la définition de la responsabilité et du domaine de compétence de chacun des partenaires (État, collectivités territoriales, particuliers) vis-à-vis de ces questions. En effet, tant que ces domaines ainsi que leurs limites ne seront pas nettement établis, il ne pourra pas y avoir de doctrine claire.

### État d'avancement et coûts des PPR

Au 19 avril 2006, le MEDD a recensé 5 129 PPR approuvés, 317 PPR appliqués par anticipation et 6 214 prescrits ([www.prim.net/citoyen/definition\\_risque\\_majeur/definition.html](http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/definition.html)).

Le coût moyen d'un PPR multirisques (ex. : mouvements de terrain, crues des torrents et avalanches) en Isère est de 25 000 €. Ce montant comprend, outre les études techniques qui représentent environ 85 % des dépenses, les frais de procédure telles que les frais d'enquête publique et de duplication des dossiers. Ce coût moyen peut être largement dépassé dans certains cas (ex. : le coût du PPR de Chamonix (mouvements de terrain, crues des torrents et avalanches) comprenant son actuelle révision s'élève à près de 150 000 € (financement conjoint MEDD, commune de Chamonix)).

Si, dans la majorité des cas, le PPR multirisque concerne une seule commune, le PPR inondation intéresse toute une vallée donc a fortiori plusieurs communes. Le coût d'un PPR inondation établi « à dire d'expert » ne comprenant que des études hydrologiques qualitatives (archives et terrain), approche celui d'un PPR multirisque. En revanche, les études hydrauliques complétées par des modélisations numériques augmentent ce coût de façon importante (ex. : le budget du PPR inondation de la Bourbre, Isère — une dizaine de communes — s'élève à près de 103 000 € sans compter les nombreuses études existantes depuis 10 ans et dont il a fallu faire la synthèse).

La démarche d'expert, qui n'est pas une science exacte, comporte des incertitudes qui sont soit acceptées soit sujettes à discussion : une contre expertise est alors demandée. Il est vraisemblable que l'obligation d'informer de l'existence de risques les acquéreurs ou les locataires de biens immobiliers dans les zones couvertes par un PPR (art. L.125-5 du code de l'environnement) conduise à une augmentation du nombre de contres expertises et partant de là, le coût de tout type de PPR.

## Partie 4

### La carte, instrument de communication



## 9 Visualisation 3D de feux de forêts sur des modèles numériques de terrains de l'IGN

Sébastien THON, Gilles GESQUIÈRE et Romain RAFFIN

Laboratoire LSIS (UMR CNRS 6168), équipe LXAO IUT de Provence — Site d'Arles Rue Raoul Follereau — Route de Crau — 13200 ARLES

sebastien.thon@up.univ-mrs.fr

gilles.gesquiere@up.univ-mrs.fr

romain.raffin@up.univ-mrs.fr

**Résumé.** — Chaque année, des millions d'hectares de forêt sont détruits dans le monde. Afin de réduire un tel désastre écologique et financier, il est important de mettre en place une politique d'entretien des forêts. Ceci est particulièrement important dans les zones d'interface entre l'habitat et la forêt qui sont les plus en danger. Cependant, bien que la loi impose ces opérations de débroussaillage, elle est en pratique peu respectée en partie à cause d'un manque d'information. Dans cet article, nous proposons un logiciel d'aide à la sensibilisation et à la décision pour démontrer les effets de la pratique du débroussaillage. Notre application permet de simuler et de visualiser la propagation du feu sur des terrains réels selon différents scénarios de débroussaillage définis graphiquement par l'utilisateur. Le cœur de notre application consiste en une représentation en trois dimensions d'une simulation de propagation de feu combinée avec un Système d'Information Géographique.

**Mots-clés.** — Feux de forêt, débroussaillage, Système d'Information Géographique, simulation, réalité virtuelle.

**Title.** — *3D visualization of forest fires on Digital Elevation Models from the « Institut Géographique National »*

**Abstract.** — Millions of hectares of forest are destroyed by fire worldwide each year. In order to prevent this ecological and economic disaster, the efficiency of brush-clearing operations has been proven. It is especially important around urban areas where human life and property are at risk. However, even if such operations are imposed by the law, it is not always followed in practice especially because of a lack of information. In this paper, we propose a tool designed for pedagogical and decision making purposes to demonstrate the benefits of brush clearing operations. Our application allows simulating and visualizing a fire spread on real areas under different brush-clearing conditions graphically defined by the user. The core of our applica-

tion is a 3D visualization of a fire spread model combined with a Geographic Information System.

**Key-words.** — Forest fires, brush clearing, Geographic Information System, simulation, virtual reality.

### 9.1 Introduction

Chaque année, en particulier pendant la saison estivale, plusieurs millions d'hectares de forêts sont détruits par le feu dans le monde. Ces feux peuvent parfois prendre des proportions catastrophiques. Ainsi, le Portugal a perdu 25% de ses forêts en 5 ans (dont 424,000 hectares en 2003). En France, la zone sensible aux incendies de forêt couvre environ 5 millions d'hectares. En 2003, pour les 15 départements du sud-est, il est possible de dénombrer au total 61507 hectares de forêts détruites grâce à la banque de donnée des incendies de forêts en région méditerranéenne (Promethée, 2006). Afin de prévenir ces désastres écologiques, humains et financiers, il est important de mettre en place une politique de prévention des feux de forêts. En s'assurant de l'entretien et du nettoyage d'une importante surface de nos forêts, les forestiers sapeurs participent à la diminution du nombre d'éclosions des feux et au ralentissement de la propagation des incendies. Ces interventions primordiales contribuent à la préservation des espaces naturels et à la sécurité des moyens de secours durant leurs interventions. Par leur présence toute l'année sur les sites naturels du département, les forestiers sapeurs ont une connaissance parfaite du terrain et de sa topographie. Ils peuvent ainsi apporter de précieux renseignements aux populations sur les risques encourus et les gestes à éviter. Ils peuvent aussi rappeler que le débroussaillage est régi par la loi (article 32 de la loi d'orientation sur la forêt de 2001). Malheureusement, ce travail de sensibilisation ne permet pas toujours de convaincre ou de toucher toutes les communes ou tous les propriétaires. Dans cette problématique, un outil informatique d'aide à la sensibilisation et à la décision est intéressant. L'objectif est de sensibiliser des élus, des décideurs ainsi que les particuliers à l'intérêt d'entretenir les zones forestières par une pratique du débroussaillage, en montrant les effets induits lors de feux de forêt. L'aspect pédagogique de l'application est important. Pour cela, il est important de simuler la propagation du feu sur un terrain réel, de permettre une interactivité avec l'application afin de simuler différents scénarios.

narios de débroussaillage, et de mettre l'accent sur le réalisme de la visualisation par l'utilisation de la 3D.

Dans le cadre de leurs interventions les sapeurs pompiers utilisent des outils de gestion de situations tactiques orientées « métiers ». On peut par exemple citer le logiciel Firetactic qui permet à l'aide d'une cartographie 2D de positionner des moyens au cours d'une intervention et de simuler la propagation du feu de façon interactive (Picard, 2004). D'autres logiciels tels que CartoHub viennent en complément de ce type d'application et permettent d'obtenir une visualisation 3D simplifiée de cette situation au sol (CartoHub, 2006). Dans une application similaire nommée EVE qui sert à l'entraînement des sapeurs pompiers, la propagation du feu est alors simulée par un instructeur. Cependant, de telles applications dédiées à la gestion de situations tactiques ne pourraient être utilisées dans notre optique de logiciel pédagogique car elles sont trop complexes dans leurs fonctionnalités qui s'adressent à des spécialistes du feu de forêt.

Il n'existe par conséquent pas de logiciel qui corresponde au besoin pédagogique que nous avons décrit plus haut. Une composante importante de ce logiciel étant sa capacité à simuler la propagation de l'incendie, il faudra donc y inclure un modèle de propagation de feu. Le principal objectif des modèles de propagation de feu est de prévoir la valeur de propagation locale du front de feu, en fonction de données comme par exemple la végétation, la météorologie ou le terrain. Ces modèles de propagation sont nombreux mais se caractérisent souvent par une complexité que seuls maîtrisent des spécialistes, ainsi que par des temps de calcul importants nécessitant parfois des serveurs de calcul très puissants et coûteux. Dans notre cas, le modèle doit pouvoir être réglé intuitivement avec peu de paramètres, et d'autre part nous avons une contrainte de réactivité temps réel. Nous cherchons donc à appuyer notre application sur un modèle simple dans lequel il est possible de régler à minima le type de végétaux au sol, la vitesse et la direction du vent, ainsi que les points de dépôts de feu. Les modèles de propagation de feu peuvent être classés en deux types (EufireLab, 2002a). La première approche, empirique, se base sur une prédiction de la propagation basée sur les connaissances accumulées obtenues à partir de données issues de laboratoires ou de feux extérieurs expérimentaux (EufireLab, 2002b). La deuxième approche consiste à baser la propagation sur des lois de conservation physiques (masse, énergie, moment, ...) qui permettent de gouverner l'évolution du système formé par les flammes et son environnement. La deuxième approche étant trop coûteuse en temps de calcul et en mémoire et nécessitant un paramétrage trop complexe, nous avons préféré la première approche en choisissant le modèle Behave (Andrews, 1986). Malgré sa simplicité, ce modèle permet d'obtenir de bonnes indications de propagation en fonction du vent, de la pente du terrain et du type de végétation.

