



HAL
open science

Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information

Frédéric Leone, Freddy Vinet

► **To cite this version:**

Frédéric Leone, Freddy Vinet. Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information. Presses universitaires de la Méditerranée, 84 p., 2013, Géorisques, 978-2-36781-027-0. hal-03194450

HAL Id: hal-03194450

<https://hal.science/hal-03194450>

Submitted on 9 Apr 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.

Prévenir les risques naturels :
de la modélisation à l'information

Collection « Géorisques »

Directeurs de collection :
Frédéric LEONE, Freddy VINET

Comité scientifique :
Albert COLAS, Monique GHERARDI, Frédéric LEONE,
Nancy MESCHINET DE RICHEMOND, Tony REY, Freddy VINET

La collection « Géorisques » est une publication annuelle consacrée à la géographie des risques naturels. Les numéros thématiques privilégient les approches méthodologiques, ce qui n'exclue pas de publier des numéros consacrés à des terrains spécifiques : littoraux, montagneux ou îliens.

Les ouvrages de la collection regroupent des articles sélectionnés suite aux rencontres « Géorisques » organisées dans le cadre du master *Gestion des Catastrophes et des Risques Naturels* (G.C.R.N.) de l'université Paul-Valéry. La publication bénéficie également du soutien de l'U.M.R. GRED (Gouvernance, risque, environnement, développement).

L'objectif de la collection est de confronter les approches des chercheurs et des praticiens sur des problématiques récentes.

Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information

Sous la direction de Frédéric Leone & Freddy Vinet
(université Paul-Valéry Montpellier 3)

GÉORISQUES n° 5
Collection de l'U.M.R. GRED
(université Paul-Valéry Montpellier 3)

Illustration de couverture : « Le glissement rocheux du Claps » (Drôme, 1442).
Photographie de F. LEONE, 2009. Photomontage réalisé par les PULM.

Mots-clés : risques, vulnérabilités, modélisation, information, éducation, prévention.

Tous droits réservés, PULM, 2013.

ISBN 978-2-36781-027-0

Sommaire

<i>Éditorial : Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information</i> Freddy VINET & Frédéric LEONE	9
CHAPITRE 1 — Modéliser le risque	
1 <i>Prévision des crues éclaircies par apprentissage artificiel : application aux crues du Gardon d'Anduze</i> M. TOUKOUREU, A. JOHANNET, P.-A. AYRAL & G. DREYFUS	13
2 <i>Canicule à Paris et changement climatique : approche pluridisciplinaire de la vulnérabilité et de l'adaptation</i> M. LAUFFENBURGER, J. DESPLAT, R. KOUNKOU-ARNAUD, J.-L. SALAGNAC, J. BIGORGNE & M. COLOMBERT	21
3 <i>Détermination des zones de départ d'avalanches par filtrages multi-échelles sur un modèle numérique de terrain, dans une perspective de zonage des risques</i> V. DOUZAL	29
CHAPITRE 2 — Information et outils de négociation de la prévention	
4 <i>Pratiques médiatiques et catastrophes naturelles : les inondations des 6 et 8 septembre 2005 dans le Sud-Est français</i> B. AUBLET	39
5 <i>Les maires et les Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI) : une prise de position délicate et des libertés prises par rapport au cadre réglementaire</i> J. DOUVINET, S. DEFOSSEZ, A. ANSELLE & A.-S. DENOLLE	47
6 <i>Résorber les distorsions entre gestionnaires de crises et populations pour réduire la vulnérabilité ? Le cas du volcan Kelut, 2007 (Java-Est, Indonésie)</i> E. Bélizal & F. Lavigne	57

CHAPITRE 3 — Éducation et sensibilisation aux risques

7 *Les enfants, premiers acteurs de la réduction des risques : une expérience indonésienne*

D. GRANCHER, J.-C. GAILLARD, J. MORIN, M. BOUN-HENG, B. DE COSTER,

M. GIFFO & P. TEXIER 69

8 *Un exemple de sensibilisation de type culturelle appliquée aux littoraux à risques*

M. AMBERT 77

Éditorial : Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information

Freddy VINET & Frédéric LEONE

U.M.R. GRED|Université Paul-Valéry Montpellier 3 & I.R.D., Route de Mende, 34199, Montpellier.

Freddy.Vinet@univ-montp3.fr

Frederic.Leone@univ-montp3.fr

Ce volume rassemble des articles issus de certaines communications présentées lors des rencontres « Géorisque » de 2009 et 2010. Le premier chapitre porte sur les problématiques de modélisation des risques. Les enjeux sont beaucoup plus vastes que les seules restitutions d'aléas telles que les modélisations sismiques ou hydrauliques. Au-delà de la compréhension des aléas, la modélisation est convoquée afin de mieux connaître les vulnérabilités, depuis l'analyse des impacts socio-économiques potentiels jusqu'au comportement des personnes en situation de crise. Les applications de la modélisation interviennent dans les différentes étapes de la gestion des risques : la prévision, la réduction des risques, la protection rapprochée des personnes et des biens, mais aussi la gestion de crise. Ceci fait de la modélisation un réel enjeu d'avenir pour l'analyse des risques naturels.

Ce volume aborde la « traditionnelle » modélisation des phénomènes naturels tant dans ses aspects théoriques (Douzal) qu'opérationnels orientés vers la prévision (Toukourou *et al.*). La modélisation de la vulnérabilité, dont Lauffenburger nous livre un des aspects, est plus récente mais apporte des éléments de réponse essentiels à la connaissance des risques au travers des diagnostics de vulnérabilité (humaine, structurelle et économique).

Le second thème de ce volume aborde un autre aspect de la gestion des risques avec la diffusion et le traitement de l'information sur les risques. Il s'agit d'un thème complexe qui suscite bien des interrogations. En effet, dans quelle mesure l'information est-elle efficace dans son rôle de sensibilisation ? La sensibilisation et l'information institutionnelle améliorent-elles la perception et la connaissance des risques ? Cette perception favorise-t-elle l'adoption d'un comportement adapté en situation de crise ? Quels sont les vecteurs les plus efficaces pour construire la conscience du risque et réactiver la mémoire ? Quels sont les techniques et les outils employés par les différents acteurs pour remplir leur rôle d'information et de communication (outils réglementaires, récupération de la mémoire historique, nouvelles technologies de l'information et de la communication...) ? Quels sont les acteurs qui participent à la chaîne de communication sur les risques et les catastrophes ? Comment éviter l'instrumentalisation de l'information préventive ?

Les différents articles apportent des éléments de réponse. Aublet traite du rôle des médias lors des catastrophes naturelles au travers de l'implication de deux médias locaux (radio France Bleu et le *Midi Libre*). Il montre comment l'ouverture d'une antenne radio « en temps réel » se révèle aussi efficace que les réseaux d'alerte institutionnels. De même la question de la transmission de l'information et de la réduction des distorsions entre différents acteurs d'une part (Douvinet *et al.*) et le rétablissement d'un dialogue entre les acteurs institutionnels et les populations d'autre part (De Belizal *et al.*) fait l'objet de deux articles particulièrement fouillés.