L'application que nous proposons et que nous présentons dans cet article permet de coupler un modèle de simulation de propagation de feu avec un système d'information

géographique et de visualiser le tout en trois dimensions. L'objectif de cette application est de permettre même à un non spécialiste en feux de forêts ou en informatique de faire ses propres essais de débroussaillage afin de mieux comprendre l'importance d'entretenir la forêt en particulier dans les zones interfaces entre l'habitat et la forêt (Cemagref, 2006). Via des outils très intuitifs, l'utilisateur peut éditer directement la carte de la végétation à la manière d'un calque sur une carte IGN, la modifier et tester le résultat grâce à une nouvelle simulation. L'utilisateur peut ainsi simuler le débroussaillage et constater son influence en ayant fait lui-même ses propres tests. La visualisation réaliste en trois dimensions permet d'intéresser l'utilisateur, de mieux lui faire appréhender le terrain avec la possibilité de le voir sous n'importe quel angle, de mieux l'immerger dans la simulation et par conséquent de renforcer l'impact pédagogique.

## 9.2 Le débroussaillage

Le Code Forestier impose le débroussaillage de la totalité des terrains situés en zone urbaine ou dans les lotissements, qu'ils soient bâtis ou pas. Chaque propriétaire d'habitation doit débroussailler jusqu'à 50 mètres de celle-ci (parfois plus selon les communes) et jusqu'à 10 mètres de part et d'autre des voies privées y donnant accès, y compris sur les propriétés voisines si nécessaire. L'article 32 de la loi d'orientation sur la forêt de 2001 définit le débroussaillage comme l'ensemble des « opérations dont l'objectif est de diminuer l'intensité et de limiter la propagation des incendies par la réduction des combustibles végétaux, en garantissant une rupture de la continuité du couvert végétal et en procédant à l'élagage des sujets maintenus et à l'élimination des rémanents de coupes ». Le Préfet dans chaque département arrête les modalités d'application de cet article en tenant compte des particularités de chaque massif. Sur le terrain, il s'agit de couper à ras du sol les plantes herbacées, les arbrisseaux, les arbustes et certains arbres. Les grands végétaux restants doivent être répartis de manière à ce que la propagation d'un incendie ne puisse se faire de l'un à l'autre ou encore d'un arbre à l'habitation. Certaines communes, possèdent un Plan de Prévention des Risques (PPR), dans lequel le débroussaillage peut faire l'objet de mesures particulières. Malheureusement, une étude du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement a montré que cette obligation de débroussailler est généralement peu respectée par les propriétaires qui y sont soumis, ce faible taux d'application étant en partie imputable à un défaut d'information (Agence MTDA, 2001).

## 9.3 Un outil pédagogique d'information sur le débroussaillage

Par conséquent, il est besoin de moyens d'information pour

démontrer l'importance et l'efficacité du débroussaillage auprès des élus et des riverains. Partant de ce constat, nous avons développé un outil pédagogique d'information en collaboration avec le Service Départemental d'Incendie et de Secours du département des Bouches du Rhône (SDIS 13). Cet outil permet de visualiser avec un grand réalisme les effets d'un feu de forêt dans différentes conditions de débroussaillage, en effectuant une simulation sur des données réelles de terrain fournies par l'IGN. L'impact pédagogique est d'autant plus fort que nous pouvons ainsi montrer au public l'intérêt du débroussaillage en prenant pour exemple leur propre région, voir leurs propres habitations.

Notre application est basée sur quatre grandes parties. Tout d'abord un Système d'Information Géographique intégré pour stocker l'information relative au terrain et aux habitations, ensuite un modèle de simulation de propagation de feu de forêt, puis une visualisation réaliste en trois dimensions, et enfin une interface homme-machine qui permet de simuler de manière très intuitive le débroussaillage.

### 9.3.1 Système d'Information Géographique

Afin de pouvoir visualiser en trois dimensions des données réelles de terrain, nous avons intégré à notre application un système d'information géographique simplifié permettant d'utiliser différentes bases de données de l'IGN :

- la BD ALTI, modèle numérique de terrain couvrant tout le territoire français avec une finesse d'échantillonnage d'un point tous les 50 mètres ;
- la BD ORTHO, photographies aériennes ortho-rectifiées couvrant tout le territoire français avec une finesse d'échantillonnage d'un pixel pour 50 centimètres ;
- la BD CARTO, décrivant de manière vectorielle l'emplacement, la nature et le nom d'éléments au sol, tels que les routes, les habitations, les cours d'eau, etc.

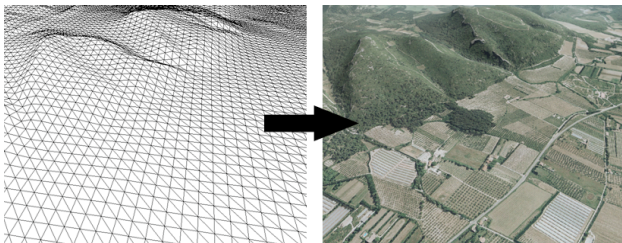


Fig. 9.1 Création de terrain 3D à partir de la BD ALTI et de la BD ORTHO de l'IGN

Dans notre application, nous combinons ces différentes bases de données de manière à offrir la possibilité de visualiser en trois dimensions tout le département des Bouches du Rhône. Différentes fonctionnalités permettent de se déplacer sur cette carte virtuelle, de zoomer. L'utilisateur peut alors sélectionner la zone sur laquelle il souhaite effectuer la simulation de feu de forêt et de débroussaillage.

### 9.3.2 Simulation de propagation de feu de forêt

Étant donné que nous souhaitons visualiser les effets d'un

feu de forêt dans différentes conditions de débroussaillage, il est nécessaire de reproduire le plus fidèlement possible le comportement d'un véritable feu de forêt.

Pour cela, nous utilisons une simulation de feu de forêt basée sur le modèle BEHAVE (Andrews, 1986) utilisant les équations de Rothermel (Rothermel, 1972). Cette méthode repose sur un principe de différences finies. Le terrain est discrétisé de manière uniforme en un ensemble de cellules caractérisées par différents paramètres physiques comme le type de combustible, la pente du terrain, etc. Au cours de la simulation, on calcule la propagation du feu de cellules en cellules voisines en fonction de la vitesse et de la direction du vent, du relief du terrain, du combustible de chaque cellule et du temps écoulé depuis la mise à feu.

Notre application étant destinée à être utilisée comme un outil pédagogique grand public, il était important que le contrôle de la simulation d'incendie soit très simple et ne nécessite aucune connaissance scientifique. Il est au contraire très intuitif car l'utilisateur doit uniquement définir la direction et la vitesse du vent et définir l'emplacement de départs de feu. Il ne reste plus alors qu'à lancer la simulation et à en visualiser les résultats au bout d'un temps voulu.

### 9.3.3 Visualisation réaliste en trois dimensions

Notre application bénéficie d'un affichage en trois dimensions permettant une visualisation très réaliste du terrain et de l'incendie. Divers algorithmes d'optimisation de l'affichage ont été mis au point afin de permettre un affichage temps réel, garantissant une interaction avec l'utilisateur qui peut observer la scène sous l'angle de vue qu'il souhaite.

#### 9.3.3.1 Affichage du terrain

La BD ALTI de l'IGN nous permet de connaître les élévations du territoire français avec un échantillonnage d'un point tous les 50 mètres. Nous utilisons ces informations pour reconstruire en 3D la surface du terrain au moyen d'un ensemble de triangles. Pour plus de réalisme, nous plaquons ensuite sur cette surface les orthophotos aériennes de la BD ORTHO de l'IGN en guise de textures (figure 9.1 p. 77).

Nous utilisons également des données provenant de SIG, plus particulièrement de la BD CARTO de l'IGN, pour enrichir la scène 3D. Ainsi, la description de l'emplacement des bâtiments au sol est utilisée pour les reconstruire en 3D par extrusion de ces contours 2D.

De plus, nous utilisons les indications de noms de lieux de la BD CARTO pour faciliter l'orientation des utilisateurs en disposant automatiquement des légendes pour désigner certains points clés du terrain (lieux, bâtiments particuliers, réservoirs, etc.). Ces légendes sont des liens hypertextes qui peuvent faire apparaître des informations complémentaires.

#### 9.3.3.2 Affichage de flammes et de fumée

Lors de la simulation d'incendie, nous affichons des flammes et de la fumée dans les zones déterminées comme étant en feu. Nous utilisons pour cela un « système de particules » consistant à représenter les flammes et la fumée par des

éléments de surface indépendants les uns des autres pouvant facilement être animés au cours du temps. Ces éléments de surface sont des quadrilatères sur lesquels sont plaquées avec effet de transparence des vidéos de flammes et fumées réelles (figure 9.2 p. 78).