Le chapitre 3 aborde la question de la sensibilisation du « grand public » par des canaux non institutionnels au travers d'une association impliquée dans la formation des enfants en Indonésie (Grancher *et al.*) ou par l'ouverture d'un musée. Martine Ambert montre dans l'exemple du musée Rudel à Palavas-les-Flots la nécessité de replacer l'explication des risques (en l'occurrence littoraux) dans la perspective du temps long des relations homme/milieu. Au-delà d'une restitution purement informative de la connaissance des risques, l'approche culturelle de la relation entre l'homme et son milieu naturel porte la garantie du maintien de la conscience du risque chez les acteurs de la prévention depuis les populations exposées jusqu'aux décideurs techniques et politiques.

Chapitre 1

Modéliser le risque

1 Prédiction des crues éclairs par apprentissage artificiel : application aux crues du Gardon d'Anduze

Mohamed TOUKOUROU¹, Anne JOHANNET¹,
Pierre-Alain AYRAL¹, Gérard DREYFUS²

1. *École des Mines d'Alès — 6 avenue de Clavières — 30319 Alès Cedex.*

2. *ESPCI-Paristech — 10 rue Vauquelin — 75005 Paris.*

Anne.Johannet@ema.fr

Mohamed.Toukourou@ema.fr

Pierre-Alain.Ayral@ema.fr

Gerard.Dreyfus@espci.fr

Résumé. — Les Gardonnades ou épisodes cévenols, survenant dans des bassins versants peuplés, sont bien connus pour leurs conséquences catastrophiques, causant des pertes humaines et matérielles considérables. Leur prédiction est donc un défi posé tant aux concepteurs de modèles fondés sur des bases physiques ou conceptuelles qu'aux concepteurs de modèles de type « boîte noire ». De plus, du fait de l'indisponibilité de prévisions de pluies à horizon temporel très court, la prédiction doit se faire sans cette dernière information, ce qui stimule le développement de méthodes alternatives à la modélisation hydrologique classique. Dans cet article, nous montrons que la mise en œuvre d'un réseau de neurones, grâce à une méthodologie appropriée de sélection de modèle et de régularisation, conduit à des prévisions de qualité jusqu'à un horizon temporel égal au temps de concentration moyen du bassin.

Mots-clés. — Prédiction des crues, crues éclair, apprentissage statistique, réseaux de neurones, modèle dynamique, généralisation.

Title. — *Forecasting Flash Floods by Machine Learning: Application to the Floods of the Gardon d'Anduze*

Abstract. — *"Cévenol Flash Floods" are famous because they are archetypical of flash floods that occur in densely populated areas, thereby causing heavy damages and casualties. As a consequence, their prediction has become a stimulating challenge to designers of mathematical models, whether physics based or machine learning based. Because of the difficulty of current, state-of-the-art hydrological models to perform forecasts in the absence of rainfall forecasts, new approaches are necessary. In the present paper, we show that an appropriate regularization and model selection methodology, applied to neural network models, provides reliable flood forecasts at the horizon of the concentration time, namely three hours ahead.*

Keywords. — *Flood Forecasting, Flash Flood, Machine Learning, Neural Networks, Dynamical Models, Generalization.*

Introduction

Les crues catastrophiques observées ces dernières années (Vaison-la-Romaine 1992, Nîmes 1988, Gardons 2002), ainsi que les dégâts considérables et les pertes humaines (1,2 milliard d'euros de dégâts en 2002 et plus de 100 victimes en 20 ans dans le Sud-Est de la France (Gaume *et al.*, 2004 ; Sauvagnargues-Lesage et Ayral, 2007) ont posé avec une acuité nouvelle le problème de la prédiction des crues rapides. Bien que la population concernée par ces événements commence à acquérir une culture du risque, il est nécessaire que les pouvoirs publics disposent d'un outil de prédiction de ces phénomènes afin de permettre à la population de se protéger. Face à ce problème, le ministère français chargé du développement durable a créé en 2003 le SCHAPI (Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prédiction des inondations) qui est responsable du service d'alerte mis à jour sur Internet : vigicrue. Le Gardon d'Anduze, situé dans le Sud-Est de la France et sujet à des crues éclairs très intenses, a été choisi par le SCHAPI comme site pilote pour réaliser une expérience nationale de comparaison de différents modèles numériques de prédiction des crues, modèles qui étaient utilisés jusqu'à présent uniquement dans un contexte de recherche. Le projet BVNE (Bassin versant numérique expérimental) Gardon a donc pour objectif non seulement de développer des modèles de prédiction opérationnels, mais également de permettre les comparaisons entre plusieurs modèles fonctionnant à partir de la même base de données. Dans ce contexte, cet article se propose de présenter les travaux effectués pour réaliser la prédiction des crues du Gardon d'Anduze jusqu'à un horizon de prédiction de l'ordre de grandeur du temps de concentration, en l'absence de prédiction de pluie, par une méthode d'apprentissage statistique. Après une présentation du projet BVNE Gardon et de la base de données disponible, les sources d'erreurs de mesures et d'imprécisions dans les données seront décrites. La modélisation par apprentissage à l'aide d'une famille particulière de fonctions, les réseaux de neurones, sera ensuite détaillée, en insistant sur la nécessité d'un contrôle de la complexité du modèle pour garantir une généralisation satisfaisante. Dans la dernière section, nous présenterons les limnigrammes prévus pour l'évènement majeur de septembre 2002, et nous montrerons que le niveau d'eau à Anduze peut être prévu avec une assez bonne fiabilité jusqu'à l'horizon de prédiction de 3 h, permettant ainsi d'optimiser l'alerte des populations.

Bassin versant du Gardon d'Anduze

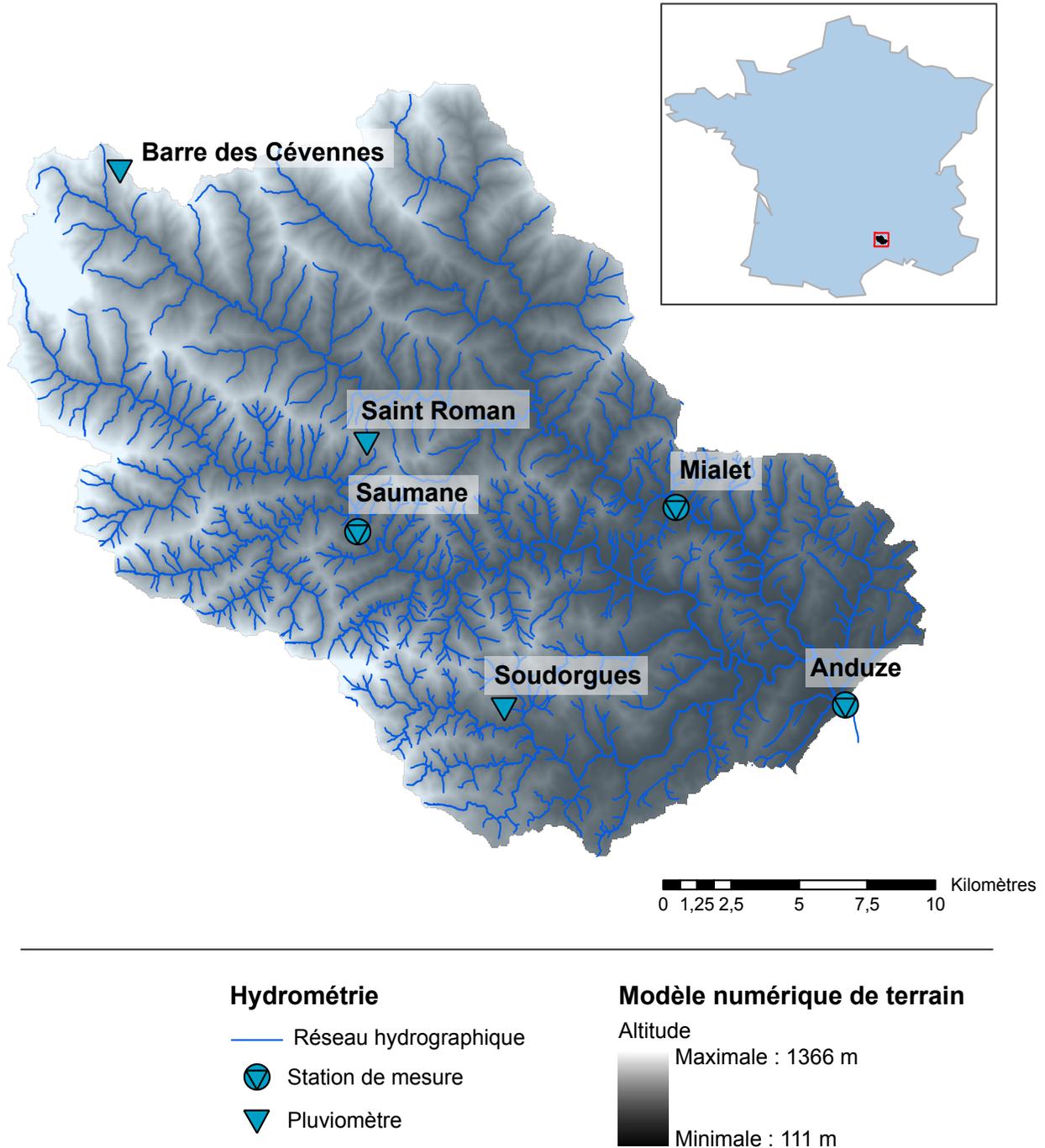


Fig. 1. — Le bassin versant du Gardon d'Anduze : localisation et instrumentation.

1.1 Contexte

1.1.1 Projet BVNE

Chargé de la prédiction des crues en temps réel, SCHAPI, service central du MEEDADT (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire), a été à l'origine de la démarche BVNE destinée à stimuler l'interconnexion des modèles développés par les chercheurs avec la plate-forme de prédiction opérati-

tionnelle DEMETER. Trois BVNE ont été définis : celui de la Meuse pour les crues lentes, celui de la Marne pour les crues de nappe, et celui du Gardon d'Anduze pour les crues rapides. La présente étude porte sur la prédiction des crues rapides du Gardon d'Anduze (figure 1). En effet, le bassin versant d'Anduze est soumis à des événements dévastateurs qui sont le résultat d'occurrences de pluies intenses sur de petits bassins versants à fortes pentes, conduisant à des débits de plusieurs milliers de m^3/s en des temps

Tabl. 1. — Liste des évènements intenses utilisés et de leurs caractéristiques hydrologiques

N°	Évènement	Durée (heures)	Hauteur de pointe (m)	Débit de pointe (m ³ /s)
1	21-24 septembre 1994	35	3,71	181
3	4-5 octobre 1995	54	5,34	975
4	13-14 octobre 1995	92	5	864
8	10-12 novembre 1986	82	2,71	268
13	28-29 décembre 2000	46	4,8	800
19	8-9 septembre 2002	29	9,71	2 742
22	24-25 septembre 2006	23	2,24	186
23	19-20 octobre 2006	55	6,61	1 436
24	17 novembre 2006	34	2,75	275
25	20-23 novembre 2007	70	2,69	264
107	5-7 novembre 1997	74	4,20	624
108	26-27 novembre 1997	66	2,58	244
109	18-19 décembre 1997	104	5,37	985
117	20-21 octobre 1997	34	3,64	473
120	12-14 novembre 2000	71	2,77	279

de concentration de quelques heures seulement (Delrieu *et al.*, 2004). Par exemple, un cumul de précipitations de 500 mm a été enregistré à Anduze en moins de 9 h lors de l'évènement de septembre 2002.

Compte tenu des caractéristiques du bassin versant considéré (environ 540 km², et des pentes moyennes de 40 %), le temps de concentration est estimé à 3 h en moyenne (Marchandise, 2007). L'horizon de prévision demandé par le SCHAPI est de cinq heures au maximum, en l'absence de prévision de pluies durant cette période. Pour des contraintes liées au temps réel, la prévision est attendue toutes les trente minutes.

1.1.2 Base de données

Quinze évènements intenses ont été extraits de la base de données BVNE ; leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 1. On peut noter que la majorité des évènements sont d'intensité moyenne, et que l'évènement majeur de 2002 est le plus intense ; la hauteur atteinte est supérieure de 50 % à celle qui est atteinte lors du deuxième évènement, par ordre d'intensité décroissante, présent dans la base de données : l'évènement 23 de novembre 2006. On peut donc s'attendre à ce que la prévision de l'évènement de 2002 soit difficile. On peut également remarquer que cet évènement est parmi les plus courts de la base : il fait donc réellement partie des évènements rapides.

1.1.3 Erreurs de mesure et d'estimation

Les signaux mesurés lors des crues éclair sont malheureusement entachés d'une grande imprécision. Celle-ci a plusieurs origines. La plus importante est sans doute l'hétérogénéité des précipitations : en effet, la mesure des précipitations est réalisée au moyen de pluviomètres, qui échantillonnent le cumul de pluie et le télétransmettent toutes les 5 minutes, mais la densité du réseau des pluviomètres est insuffisante pour garantir que de fortes précipitations ne soient pas tombées entre deux pluviomètres, et demeurent ainsi non mesurées. Par exemple, lors de l'évènement de 2002, on a pu relever un cumul près de trois fois plus important à Anduze qu'à Soudorgues, alors que les deux stations ne sont distantes que d'une quinzaine de kilomètres (figure 1). Pour remédier à cet inconvénient, les dernières recherches proposent d'utiliser les estimations des précipitations issues des radars avec une définition du km², mais cette dernière technologie ne peut pas actuellement fournir des cartes, pour les évènements disponibles, avec un traitement homogène de la réflectivité¹. Cette solution ne peut donc être encore choisie pour cette étude : nous supposons donc que l'échantillonnage spatial à l'aide de six pluviographes répartis sur le bassin versant est suffisant (Obled *et al.*, 2008). Au niveau des sorties, la hauteur d'eau

1. Un projet de ré-analyse des lames d'eau RADAR est actuellement mené par Météo-France afin de constituer une archive de données de précipitations avec un échantillonnage d'une heure et sur un maillage de 1 km² à partir de 1997.