Fig. 9.2 Vidéo de flamme réelle utilisée comme texture

Nous prenons en compte les données calculées par la simulation pour déterminer la hauteur des flammes à afficher en ajustant la taille de leurs quadrilatères. La direction des flammes et de la fumée est calculée en fonction de la direction du vent.

### 9.3.4 Interface homme-machine

Notre application est dotée d'une interface graphique très

simple d'utilisation qui permet de visualiser en trois dimensions tout le département des Bouches du Rhône et d'y sélectionner une zone sur laquelle sera effectuée la simulation de feu de forêt.

Une palette d'outil permet à l'utilisateur de définir de manière très intuitive la nature des combustibles au sol utilisés lors de la simulation, et ce à la manière d'un logiciel de dessin. En effet, il suffit de sélectionner le type de combustible dans une liste et de littéralement dessiner à la souris directement sur le terrain 3D au moyen d'un pinceau dont la taille est réglable. Pour simuler un débroussaillage, il suffit donc de dessiner dans la zone voulue du terrain avec le type de combustible « pas de combustible » ou « herbe courte ».

Une autre palette d'outils permet à l'utilisateur de définir les paramètres de la simulation. Ainsi, il est possible de positionner un nombre quelconque de foyers de départ de feu. On peut ensuite lancer la simulation d'incendie, la faire évoluer au cours du temps par incrément d'une minute, de dix minutes ou d'une heure, l'arrêter ou la relancer. On peut à tout moment faire évoluer les conditions météorologiques en modifiant la direction et la vitesse du vent. D'autres effets tels que la pluie ne sont cependant pas pris en compte.

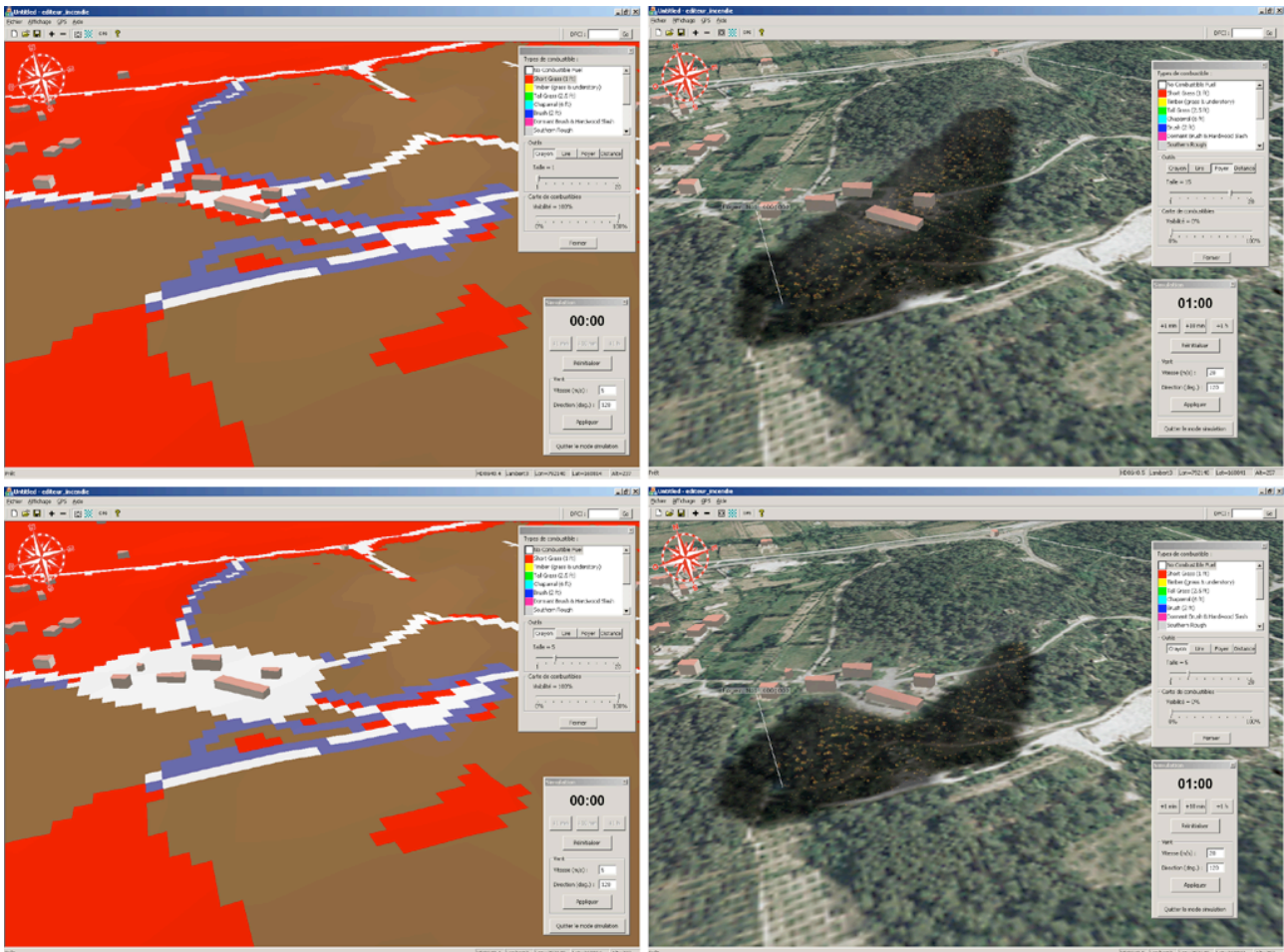


Fig. 9.3 Effets d'un feu de forêt sans débroussaillage (en haut), puis avec (en bas)

## 9.4 Résultats

Sur la figure 9.3 p. 78, nous montrons un exemple de débroussaillage virtuel. Sur les figures de gauche, nous montrons la carte de combustibles telle que peut l'éditer l'utilisateur à la manière d'un logiciel de dessin, avec la vision du terrain en transparence pour le guider. Sur les figures de droite, nous montrons le résultat de l'évolution de l'incendie en fonction de ces dispositions de combustibles.

Pour tester l'influence du débroussaillage, nous effectuons une simulation d'incendie sans et avec débroussaillage. Les conditions sont les mêmes, avec une vitesse de vent de 20 m/s et le même emplacement de foyer (en bas à gauche de l'image). Nous visualisons les résultats après un temps simulé d'une heure.

Sur les figures du haut, la simulation est effectuée dans les conditions réelles d'emplacement et de nature de végétation. On peut constater que l'incendie atteint les habitations. Sur les figures du bas, l'utilisateur modifie la nature des combustibles au sol en simulant un débroussaillage dans un périmètre de 50 mètres autour des habitations, respectant ainsi la loi du code forestier. Dans ce cas, on peut constater que les habitations sont préservées, le feu privé de combustible à leur abord étant obligé de les contourner.

## 9.5 Conclusion

Nous avons présenté un logiciel de sensibilisation et d'aide à la décision dans le cadre d'une politique de débroussaillage pour lutter contre les feux de forêt. Il permet de visualiser en trois dimensions n'importe quelle partie du département des Bouches du Rhône et d'y simuler des incendies. Des outils très intuitifs permettent de modifier virtuellement la végétation du terrain afin d'en visualiser l'impact sur un feu de forêt et de simuler ainsi un débroussaillage ou la plantation de nouvelles essences.

L'apport de la 3D dans notre application est très important. C'est tout d'abord un élément indispensable en ce qui concerne les calculs de la simulation car la propagation du feu dépend du relief du terrain. En effet, un feu ascendant brûle d'autant plus rapidement que la pente est forte, alors qu'un feu descendant est ralenti.

De plus, la visualisation du terrain en trois dimensions permet une meilleure compréhension de la carte, avec la possibilité de l'orienter à volonté sous n'importe quel angle de vue. Cela permet une meilleure lecture du terrain, notamment pour se rendre compte de sa difficulté d'accès pour des moyens de secours, ce qui est difficilement possible sur une carte classique en deux dimensions.

Enfin, le soin apporté au réalisme visuel de la 3D joue un rôle très important dans l'impact psychologique nécessité par notre application qui se veut un outil pédagogique.

Dans la suite de nos travaux, nous souhaitons utiliser un mo-

dèle de propagation de feu qui prenne mieux en compte les essences méditerranéennes, par exemple en nous appuyant sur les travaux que mène le Cemagref dans ce domaine.

## Remerciements

Nous remercions le commandant Beccari du SDIS 26 et le capitaine Frerson du SDIS 13 pour l'aide précieuse qu'ils nous apportent dans nos recherches. Nous remercions également le Centre Régional de l'Information Géographique de la Région PACA pour l'accès aux données de l'IGN.

## 9.6 Bibliographie

- Agence MTDA (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement) (2001) — *Propositions d'amélioration de la mise en application de la législation sur le débroussaillage en fonction de l'analyse d'expériences en retour* — 77 p.
- ANDREWS P.L. (1986) — *BEHAVE : fire behavior prediction and fuel modeling system — BURN Subsystem, part 1* — General Technical Report INT-194. Ogden, UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 130 p.
- CartoHub (2006) — [www.bitmanagement.de/documents/PM\\_EMI\\_E\\_20050825.pdf](http://www.bitmanagement.de/documents/PM_EMI_E_20050825.pdf)
- Cemagref (2006) — [www.aix.cemagref.fr/htmlpub/divisions/Afax/incendie.htm](http://www.aix.cemagref.fr/htmlpub/divisions/Afax/incendie.htm)
- EufireLab (2002a) — *Eufirelab : Euro-Mediterranean Wildland Fire Fire Laboratory, a « wall-less »* — Laboratory for Wildland Fire Science and Technologies un the Euro-Mediterranean Region ; Deliverable D-03-01 ; [www.eufirelab.org](http://www.eufirelab.org)
- EufireLab (2002b) — *Eufirelab : Euro-Mediterranean Wildland Fire Fire Laboratory, a « wall-less »* — Laboratory for Wildland Fire Science and Technologies un the Euro-Mediterranean Region ; Deliverable D-03-03 ; [www.eufirelab.org](http://www.eufirelab.org)
- PICARD C., GIROUD F., CHARREL B., RAFFALLI N. (2004) — *La simulation feu de forêts : FIRETACTIC* — Centre d'Essais et de Recherche de l'Entente, Entente Interdépartementale, Sécurité Civile, 13120 Gardanne, Actes de la 4<sup>e</sup> conférence Environnement et identité en méditerranée.
- Prométhée (2003) — *banque de donnée des incendies de forêts en région méditerranéenne ; Bilan 2003* — [www.promethee.com](http://www.promethee.com)
- ROTHERMEL R. C. (1972) — *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels* — Research Paper INT-115. Ogden, UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station ; 40 p.





# 10 Architecture d'un portail Spatial OLAP pour l'analyse des données sur les aléas naturels

Julien IRIS, Aldo NAPOLI, Franck GUARNIERI

*Pôle Cindyniques, École des Mines de Paris Rue Claude Daunesse, B.P. 207, 06904 Sophia-Antipolis Cedex*

Julien.iris@cindy.ensmp.fr

Aldo.napoli@cindy.ensmp.fr

Franck.guarnieri@cindy.ensmp.fr

**Résumé.** — La gestion des risques naturels oblige le secteur public et le secteur privé à se tenir informé sur l'état d'avancement des lots de données sur les aléas naturels. La construction d'indicateurs pertinents combinant différentes sources de données peut s'avérer utile : données descriptives, valeurs numériques, données spatialisées. De manière à visualiser l'état d'avancement des lots de données l'exploration de ces indicateurs au travers des critères géographiques (ex : national, régional, départemental, communal, cadastral), temporels (ex : périodes, années, mois) ou thématiques (ex : prévention, dommages) est pertinente. Pour naviguer dans cet ensemble, une structure de données flexible doit permettre de stocker les valeurs précalculées des indicateurs et de les rendre accessibles pour éditer différentes vues (cartes thématiques, graphiques, tableaux). Cet article montre comment la modélisation multidimensionnelle peut être un support pour l'aide à la décision sur les risques naturels en offrant une architecture de base de données dédiée à l'exploration et à l'analyse des données. La démonstration s'appuie sur la technologie Spatial OLAP.  
**Mots-clés.** — information géographique, cartographie, décisionnel, indicateurs, OLAP, reporting, web, risques naturels, prévention.

**Title.** — *Design and development of a spatial multidimensional portal for natural hazards data monitoring*

**Abstract.** — Management of natural hazards leads the public and the private sector to be aware of the status of all the information at different levels and to build pertinent indicators for the decision making process. The indicators can be built by combining different types of data : descriptive data, numerical data and geographical data. In order to have an overview of the system the exploration of the indicators through various levels would be interesting : visualisation through geographical levels : national, provincial, departmental, communal and cadastral ; visualisation through temporal levels : analyzed periods ; visualisation through thematic levels : prevention themes, hazard themes,

exposure themes. In order to navigate through all this information, a flexible structure must be implemented to store all the pre-calculated indicators and to make it easily accessible for reporting (graphics, charts, maps, tables).

Dimensional modelling can help in the decision making process by exploiting urban data and risk data. This paper gives an overview of the evaluation of dimensional modelling to support decision makers to get better insight on the natural hazards data in France. An application has been developed with Spatial OLAP.

**Key-words.** — geographical information, cartography, decision, indicators, OLAP, reporting, web, natural disasters, prevention.

## 10.1 Introduction

L'utilisation des technologies de l'information pour la gestion des risques naturels est un point essentiel pour toute organisation ayant besoin d'analyser et d'explorer les données et connaissances disponibles sur le sujet. Un ouvrage sur ce thème a été publié en 2003 donnant un panorama des expériences et outils opérationnels contribuant à une meilleure compréhension et à une meilleure prévention des risques naturels (*Guarnieri et al., 2003*). Trois axes principaux ont été mis en avant : la formalisation des données et des connaissances pour normaliser le dialogue entre les acteurs ; l'utilisation de technologies de l'information dédiées aux systèmes de gestion de bases de données environnementales, aux représentations spatialisées des modélisations et/ou statistiques de simulation ; le partage et l'accessibilité à l'information selon les besoins de chacun. Par ailleurs, en 2005, l'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (*AFPCN, 2005*) publie un livre blanc dont l'objectif est de mettre en avant une série de propositions sur les bien fondés de l'utilisation de l'information géographique pour mieux gérer les risques naturels en France et en Europe. Les principaux thèmes sont : accessibilité, transparence, confidentialité et subsidiarité. Le travail décrit dans ce papier s'inscrit dans l'esprit des deux ouvrages précédemment cités en présentant la formalisation et la conception d'un prototype pour l'analyse des données sur les risques naturels en France. La première partie présente le contexte français de gestion des risques naturels ainsi que les données disponibles sur les aléas naturels. La seconde partie

décrit le concept Spatial OLAP (du Centre de Recherche en Géomatique sous la direction du Professeur Yvan Bédard (Bédard, 1997) s'appuyant sur la modélisation multidimensionnelle et présente un cas d'étude avec la conception d'un prototype à l'échelle du département des Alpes Maritimes. La conclusion présentera les limites et les potentiels de cette approche technologique.

## 10.2 Contexte et données disponibles sur les aléas naturels

### 10.2.1 Le contexte des risques naturels en France

Le principe de protection face aux risques naturels s'est construit sur un partenariat public-privé entre l'État et les sociétés d'assurance avec le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles confiant aux assureurs la gestion courante de la relation avec les assurés (réalisation des expertises et des remboursements) et à l'État la gestion globale du régime (ajustement du taux de la surprime et publication des arrêtés déclenchant l'indemnisation des assurés). Depuis 1995, un nouvel outil a été créé afin de mieux contrôler l'urbanisme des zones exposées à des aléas naturels : le Plan de Prévention des Risques (PPR). Le PPR permet d'annexer des recommandations et des obligations au Plan Local d'Urbanisme sur les zones exposées fortement et modérément dans les communes identifiées à risque.

Une commune est vulnérable aux risques naturels lorsque des enjeux humains et/ou des infrastructures sont incluses totalement ou partiellement dans des zones d'aléa fort et/ou modéré ou bien lorsque la commune a déjà connue des catastrophes naturelles ou bien lorsque la commune a du retard concernant la mise en œuvre ou l'application du PPR. Près d'une commune sur deux est exposée à au moins un aléa naturel soit 20 000 communes : 11 500 aux inondations, 5 500 aux séismes, 4 500 à la sécheresse et 600 aux avalanche (Sanson, 2001). Dans ce contexte, le besoin de classification des communes paraît pertinent pour étudier l'évolution de la situation des communes face à ces risques. Ces indicateurs doivent prendre en compte à la fois la distribution spatiale des enjeux (ex : la population, les logements) et celle des aléas (ex : les enveloppes de crues, les zones de subsidence). Afin d'obtenir ce type de vue, il semble important d'identifier les sources de données disponibles permettant d'effectuer des combinaisons.

### 10.2.2 Les données disponibles pour l'analyse des risques naturels

De façon à réduire le degré d'incertitude et pour analyser les données sur les risques naturels, trois axes d'exploration ont été identifiés : les données sur les aléas ; les données sur les enjeux qualifiant les objets exposés aux aléas ; les données sur les conséquences qualifiant les dommages et les pertes résultant des catastrophes. La distribution spatiale étant au cœur de l'analyse cette partie se limitera à décrire

les sources de données spatialisées pour chacun des trois axes.