Tabl. 2. — Impact du changement d'échantillonnage sur le pic principal de l'évènement de septembre 2002

Il faut noter que si l'échantillonnage est réalisé avec une fréquence insuffisante, l'écart entre l'instant relatif au début de la période d'échantillonnage et celui du pic de la courbe a une forte influence sur l'intensité du pic et sur sa position

Période d'échantillonnage	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h
Débit de pointe (m ³ /s)	3 030	2 869	2 742	2 508	2 358
Erreur induite		5 %	9 %	17 %	22 %
Heure du maximum de débit	6 h	6 h	6 h 30	7 h	7 h
Retard induit par l'échantillonnage	0	0	30 min	1 h	1 h

peut être mesurée, mais l'estimation du débit par la courbe de tarage est en revanche beaucoup moins maîtrisée, du seul fait de l'absence de jaugeage durant les épisodes de pluies intenses ; il est en effet matériellement dangereux de s'approcher du cours d'eau en de telles circonstances ! Pour cette raison, nous proposons d'utiliser les mesures de hauteur d'eau ; le réseau de neurones, effectuant une modélisation de type « boîte noire », peut tout à fait travailler sur une variable qui n'a pas le sens physique du débit.

La fréquence d'échantillonnage des signaux de sortie est également génératrice d'erreurs ; en effet, les évènements mesurés de 1994 à 2002 sont échantillonnés toutes les heures, contre 5 minutes à partir de 2002. Or il apparaît, sur l'évènement de septembre 2002, que l'échantillonnage à 1 h fait perdre une quantité non négligeable d'information comme reporté dans le tableau 2. Non seulement l'amplitude du pic peut être atténuée de 17 %, mais l'heure du pic peut être entachée d'un retard d'une heure. Une analyse de la variance a montré par ailleurs que la période maximale d'échantillonnage devrait être de 15 à 30 minutes. Enfin, du fait de la mise hors service de l'instrumentation durant l'évènement de septembre 2002 (le plus intense de la base de données), les hauteurs d'eau n'ont pu être mesurées et sont le résultat d'une estimation réalisée *a posteriori* par le bureau d'étude SIEE (SIEE, 2004).

Toutes ces erreurs d'estimation ou de mesure contribuent donc à rendre la tâche plus difficile au système devant réaliser la prévision des crues dans ce contexte.

1.1.4 Instrumentation du bassin versant du Gardon d'Anduze

Les pluies et débits sont mesurés à l'aide de sept pluviomètres répartis sur le bassin versant (Barre-des-Cévennes, Saint-Roman-de-Tousque, Saumane, Mialet, Soudorgues, Saint-Jean-du-Gard et Anduze), et de trois stations de mesure de hauteur à Mialet, Saumane et Anduze (figure 1). Les chroniques de Mialet et Saumane présentant de nombreuses lacunes, c'est la station d'Anduze qui a été choisie pour effectuer la prévision des hauteurs d'eau ; la station de Saint-Jean-du-Gard n'est pas utilisée car elle n'est en fonction que depuis 2000.

1.2 L'apprentissage artificiel

1.2.1 Les réseaux de neurones

Présentation

Les réseaux de neurones fournissent une méthode de calcul de fonctions non linéaires à partir « d'exemples » sans qu'il soit nécessaire de disposer de loi physique ou de connaissance *a priori* sur le processus que l'on veut modéliser. Il faut néanmoins disposer d'une base de données mesurées, décrivant le phénomène étudié, en particulier ses variables et les grandeurs que l'on veut prédire ; les réseaux de neurones appartiennent donc aux modèles réalisés par apprentissage statistique. Les réseaux de neurones utilisés dans cette étude sont des combinaisons linéaires de fonctions paramétrées, appelées « neurones cachés » ; chacun des neurones cachés est une fonction non linéaire d'une combinaison linéaire des variables du modèle. La figure suivante présente un schéma de la structure du modèle utilisé (figure 2).

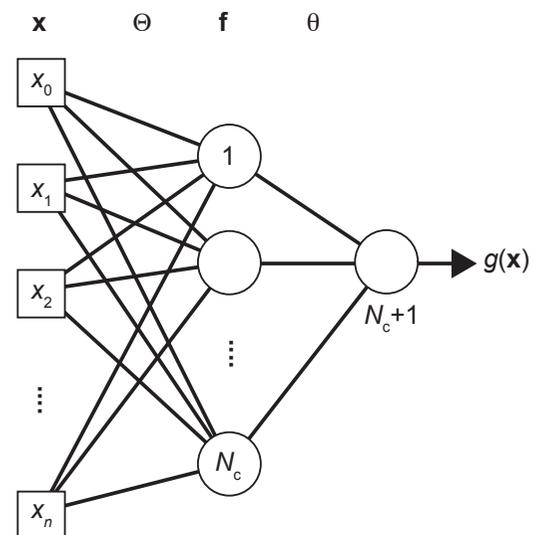


Fig. 2. — Schéma du réseau de neurones.

Ce réseau comporte de x_0 à x_n variables d'entrée, N_c neurones cachés et un neurone linéaire de sortie. Les paramètres du modèle sont les éléments de la matrice Θ et les composantes du vecteur θ . Ce réseau réalise la fonction $g(x) = \theta \cdot f(\Theta x)$. Chaque neurone caché est une fonction $f = \tanh(\theta_i \cdot x)$ où θ_i est le vecteur ligne i de la matrice Θ .

Les coefficients intervenant dans les sommes pondérées sont les paramètres du modèle.

Approximation universelle

Les réseaux de neurones sont utilisés dans la présente étude pour effectuer une régression non linéaire. Ils possèdent en effet la propriété d'*approximation universelle* : un réseau de neurones peut approcher, avec une précision arbitraire, toute fonction continue et dérivable dans un domaine donné (Hornik *et al.*, 1989) ; dans le contexte de la régression linéaire, un réseau de neurones est donc susceptible de fournir, à partir des observations disponibles, une bonne approximation de la fonction de régression inconnue. De plus, étant non linéaires en leurs paramètres, les réseaux de neurones sont *parcimonieux* en nombre de paramètres : ce dernier varie linéairement en fonction du nombre de variables, alors qu'il varie exponentiellement dans le cas des modèles linéaires en leurs paramètres tels que les polynômes. Néanmoins, un modèle obtenu par apprentissage (réseau de neurones ou autre) comporte généralement plus de paramètres qu'un modèle de connaissances, puisque l'absence de connaissances *a priori* est compensée par la présence de paramètres ajustés par apprentissage.

Les réseaux de neurones peuvent être soit non bouclés (le réseau ne dispose que des variables d'entrée : la pluie et les débits passés observés dans notre cas), soit bouclés (le réseau dispose en sus en entrée de ses propres estimations passées de la variable à modéliser, le débit dans notre cas). Ils permettent donc de réaliser soit des modèles statiques dans le premier cas, soit des modèles dynamiques dans le second cas.