#### 10.2.2.1 Les données spatialisées sur les aléas naturels

Les cartes d'aléas sont réalisées localement à l'échelle d'un bassin de risque (ex : à l'échelle d'un bassin versant pour l'inondation). À l'échelle de la commune, elles acquièrent une valeur juridique dès lors qu'elles sont mobilisées pour réaliser le zonage réglementaire du PPR. Les cartes d'aléa sont stockées dans les préfetures, les mairies et les services de l'état mais l'accessibilité reste difficile pour des raisons organisationnelles. Cependant, des institutions publiques ou semi-publiques spécialisées dans l'analyse de certains phénomènes naturels publient des lots de données sur les aléas au format vectoriel directement exploitables pour des traitements d'information géographique. Concernant les inondations les DIREN (Directions Régionales de l'Environnement) et les DDE (Directions Départementales de l'Équipement) publient les Atlas des Zones Inondables (AZI) représentant la couverture géographique de la crue de référence ou la crue centennale. Concernant les mouvements de terrain, le Bureau de Recherche en Géologie Minière (BRGM) tient à jour des bases de données référençant notamment les cavités souterraines, les glissements de terrain et les zones argileuses exposées à l'aléa retrait et gonflement. Les lots de données sont directement téléchargeables depuis les bases de données spécifiques : BD CAVITE, BD MVT, BD ARGILES. Concernant les séismes le BRGM, EDF et le Ministère de l'Environnement et du Développement durable (MEDD) publient la base de données SISFRANCE contenant la localisation des épicentres. Concernant les avalanches le service de Restauration de Terrain de Montagne (RTM) publie les Cartes Locales de Prévention des Avalanches (CLPA).

#### 10.2.2.2 Les données spatialisées sur les enjeux

Les enjeux sont les biens humains, économiques ou environnementaux exposés à un aléa. Les données spatialisées pertinentes sont géoréférencées et qualifiant l'occupation du sol comme les types de bâtiments, les types d'activité, le nombre d'habitants par zone. Diverses bases de données d'informations géographiques produites par l'IGN (Institut Géographique Nationale) comme la BDTopo délimitant les contours et la hauteur des bâtiments ainsi que leur fonction avec la BDCartha donnant des informations complémentaires sur la fonction de chaque ensemble (zone industrielle, zone commerciale, zone agricole). Les DDE fournissent des informations sur les infrastructures publiques. Concernant la population, les principales sources de données proviennent de l'INSEE (Institut National des Statistiques et des Études Économiques) : des séries d'indicateurs démographiques et sur l'habitat sont attachées à des îlots (unités géographiques pour la diffusion de statistiques et de données sur le recensement).

### 10.2.2.3 Les données sur les conséquences des catastrophes

Il existe très peu de données centralisées concernant la quantification et la prévision des dommages résultant de phénomènes naturels extrêmes. Ces informations sont habituellement utilisées en interne par les entreprises d'assurance et de réassurance dans le cadre d'évaluation de leurs provisions techniques (calcul des Sinistres Maximum Possibles). Néanmoins, la base de données GASPARE (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques Naturels) du MEDD (Prim, 2005) contient les arrêtés catastrophes naturelles classés par commune et par aléa depuis 1982.

### 10.2.3 L'utilité de combiner les données hétérogènes

Il est bien connu que l'évaluation du risque est l'évaluation des conséquences du croisement des aléas et des enjeux. Ainsi, il est nécessaire de réaliser des combinaisons entre les sources de données spatialisées sur les trois axes explicites précédemment. L'hétérogénéité des sources de données spatialisées et non spatialisées pousse à l'utilisation d'outils permettant d'explorer les indicateurs sur différents niveaux d'agrégations géographiques (national, régional, départemental, communal), différents niveaux d'agrégations temporels, différentes thématiques (niveau de prévention, degré d'aléa, qualification de l'exposition). La partie suivante présente le concept de Spatial OLAP (SOLAP) qui pourrait être une solution technologique permettant d'explorer les données selon ces caractéristiques.

## 10.3 Modélisation multidimensionnelle et SOLAP

### 10.3.1 La modélisation multidimensionnelle

La modélisation multidimensionnelle et les technologies OLAP (On-Line Analytical Processing) permettent de réaliser une analyse rapide, plutôt intuitive et facile sur de grands volumes de données. Ces données sont modélisées sous la forme de cube de données (Agrawal et al, 1995) dans lesquels les dimensions constituent des axes d'analyse indépendants, et les sujets d'analyse, ou faits, sont caractérisés par des mesures qui sont pré-calculées à l'aide de fonctions d'agrégations selon les différentes granularités définies par le schéma hiérarchique de chaque dimension. Le cube de données offre une abstraction très proche de la façon dont l'analyste voit et interroge les données. Il organise les données en une ou plusieurs dimensions qui déterminent une mesure d'intérêt. Une dimension spécifie la manière dont on regarde les données pour les analyser, alors qu'une mesure est un objet d'analyse. Chaque dimension est formée par un ensemble d'attributs et chaque attribut peut prendre différentes valeurs. Les dimensions possèdent en général des hiérarchies associées qui organisent les attributs à différents niveaux pour observer les données à différentes granularités.

Les opérateurs OLAP (Roll-up, Drill-down, Slice, Rotate etc.)

permettent de visualiser les mesures pour des ensembles de membres et des niveaux de granularité sélectionnés par l'utilisateur (Tchounikine et al., 2005).

### 10.3.2 Les concepts de SOLAP

Le couplage des fonctionnalités des technologies OLAP et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) a ouvert la voie à l'émergence d'une nouvelle catégorie d'outils d'aide à la décision semble t'il plus adaptée à l'exploration et à l'analyse spatio-temporelles de ces données. Ces outils ont été regroupés sous la terminologie SOLAP (Spatial On-Line Analytical Processing) (Bédard, 1997). Par l'association de la représentation cartographique et de la navigation OLAP, l'utilisateur se déplace dans la structure multidimensionnelle et obtient des représentations des données via un affichage cartographique, tabulaire ou en diagramme statistique qui sont fonction des dimensions, des mesures et des niveaux de hiérarchie sélectionnés (Bédard et al, 2001). L'intégration de la donnée spatialisée peut s'effectuer au niveau des dimensions, les problématiques posées sont alors souvent centrées autour de la définition des hiérarchies spatialisées. Pour se faire, trois types de dimensions spatialisées sont définies : non géométriques (textuelles), géométriques et mixtes. Les deux dernières permettent la représentation, la visualisation et la requête cartographique. Concernant les mesures, deux types existent : les mesures conventionnelles classiquement utilisées dans OLAP et les mesures spatialisées. Actuellement, l'utilisation de mesures spatialisées reste au stade expérimental : le Centre de Recherche en Géomatique travaille sur l'implémentation d'opérateurs topologiques et métriques spécifiques pour les hypercubes.

### 10.3.3 Conception d'un prototype SOLAP pour l'analyse des données sur les risques naturels

Dans le cadre de l'évaluation de technologies dites de « web mapping », différents prototypes de portails Internet pour la diffusion de données sur les risques naturels ont été développés par le Pôle Cindyniques notamment pour les besoins de la Mission Risques Naturels (MRN, 2006). Après l'évaluation de MapServer (Chaze, 2004 et Guion, 2005), l'évaluation du potentiel de la technologie SOLAP a été entreprise. Un premier prototype d'un portail SOLAP a été développé au Québec par Chaze et Napoli (Chaze, 2005) avec la collaboration du CRG. Dans la continuité, une seconde version du prototype intégrant des sources de données hétérogènes et un nombre plus conséquent de dimensions a été mise au point. Cette partie détaille la conception de ce prototype exploitant la base de données GASPARE et les Atlas de Zones Inondables (AZI) à l'échelle du département des Alpes Maritimes.

À partir de la liste des sources de données spatialisées et non spatialisées disponibles sur le territoire, certaines ont été retenues pour réaliser le prototype. La base de données GASPARE stocke par commune : les arrêtés de catastrophes naturelles ; l'avancement des procédures concernant la mise en œuvre des PPR ; l'avancement de l'information préven-

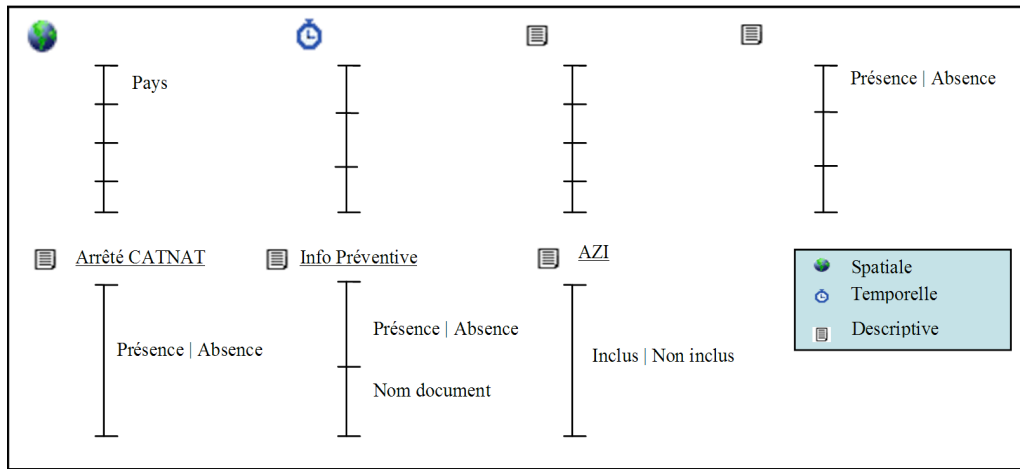


Fig. 10.1 Liste des dimensions

tive avec les Documents Communaux Synthétiques (DCS) et les Dossiers d'Information Communaux sur les Risques Majeurs (DICRIM). Aucun document n'est stocké dans la base de données ; uniquement certaines métadonnées (essentiellement des dates). La seconde source de données utilisée sont les AZI fournies par les DIREN et les DDE. Ces cartes sont généralement réalisées à l'échelle 1/50 000. Le format disponible est le format vectoriel en ce qui concerne les Alpes-Maritimes.