Le résultat fourni par un modèle statique à un instant donné ne dépend que des valeurs de ses variables au même instant et éventuellement à des instants passés. L'inconvénient des modèles statiques est que leurs variables doivent décrire très précisément l'état et les entrées afin que le système puisse réaliser la fonction non linéaire demandée. Par exemple, il faudrait connaître parfaitement les précipitations et l'humidité des sols en tous points, à un instant donné et dans le passé, ainsi que les caractéristiques géologiques et topographiques du bassin versant, pour prédire le débit ou la hauteur d'eau à cet instant. Ce type de modèle devrait de plus disposer des valeurs de ses variables depuis un temps suffisant précédant l'épisode de crue. Il est clair que, en l'état actuel des recherches, ce niveau de connaissance du bassin versant, ainsi que des précipitations, n'est pas accessible pour tous les types de bassins versants, notamment pour celui auquel s'intéresse cette étude.

Pour remédier à cet inconvénient, d'autres modèles, qui identifient le processus dynamique, peuvent être conçus. Le résultat fourni par ces modèles dépend non seulement des valeurs des variables à l'instant considéré et dans le passé, mais également des valeurs mesurées ou simulées (par le modèle) de la grandeur à modéliser aux instants précédents. On comprend aisément que ces derniers modèles ont tout leur intérêt en hydrologie car la réponse de la rivière dépend fortement de l'état du bassin versant (schématiquement crue ou étiage). Le caractère dynamique des modèles n'est pas toujours mis à profit dans ce domaine, même s'il a été prouvé qu'il apporte un bénéfice incontestable pour la modélisation hydrodynamique des karsts (Johannet *et al.*, 2008), la prévision des crues (Pulido-Calvo *et al.*, 2008) ou dans des modèles climatiques (Coulily *et al.*, 2000). Le

modèle utilisé dans cette étude est réalisé en utilisant les mesures des hauteurs d'eau précédentes comme variables d'état du réseau de neurones (figure 3).

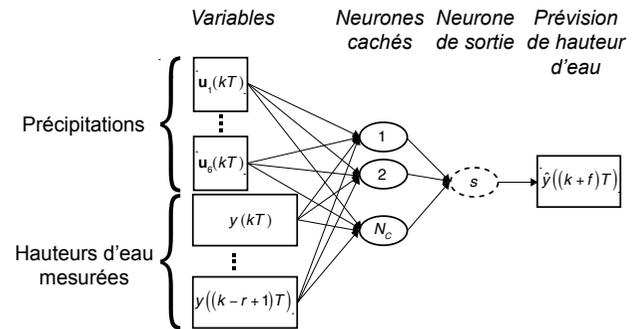


Fig. 3. — Réseau de neurones utilisé pour la prévision des crues.

Le vecteur $u_i(kT)$ est le vecteur des précipitations mesurées par le pluviomètre i sur une fenêtre glissante W : $u_i(kT), u_i((k-1)T), \dots, u_i((k-W+1)T)$. Cette fenêtre est nécessaire pour présenter au modèle l'historique glissant dans le temps des précipitations observées passées.

Il est également possible d'utiliser, comme variable du modèle, les valeurs de la grandeur à modéliser estimées par le modèle (et non mesurées sur le processus) aux instants précédents. Le réseau est alors dit récurrent. Néanmoins, compte tenu de l'imprécision des mesures, cette possibilité n'a pas fourni de résultats satisfaisants dans la présente étude.

Apprentissage

Les paramètres du modèle sont calculés au cours d'une phase d'apprentissage. Ce dernier est effectué de manière à minimiser la somme des carrés des erreurs de modélisation sur l'ensemble d'apprentissage (fonction de coût des moindres carrés). Cette optimisation est réalisée par l'algorithme de Levenberg-Marquardt (voir par exemple Dreyfus *et al.*, 2008), en utilisant le gradient de la fonction de coût calculée par l'algorithme de rétropropagation (Rumelhart *et al.*, 1986). La fonction de coût ayant des minima locaux, il est nécessaire d'effectuer des apprentissages avec différentes valeurs initiales des paramètres, et d'effectuer une sélection de modèle comme indiqué dans la section 1.2.3.

1.2.2 Généralisation

La généralisation est la capacité qu'a le réseau de prédire de manière satisfaisante des événements non rencontrés durant l'apprentissage. Elle est estimée au cours de la phase de test du modèle. Dans cet article, l'évaluation de la qualité de la prévision est effectuée essentiellement par rapport à l'évènement de septembre 2002, le plus meurtrier et ayant causé le plus de dégâts. Une vérification est réalisée sur les autres évènements moins intenses pour confirmer la qualité de la modélisation.

Le dilemme biais-variance

Si un modèle obtenu par apprentissage est suffisamment complexe, c'est-à-dire s'il possède suffisamment de paramètres ajustables, il peut s'ajuster de manière très précise

aux observations de l'ensemble d'apprentissage. La complexité d'un réseau de neurones dépend du nombre de variables et du nombre de neurones cachés.

Néanmoins, cet apprentissage très performant conduit généralement au surajustement si la complexité du réseau est excessive par rapport à la richesse de la base d'apprentissage : le modèle, au lieu d'approcher la fonction de régression déterministe sous-jacente aux données, utilise ses paramètres en surnombre pour s'ajuster au bruit présent dans les données d'apprentissage. Les performances de généralisation sont alors très mauvaises alors que l'apprentissage semble excellent. Ce phénomène, connu sous le nom de « dilemme biais-variance » a été largement étudié. Des méthodes de régularisation et de sélection de modèle permettent de résoudre ce problème de manière satisfaisante.

Régularisation par arrêt précoce

Rappelons que l'apprentissage est un processus itératif, les paramètres du modèle étant modifiés itérativement jusqu'à obtention d'un minimum de la fonction de coût. L'arrêt précoce consiste à arrêter l'apprentissage avant que l'erreur quadratique ne soit minimale ; il peut être considéré comme une méthode de régularisation (Sjöberg *et al.*, 1995). Pour cela, on observe l'évolution de l'erreur de prédiction sur un ensemble de données différent de l'ensemble d'apprentissage, et l'on arrête l'apprentissage lorsque cette erreur croît, c'est-à-dire lorsque l'apprentissage commence à ajuster les paramètres du réseau de manière à ce que celui-ci reproduise le bruit présent dans les données, ce qui dégrade les performances de généralisation.

Sélection du modèle

Le contrôle de la complexité du modèle est une condition indispensable à l'obtention d'une généralisation de bonne qualité. Pour cela on effectue une sélection du meilleur modèle par rapport à ses performances en généralisation, pour un ensemble de modèles de complexité croissante, c'est-à-dire possédant un nombre de neurones cachés croissant. On met en œuvre pour cela la validation croisée ; elle consiste à partager les exemples de l'ensemble d'apprentissage en K sous-ensembles utilisés chacun à leur tour en validation du modèle, les $K-1$ autres ensembles servant à l'apprentissage. L'évaluation de la qualité du modèle est réalisée en calculant le score de validation croisée (Dreyfus *et al.*, 2008) :

$$S = \sqrt{\frac{1}{K} \cdot \sum_{i=1}^K MSE_i}$$

où MSE_i est la plus petite erreur quadratique moyenne calculée pour l'ensemble de validation croisée i , pour 100 initialisations aléatoires des paramètres du réseau.

Dans la présente étude, la sélection du meilleur prédicteur de crue intense a été obtenue en effectuant une validation croisée partielle : les sous-ensembles sur lesquels est calculé le score S sont les 4 événements les plus intenses de la base d'apprentissage (hors l'évènement de 2002, utilisé exclusivement pour tester le modèle final), soit les événements 3, 4, 23 et 109. Une vérification *a posteriori* est nécessaire pour s'assurer que le réseau sélectionné prédit également de manière satisfaisante les événements peu intenses.

Test du modèle

Finalement, le modèle sélectionné est testé sur un (ou plusieurs) évènement(s) qui n'ont été utilisés au préalable ni pour l'apprentissage ni pour la sélection du modèle. Comme indiqué plus haut, il s'agit ici de l'évènement 19 (septembre 2002), le plus intense de la base.

1.2.3 Les enjeux

Prévision

Compte tenu de l'indisponibilité de prévisions de pluies aux horizons de prédiction souhaités, la prévision est réalisée en l'absence de prévision de pluies. Le réseau de neurones apprend la relation entre les pluies tombées jusqu'à l'instant k et la hauteur d'eau au temps $k+H_p$, où H_p est l'horizon de prévision. Dans le cadre de cette étude les horizons de prévision, 30 minutes, 1 heure, 2 heures, 3 heures, 4 heures et 5 heures ont été testés. Le décalage entre la chronique de pluie et la chronique de hauteur d'eau dans la configuration du réseau permet de s'affranchir de formuler des hypothèses réductrices sur l'évolution des pluies, telles que l'hypothèse de pluie nulle ou de pluie constante.

Critères d'évaluation

Bien que l'appréciation visuelle de limnigrammes soit encore la plus pertinente, plusieurs critères quantitatifs ont été utilisés pour évaluer les performances des prévisions :

— Le R^2 , ou coefficient de détermination :

$$R^2 = 1 - \sum_{k \in \text{ensemble de test}} \frac{(\hat{y}(k) - y(k))^2}{\sigma^2}$$

où k représente l'instant considéré, $\hat{y}(k)$ est la prévision effectuée par le réseau concernant l'instant k , $y(k)$ est la valeur mesurée de cette quantité au temps k , et σ^2 est la variance des observations estimée sur l'ensemble de test (la période d'échantillonnage T a été omise pour alléger les formules).

— Le critère de persistance (Kitadinis *et al.*, 1980) :

$$C_p = 1 - \sum_{k \in \text{ensemble de test}} \frac{(y(k+H_p) - \hat{y}(k+H_p))^2}{(y(k) - y(k+H_p))^2}$$

Le critère de persistance permet d'évaluer ce que le modèle apporte par rapport à la prévision naïve (pour laquelle la valeur prévue de la grandeur à modéliser est identique à la valeur de cette grandeur à l'instant où la prévision est effectuée). Il est borné par la valeur 1 ; s'il est positif, la prévision réalisée est meilleure que la prévision naïve ; s'il est nul, les deux sont équivalentes ; s'il est négatif, la prévision est moins bonne que la prévision naïve.

1.3 Application au bassin versant d'Anduze

1.3.1 Définition du modèle

Le modèle a pour variables les cumulés de pluies (en mm) pour les 6 pluviomètres (u_1 à u_6) avec une fenêtre tempo-

Tabl. 3. — Variables et nombre de neurones cachés utilisés

Horizon de prévision (H_p)	0,5 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h
W (heure)	2,5	3	3	2	0,5	0,5
Nombre de neurones cachés	2	2	5	3	3	3

relle glissante de W périodes (figure 3). Les hauteurs d'eau mesurées jusqu'à l'instant discret k ($k \in N^+$) sont également appliquées avec une fenêtre temporelle glissante de r périodes (r représente le nombre de périodes pris en compte dans l'historique). Le modèle prévoit la hauteur d'eau à Anduze (en m) au temps $(k+H_p)$.

Autant de modèles ont été conçus qu'il y a d'horizons de prévision ; pour chacun d'eux, les fenêtres temporelles W et r ont été optimisées par validation croisée sélective de

manière analogue à l'optimisation du nombre de neurones cachés. Nous avons trouvé la même valeur ($r=2$) pour tous les horizons de prévision, tandis que des valeurs différentes de W ont été trouvées pour les différents horizons de prévision (tableau 3).

1.3.2 Prévisions de crues en l'absence de prévisions de pluies

Les résultats quantitatifs obtenus pour chaque horizon de prévision et pour les deux événements les plus intenses sont reportés en tableau 4. On peut tout d'abord noter que les R^2 sont excellents, même pour les horizons de prévision élevés. En ce qui concerne la persistance, on observe que les valeurs du critère sont toutes positives (ce qui signifie que les prévisions sont toujours meilleures que la prévision naïve).

Le limnigramme obtenu pour l'évènement 19, à l'horizon de prévision égal au temps de concentration moyen du bassin, est présenté sur la figure 4.

Tabl. 4. — Résultats synthétiques de précision

Horizon de prévision (H_p)	0,5 h		1 h		2 h		3 h		4 h		5 h	
	R^2	C_p										
Évènement												
19	0,98	0,45	0,93	0,65	0,87	0,32	0,93	0,28	0,84	0,23	0,58	0,59
23	0,99	0,52	0,95	0,63	0,89	0,45	0,82	0,43	0,76	0,53	0,71	0,53