pas de PPR ou équivalent prescrit non incluses dans une AZI et sans information préventive ; nombre de PPR ou équivalent approuvés dans les communes n'ayant pas d'arrêté de catastrophe naturelle avec de l'information préventive. Chaque mesure est calculée pour une combinaison de dimensions possible et agrégée pour chaque niveau hiérarchique des dimensions sélectionnées. Une valeur d'une mesure constitue une cellule du cube à l'intersection des dimensions. La valeur d'une mesure est nécessairement numé-

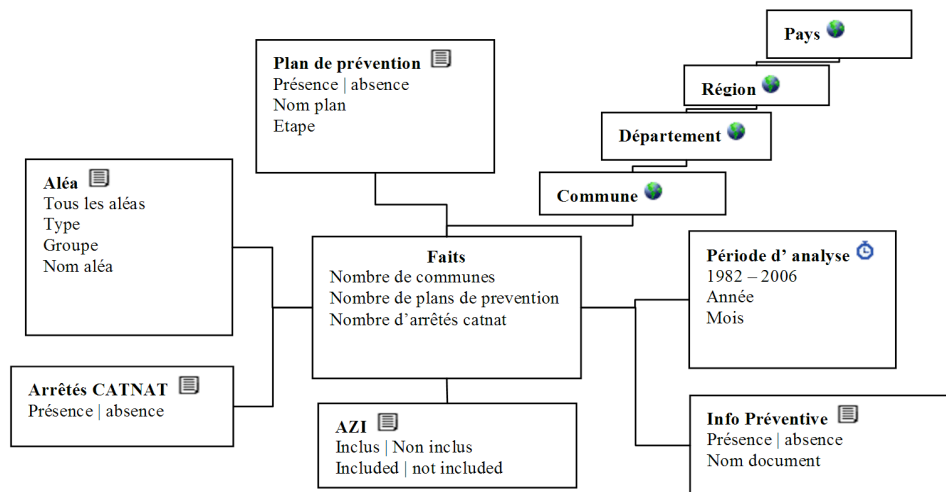


Fig. 10.2 Modèle de données multidimensionnel ou hypercube

La liste des indicateurs sert à définir les caractéristiques de la base de données multidimensionnelle. Chaque indicateur doit être décrit avec précision afin d'identifier les dimensions et afin de localiser quelles parties des données sources serviront pour les calculs. Les indicateurs requis sont de la forme suivante : nombre de communes incluses dans une AZI avec de l'information préventive avec des arrêtés catastrophes naturelles et sans PPR ou équivalent approuvé ; nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles dans les communes n'ayant

rique. Les mesures identifiées sont le nombre de communes, le nombre de plans de prévention, le nombre d'arrêtés catastrophes naturelles. Les dimensions sont divisées en trois catégories : dimensions spatialisées (ou géométrique) et les dimensions non géométriques (figure 10.1 p. 84). Dans cette application, il a été décidé de décomposer les dimensions non géométriques en deux sous catégories : les dimensions temporelles et les dimensions descriptives.

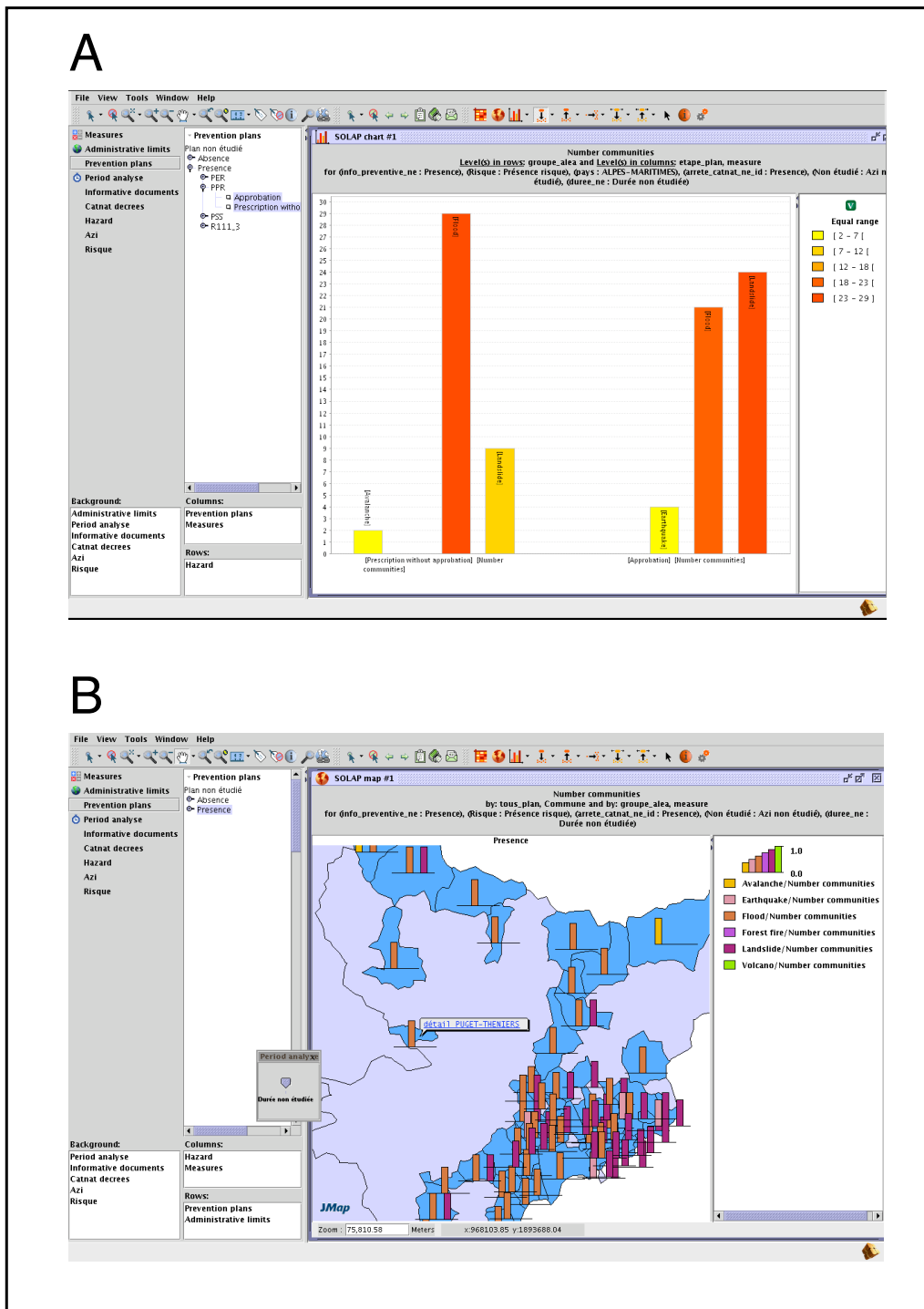


Fig. 10.3 Exemples de vues obtenues dans SOLAP à partir de l'hypercube. A : vue graphique « histogramme », B : vue « cartographique »

La construction de l'architecture SOLAP repose sur la conception de la base de données multidimensionnelle. Dans le cadre de ce travail, la base de données multidimensionnelle a été créée dans un environnement relationnel (fait référence à du ROLAP qui est un mode de stockage relationnel du multidimensionnel) (Kimball et Ross, 2002). Le modèle de données a une architecture en étoile avec au centre une

table de faits et autour les tables des dimensions (figure 10.2 p. 84). La table des faits contient toutes les clés étrangères des tables de dimension et les mesures.

Avant d'être intégrées dans un modèle multidimensionnel, les données brutes subissent un certain nombre de transformations. Elles sont nettoyées afin d'éliminer les erreurs de codage puis recodées en fonction des nouvelles classifica-

tions définies par les niveaux hiérarchiques. La dimension « Limite Administrative » est représentée géométriquement à l'aide de la BDGEOFLA de l'IGN contenant les polygones des régions, des départements et des communes. SOLAP fonctionnant à l'heure actuelle avec un environnement relationnel dit ROLAP à la différence d'un environnement purement OLAP, la base de données multidimensionnelle a été réalisée sous MYSQL 4.0.