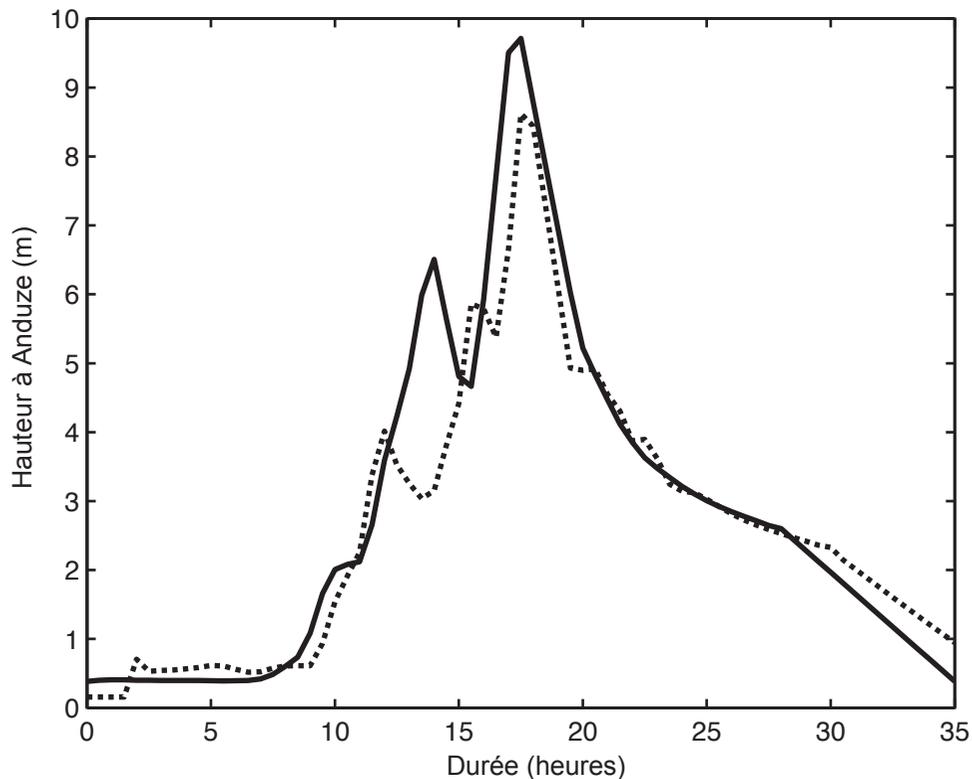


Fig. 3. — Limnigramme prévu à l'horizon de prévision 3 h.
 Trait continu : hauteur observée ; trait pointillé : hauteur prédite.

On observe que la hauteur estimée est exactement synchrone avec le pic de crue, et que la hauteur maximum prédite est légèrement inférieure (88 %) à la valeur observée.

Conclusion

La prédiction des crues éclair dans une zone peuplée soumise à des grands aléas est un enjeu important pour les services publics responsables de la sécurité des populations. Dans ce contexte, le travail présenté dans cet article, effectué en collaboration avec le SCHAPI, nous a permis de montrer que l'apprentissage artificiel peut apporter une solution à cette problématique, pourvu qu'une méthodologie rigoureuse et adaptée aux problèmes soit appliquée. Ainsi, la régularisation par arrêt précoce, ainsi que la sélection des variables et de la complexité par validation croisée partielle, spécialisée sur les événements intenses, ont permis d'effectuer des prévisions du pic de crue précises à 88 % pour un horizon de prévision égal au maximum au temps de concentration sur l'évènement de 2002, le plus intense et le plus dévastateur de la base de donnée. La méthodologie ainsi développée sera appliquée dans des collaborations futures à d'autres bassins versants.

Remerciements

Les auteurs remercient Météo-France et le SCHAPI, en particulier madame Caroline Wittwer et messieurs Olivier Louis et Réginalde Sarralde pour leur collaboration à ce travail riche en enjeux. Ils souhaitent aussi remercier messieurs Pierre Roussel-Ragot, Georges-Marie Saulnier, Bernard Vayssade et Marc Vinches pour leurs discussions enrichissantes ainsi que monsieur Dominique Bertin de l'entreprise Geonosis pour le développement de l'interface EM'EAU avec la plate-forme DEMETER du SCHAPI.

Bibliographie

- COULIBALY P., ANCTIL F., RASMUSSEN P. & BOBÉE B., « A Recurrent Neural Network Approach Using Indices of Low-Frequency Climatic Variability to Forecast Regional Annual Runoff », *Hydrological Process*, n°14, 2000, p. 2755-2777.
- DELRIEU G., DUCROCQ V., GAUME E., NICOL J., PAYRASTRE O., YATES E., KIRSTETTER P.-E., ANDRIEU H., AYRAL P.-A., BOUVIER C., CREUTIN J.-D., LIVET M., ANQUETIN S., LANG M., NEPPEL L., OBLED C., PARENT-DU-CHATELLET J., SAULNIER G.M., WALPERSDORF A. & WOBROCK W., « The Catastrophic Flash-Flood of 8-9 September 2002 in the Gard Region, France: A First Case Study for the Cévennes-Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory », *Journal of Hydrometeorology*, n° 6, 2004, p. 34-52.
- DREYFUS G., MARTINEZ J.M., SAMUELIDES M., GORDON M.B., BADRAN F. & THIRIA S., *Apprentissage statistique :*

réseaux de neurones, cartes topologiques, machines à vecteurs supports, Eyrolles, 2008, 400 p.

- GAUME E., LIVET M., DESBORDES M. & VILLENEUVE J.-P., « Hydrological Analysis of the River Aude, France, Flash Flood on 12 and 13 November 1999 », *Journal of Hydrology*, n° 286, 2004, p. 135-154.
- HORNIK K., STINCHCOMBE M. & WHITE H., « Multilayer Feedforward Networks Are Universal Approximators », *Neural Networks* n° 2, 1989, p. 359-366.
- JOHANNET A., MANGIN A. & VAYSSADE B., « Modélisation d'un système karstique par réseaux de neurones. Simulation des débits du karst du Baget, France » — Collection EDYTEM — *Cahiers de Géographie* n° 7, 2008, p. 51-61.
- KITADINIS P. K. & BRAS R. L., « Real-Time Forecasting with a Conceptual Hydrologic Model: 2 Applications and Results », *Water Resour. Res.* n° 16, 1980, p. 1034-1044.
- MARCHANDISE A., *Modélisation hydrologique distribuée sur le Gardon d'Anduze ; étude comparative de différents modèles pluie-débit, extrapolation de la normale à l'extrême et tests d'hypothèses sur les processus hydrologiques*, université de Montpellier 2, 2007, 194 p.
- SAUVAGNARGUES-LESAGE S. & AYRAL P.-A., « Using GIS for Emergency Management, A Case Study During the 2002 and 2003 South East flooding in France », *International Journal of Emergency Management*, vol. 4, n° 4, 2007, p. 682-703.
- OBLED C., ZIN I. & HINGRAY B., *Choix des pas de temps et d'espace pour des modélisations parcimonieuses en hydrologie des crues*, Colloque SHF, *Prévisions hydrométéorologiques*, 2008, p. 127-134.
- PULIDO-CALVO I. & PORTELA M.M., « Application of Neural Approaches to One-Step Daily Flow Forecasting in Portuguese Watersheds », *Journal of Hydrology* n° 332, 2008, p. 1-15.
- RUMELHART D. E., HINTON G. E. & WILLIMAS R. J., « Learning Internal Representations by Error Propagation », *Parallel Distributed Processing*, D.E. RUMELHART & J. L. McClelland (éd.), vol. 1, chap. 8, MIT Press, 1986
- SIEE (Société d'Ingénierie Eau et Environnement), *Validation des relevés hydrométriques de l'évènement des 8 et 9 septembre 2002*, Rapport d'Étude, direction départementale de l'Équipement du Gard, 2004, 162 p.
- SJÖBERG J. & LJUNG L., « Overtraining, Regularization, and Searching for a Minimum, with Application to Neural Networks » — *International Journal of Control* n° 62, 1995, p. 1391-1407.
- VIGICRUE, <http://www.vigicrues.ecologie.gouv.fr/> consulté le 22/03/2012

2 Canicule à Paris et changement climatique : approche pluridisciplinaire de la vulnérabilité et de l'adaptation

Mireille LAUFFENBURGER¹, Julien DESPLAT³,
Raphaëlle KOUNKOU-ARNAUD³, Jean-Luc
SALAGNAC², Julien BIGORGNE⁴ & Morgane
COLOMBERT²

1. Université Nancy 2, Campus Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie — 3 place Godefroi de Bouillon, BP 3317, 54015 Nancy Cedex.