## 10.4 Conclusion

La modélisation multidimensionnelle offre la possibilité aux utilisateurs d'explorer avec plus de flexibilité des données précalculées. Les valeurs ont été calculées pour toutes les combinaisons possibles entre les sept dimensions du cube pour les Alpes Maritimes (figure 10.3 p. 85). La table des faits devient rapidement volumineuse du fait du nombre de niveaux hiérarchiques pour chaque dimension. Il convient en l'état de l'outil de se limiter au strict nécessaire concernant le nombre de dimensions et le nombre de niveaux. Les temps de chargement du cube sont par conséquent très importants. En toute logique, le CRG est en train de travailler sur l'agrégation à la volée qui diminuerait le volume de la table des faits. L'absence d'opérateur topologique limite le degré d'analyse spatiale. Le CRG travaille sur ces questions (Marchand et al., 2001). SOLAP présente des caractéristiques intéressantes pour l'utilisateur qui souhaite prendre du recul face aux données sur les risques en lui laissant la possibilité de visualiser les résultats sous différents angles. La navigation du niveau détaillé au niveau agrégé (aussi bien sur les dimensions concernant les aléas que les dimensions concernant les enjeux) permet de donner plus de support pour la décision. Potentiellement il serait intéressant de combiner d'autres sources de données spatialisées et non spatialisées sur les aléas, sur les enjeux et sur les conséquences afin d'étudier de manière plus fine la vulnérabilité ; combiner les cartes d'aléas sur les inondations, sur la sécheresse, sur les mouvements de terrain avec les contours des îlots IRIS de l'INSEE ou avec les permis de construire géolocalisés afin d'évaluer la vulnérabilité à l'échelle infra-communale.

## Remerciements

Ce travail est basé sur une collaboration avec le Centre de Recherche en Géomatique ([www.crg.ulaval.ca](http://www.crg.ulaval.ca)) et l'entreprise Kheops Technology ([www.kheops-tech.com](http://www.kheops-tech.com)) en charge de la commercialisation de SOLAP.

## 10.5 Bibliographie

- AFPCN (2005) — *S'informer pour réduire les risques naturels* — Livre blanc, Les publications de l'AFPCN.
- AGRAWAL R., GUPTA A., SARAWAGI A. (1995) — *Modeling Multidimensional Databases* — IBM Research Report, September 1995.
- BÉDARD Y. (1997) — *Spatial OLAP* — Vidéoconférence. 2<sup>e</sup> Forum annuel sur la R-D, Géomatique VI : Un monde accessible, 13-14 novembre, Montréal.
- BÉDARD Y., MERRETT T. & HAN J. (2001) — *Fundamentals of spatial data warehousing for geographic knowledge discovery* — Geographic Data Mining and Knowledge Discovery.
- CHAZE X. (2004) — *Conception et développement d'un portail Internet sur les risques naturels en France à l'aide de la technologie MapServer* — Rapport de stage ENSG en partenariat avec Pôle Cindyniques., 80 p.
- CHAZE X. (2005) — *Conception et développement d'un portail Internet sur les risques naturels en France à l'aide de la technologie SOLAP* — Rapport de stage ENSG en partenariat avec Pôle Cindyniques et le CRG.
- Collectif sous la direction de Guarnieri F. (2003) — *Systèmes d'information et risques naturels* — Les presses de l'École des Mines de Paris, 239 p.
- GUION N. (2005) — *Conception et développement d'un portail Internet sur les risques naturels en France à l'aide de la technologie CartoWeb 3* — Rapport de stage ENSG en partenariat avec Pôle Cindyniques, 80 p.
- KIMBALL R., ROSS M. (2002) — *The Data Warehouse Toolkit* — 2nd edition, Eyrolles editions.
- MARCHAND P., BÉDARD Y., EDWARDS G. (2001) — *A hyper cube-based method for spatio-temporal exploration and analysis* — Geoinfomatica.
- MRN (2006) — [www.mrn-gpsa.org](http://www.mrn-gpsa.org) Mission Risques Naturels.
- Prim (2005) — [www.prim.net](http://www.prim.net) site sur la prévention des risques majeurs, MEDD.
- SANSON G. (2001) — *Évaluation des dispositifs de secours et d'intervention mis en œuvre à l'occasion des tempêtes des 26 et 28 décembre 1999* — Rapport complémentaire de la mission interministérielle, remis au Premier ministre, 91 p.
- TCHOUNIKINE A., MARYVONNE M., ROBERT L., TAHER A. (2005) — *Panorama de travaux autour de l'intégration de données spatio-temporelles dans les hypercubes* — Revue des Nouvelles Technologies de l'Information (RNTI) — [liris.cnrs.fr](http://liris.cnrs.fr)

# 11 Le citoyen a droit à l'information sur les risques qu'il encourt en certains points du territoire et sur les mesures de sauvegarde pour s'en protéger

Martine TABEAUD et Xavier BROWAEYS

Université Paris Panthéon Sorbonne, Institut de géographie,  
191 rue saint jacques, 75005 Paris

tabeaud@univ-paris1.fr

**Résumé.** — La législation française a renforcé le droit des citoyens à l'information sur les risques qu'ils encourent. Les outils d'information actuels utilisent l'écrit ou la carte dans des documents officiels de type DDRM (dossier départemental des risques majeurs) ou DCS (dossier communal synthétique). Les auteurs posent la question de leur efficacité et de leur dimension interactive souvent limitée. Ils proposent le développement d'outils vidéo pour favoriser la connaissance et l'appropriation des risques par les populations concernées.

**Mots-clés.** — risques naturels, inondations, information du public, conscience du risque, communication, vidéo

**Title.** — *Information of citizens on natural hazards*

**Abstract.** — French laws protect and inform citizens from natural hazards, notably with official documents as DDRM (dossier départemental des risques majeurs) or DCS (dossier communal synthétique). However, such information tools used by public authorities are not efficient enough. Authors propose to develop tools based on video to increase the awareness and disaster preparedness of flood-prone populations.

**Key-words.** — natural hazards, floods, public information, awareness of risks, communication, video.

En matière de maîtrise des risques, lorsqu'une commune élabore un projet puis un plan d'action, elle doit s'intéresser aux réglementations et aux solutions techniques mais surtout faire en sorte que le citoyen s'approprié les problèmes liés aux risques. C'est la condition indispensable à la « durabilité » des politiques, qui, seulement ainsi, feront partie de la culture, du bien commun de tous les habitants et usagers d'un territoire.

Donc recenser les risques, les archiver, les mettre en cartes, en SIG est une condition nécessaire mais pas suffisante, loin de là. Aujourd'hui, la question essentielle est celle de la vul-

néralité des personnes et des biens. Pour réduire cette vulnérabilité, les experts de l'aménagement, les universitaires, les urbanistes... ne peuvent se contenter de produire des informations incompréhensibles par le grand public mais doivent aussi communiquer sur les risques. La transmission des informations doit se faire communication et permettre l'appropriation par les citoyens des risques qu'ils encourent.

## 11.1 L'information sur les risques : un droit

### 11.1.1 Une législation

En France, l'article 12 de la loi du 22 juillet 1987 (loi n° 87.565) stipule que « *le citoyen a le droit à l'information sur les risques qu'il encourt en certains points du territoire et sur les mesures de sauvegarde pour s'en protéger* ». Son but est de sensibiliser la population aux risques existants, de l'informer des mesures à prendre et de la conduite à tenir en cas d'accident. Un décret en date du 11 octobre 1990 précise le contenu et la forme des informations auxquelles doivent avoir accès les personnes susceptibles d'être exposées à des risques majeurs ainsi que les modalités selon lesquelles ces informations sont portées à leur connaissance.

### 11.1.2 Les documents réglementaires

L'information préventive doit s'appuyer sur plusieurs documents faisant l'inventaire des « *facteurs exogènes aléatoires des risques majeurs (naturels et technologiques)* » !

Pour réaliser l'inventaire des risques majeurs, une Cellule d'Analyse des Risques et d'Information Préventive (CARIP) a été constituée dans chaque département ; elle est placée sous l'autorité du Préfet. Elle regroupe les principaux acteurs départementaux du risque majeur et de la sécurité civile (pompiers, DDE, ...). Elle établit le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM), document « non opposable aux tiers », donc simple document de sensibilisation destiné aux responsables et acteurs du risque majeur du département (novembre 1994). Au DDRM, s'ajoute le Dossier Communal Synthétique (DCS), qui est établi conjointement par l'État et la commune à partir du DDRM. Les Préfets ont ensuite établi la liste des communes à risques et défini un calendrier pour que tout citoyen soit informé dans un délai de cinq ans (circulaire du 25 février 1993).



À partir de ces documents, les maires doivent développer, dans leurs communes, une campagne d'information sur les risques majeurs. Cette information préventive est obligatoire dans les communes où ont été identifiés des enjeux humains, c'est à dire un risque de victimes.

Pour mettre en œuvre cette obligation, le maire est chargé de :

- l'établissement du Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM),
- l'affichage réglementaire,
- la transmission à la population « *sous des formes appropriées* » et à son initiative.

## 11.2 La sensibilisation sur les risques : des formes appropriées

### 11.2.1 Être accessible ?

Dans la plupart des cas, le DICRIM et le DCS sont seulement consultables aux services de l'urbanisme des Mairies. Au mieux, des textes, des cartes, le plus souvent uniquement pour le risque inondation, et des consignes de comportement, sont mis en ligne sur le site internet de la commune. Avoir accès à ces informations suppose une démarche volontariste. Il faut se déplacer vers des lieux spécifiques et à des moments spécifiques, ce qui dissuade nombre de personnes. Et même les experts de tel environnement local, au cours de leurs déplacements de travail ou de loisirs deviennent usagers temporaires de territoires qu'ils connaissent mal. De plus, les modalités de consultation sur place ou à distance reposent sur un savoir-faire non-partagé par tous (dossier complexe, maniement d'ordinateur). Or, ceux qui sont exclus de ces connaissances sont probablement les personnes les plus « à risques ».

Par ailleurs, l'information ainsi transmise est peu compréhensible soit par l'échelle du document (difficile d'identifier sa rue, sa maison), soit par la légende (des cartes de zonage réglementaire du risque inondation où la zone à fort aléa en rouge ne se superpose jamais aux zones fortement urbanisées), soit par des consignes générales de comportement qui font fi des réactions immédiates habituelles.

### 11.2.2 Être partagé ?

Or, pour anticiper, c'est-à-dire évaluer des dégâts potentiels comme c'est le cas des risques, il est nécessaire d'associer au diagnostic des aléas, les subjectivités des individus, des groupes sociaux, des collectivités et des associations. C'est-à-dire de les intégrer à la réflexion commune. L'évaluation du risque ne peut être issue que d'un travail collectif dans lequel sont pris en compte les facteurs objectifs mais aussi leurs « échelles de valeur ». Les mesures de prévention et le principe de précaution ne seront assimilés que s'ils reposent sur une logique de responsabilité, c'est-à-dire une participation active des citoyens.

La progression vers l'appropriation citoyenne de la maîtrise des risques dépend certes du type de risque encouru mais

aussi du niveau culturel d'appréhension de la problématique des risques et plus généralement de la culture, des usages, des pratiques et des représentations locales. C'est un travail de maturation collective lent mais incontournable. Des dispositions prises autoritairement dans l'urgence ne peuvent avoir un impact réel à moyen et long termes. Par ailleurs, l'appropriation partagée est le seul moyen de développer la confiance réciproque nécessaire pour s'adapter aux situations de risques car ceux-ci sont toujours circonstanciés (l'aléa et les vulnérabilités ont pu être modifiés d'une situation spatio-temporelle à une autre). C'est aussi une manière d'engendrer des comportements solidaires.

### 11.2.3 Être mémorisé ?

La mémoire est primordiale pour s'approprier les risques mais, il ne s'agit pas d'accumuler des informations mal assimilées. Pour garder durablement la mémoire d'un événement, elle doit être fréquemment sollicitée et périodiquement stimulée, pour améliorer les vigilances et diminuer l'anxiété (loi Bachelot sur les risques inondations avec marqueurs de crues qui sont vus tous les jours). Le processus de mémorisation en matière de risque est d'autant plus difficile que pour ceux qui ne l'ont pas vécu, le risque est « virtuel » et que pour ceux qui l'ont vécu, la mémoire tend à l'effacement à cause des émotions désagréables qui lui sont liées.

La forme du message informatif est donc très importante pour faciliter une mémorisation durable et efficiente. Il ne suffit pas d'informer, il faut communiquer : c'est-à-dire se préoccuper du passage entre le message et celui qui le reçoit. Comme la mémoire varie selon les cultures individuelles, il y a bien des manières de faire mémoriser.

## 11.3 La communication sur les risques : l'image « pièce à conviction »

### 11.3.1 Avec des images

L'une des manières de toucher le plus efficacement un large public c'est de faire en sorte que le message soit pour l'essentiel transmis sous forme visuelle et audiovisuelle : photographies, diaporamas sur cd rom, film documentaire et/ou d'animation. L'image est compréhensible par tous. Elle dit plus vite et elle marque profondément. Si elle est bien composée, elle reste en mémoire. Projetée dans de bonnes conditions, elle peut susciter un large débat en sollicitant le spectateur. La meilleure façon de développer une culture des risques consiste à exposer leur matérialité sur un territoire que la population connaît bien parce qu'elle y vit. C'est à proximité de chez soi que l'on appréhende le mieux le risque. L'intérêt de l'image c'est qu'elle montre des lieux que les habitants reconnaissent. Ils identifient des territoires vulnérables, parce que familiers, et comprennent les enjeux des politiques de prévention et de protection.

### 11.3.2 En images

La condition pour que l'image soit efficace suppose de

ne pas dissocier le travail des experts de la réalisation des documents de communication. Il s'agit de tenir tous les maillons de la chaîne : de l'enquête de terrain à la production d'images, afin d'éviter les contresens des non-spécialistes ou les facilités du spectaculaire médiatique. Communiquer sur les risques c'est donner la parole à ceux qui sont engagés dans la prévention (les équipes municipales) et aussi à ceux qui sont en charge de la protection (les pompiers, etc.). Si on est particulièrement allergique au maniement des appareils de prises de vue ou d'un logiciel de montage, il conviendra de suivre de très près, d'accompagner le travail des professionnels de l'audiovisuel, en particulier lors de l'écriture du scénario et lors de la phase de montage.

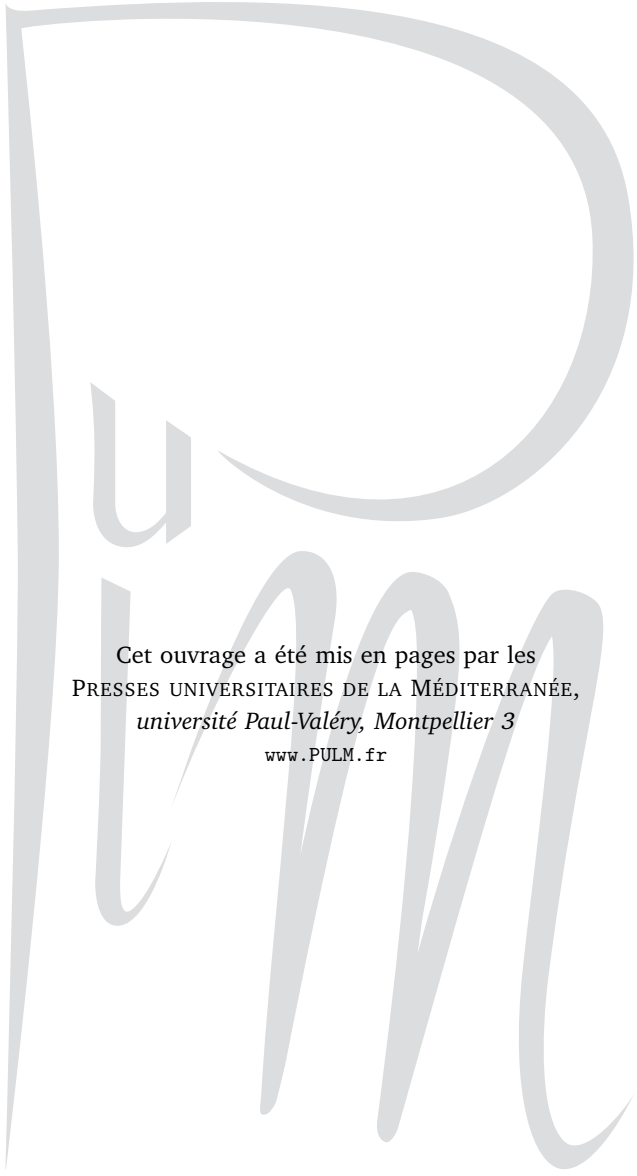
Ces images peuvent être utilisées bien entendu pour répondre à l'injonction légale faite au maire : « *le citoyen a droit à l'information sur les risques qu'il encourt...* ». Elles peuvent être également l'occasion d'une prise de conscience collective de problèmes qui se posent à tous. Elles suscitent un savoir vivre ensemble, une sociabilité de voisinage de

très grand intérêt dans bien d'autres domaines que celui des risques.

#### 11.4 Bibliographie

- BAILLY A. (1996) — *Risques naturels, risques de société* — Édition Economica, 103 p.
- DE VANSAY B. (2003) — Quand les sciences humaines éclairent l'analyse des risques — *Pouvoirs locaux*, n° 56, p. 53-57.
- GILBERT C. (2003) — Limites et ambiguïtés de la territorialisation des risques, *Pouvoirs locaux* — n° 56, p. 48-52.
- OGÉ F. (2003) — Le projet de loi « Prévention des risques technologiques », *Combat nature* — n° 14, p. 69-71.
- PROPECK-ZIMMERMANN E. et SAINT GÉRARD T. (2003) — Pour une culture territoriale de la gestion des risques — *Pouvoirs locaux*, n° 56, p. 44-52.
- THEYS J. et FABIANI J. L. (1987) — *La société vulnérable : évaluer et maîtriser les risques* — Presses de l'ENS, 659 p.





Cet ouvrage a été mis en pages par les  
PRESSES UNIVERSITAIRES DE LA MÉDITERRANÉE,  
*université Paul-Valéry, Montpellier 3*  
[www.PULM.fr](http://www.PULM.fr)

Dépôt légal : 4<sup>e</sup> trimestre 2008