2. Centre scientifique et technique du Bâtiment, 4 av. du Recteur Poincaré, 75782 Paris Cedex 16.

3. Météo-France (Bureau d'Études et de Climatologie), 2 av. Rapp 75340 Paris Cedex 07.

4. Atelier parisien d'Urbanisme, 17 boulevard Morland 75181 Paris Cedex 04.

mireille.lauffenburger@univ-nancy2.fr,

julien.desplat@meteo.fr,

raphaëlle.koukou@meteo.fr,

jean-luc.salagnac@cstb.fr,

bigorgne@apur.org

morgane.colombert@cstb.fr,

Résumé. — Le projet EPICEA (Étude pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Échelle de l'Agglomération parisienne) est un projet de recherche mené conjointement par Météo-France, le CSTB (Centre scientifique et technique du Bâtiment) et la mairie de Paris. Les objectifs de travail du projet EPICEA ont été organisés en trois volets : le premier sur l'évolution du climat urbain dans la perspective du changement climatique, le deuxième sur l'étude particulière de la situation extrême de la canicule 2003 et le troisième sur le lien entre les caractéristiques du tissu urbain (géométrie, matériaux...) et le climat urbain. Les recherches ont ainsi pour finalité d'établir des relations quantitatives entre l'aménagement d'un territoire, son climat urbain et les facteurs associés aux risques sanitaires, afin d'intégrer les enjeux du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville.

Mots-clés. — Désagrégation d'échelles, agglomération parisienne, changement climatique, îlot de chaleur urbain, canicule.

Title. — *Heat-Wave in Paris and Climate Change : Cross-Disciplinary Approach of Vulnerability and Adaptation*

Abstract. — *The EPICEA project is a joint collaboration between the City of Paris, the French Meteorological Office (Meteo-France) and the Building and Scientific and Technical Centre (CSTB) to quantify the impact of climate change over the city of Paris as well as the influence of building*

on urban climate and on adaptation strategy. A first goal is to evaluate the evolution of the urban climate of Paris and its area with regard to climate change. A second goal is to realize a precise analysis of the 2003 heat-wave over Paris using a meso-scale atmospheric model and a specific urban surface scheme. The ultimate goal is to assess the climatic impacts during heat-wave periods that could result from actions on urban parameters (geometry, radiative characteristics of surface...). This information will allow the mapping of heat-wave vulnerability.

Keywords. — *Downscaling, Paris Area Scale, Climate Change, Urban Heat Island, Heat-Wave.*

Introduction

Une manière d'évaluer les impacts du changement climatique à grande échelle est d'étudier avec précision un événement météorologique rare qui s'est déjà produit sur la zone d'intérêt et qui deviendrait plus fréquent dans les décennies à venir. Le cas des événements de chaleur extrême répond à cette problématique. En effet, les scientifiques du GIEC s'accordent sur le fait que les épisodes de vagues de chaleur seraient plus fréquents à l'horizon de la fin du XXI^e siècle (IPCC, 2007). Dans cette optique, le projet EPICEA se consacre à une analyse fine des poches de chaleur et des canicules auxquelles sont généralement associés des facteurs de risques sanitaires. En effet, lors de l'épisode caniculaire du 8 au 13 août 2003, la surmortalité la plus élevée au niveau national a été observée à Paris (InVS, 2004 a).

2.1 Présentation du programme de recherche EPICEA

Le projet EPICEA entre parfaitement dans un contexte de stratégie d'adaptation des zones urbaines aux impacts d'une canicule. Financé par la mairie de Paris, ce projet propose une approche tout à fait novatrice en la matière car il a pour objectif à la fois d'établir des relations quantitatives entre l'aménagement d'un territoire et de son climat associé et d'évaluer la vulnérabilité¹ d'une grande agglomération comme Paris à une évolution du climat

1. « La cindynique : science du danger, évalue notamment la vulnérabilité des populations et des territoires, en mesurant l'ampleur des conséquences potentielles d'un aléa. » BAUD P., BOURGEAT S. & BRAS C., *Dictionnaire de géographie*, Hatier, Initial, 4^e édition, 2008, 607 p.

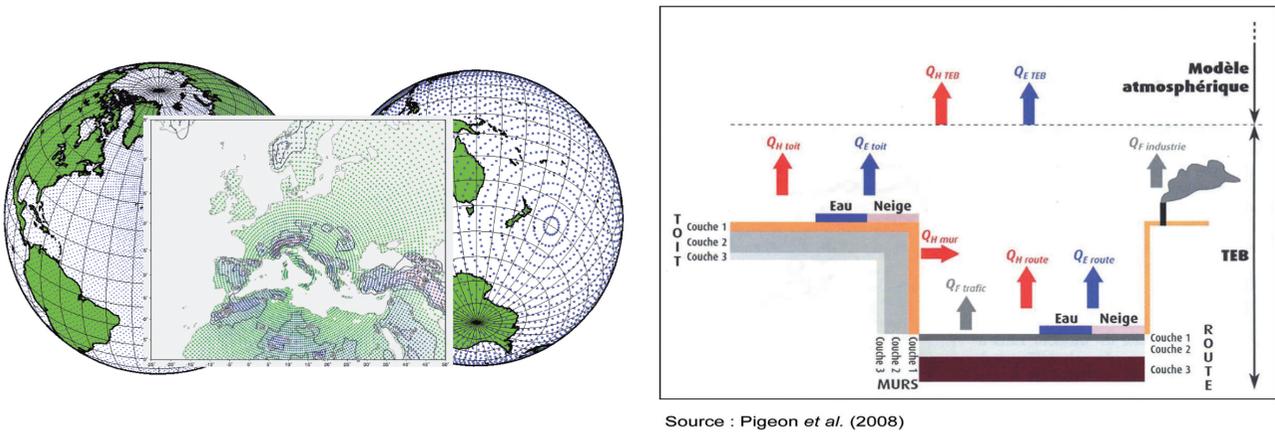


Fig. 1. — Modèle numérique climatique global : exemple d'ARPEGE-Climat (Résolution de 50 km sur l'Europe occidentale et de 450 km sur le Pacifique Sud) (à gauche) et Représentation des échanges d'énergie entre les différentes surfaces (mur, rue, toit) du modèle TEB et le modèle atmosphérique (à droite). (Source : Météo-France).

Le bilan d'énergie d'un paysage urbain s'exprime ainsi (cf. figure 1 droite) :

$$Q^* + QF = QH + QE + DQS + DQA$$

Avec : Q^* : rayonnement net, résultant du bilan radiatif (piégeage de rayonnement solaire dans les rues et refroidissement radiatif nocturne ralenti) ;

QF : flux anthropique, lié aux activités humaines (trafic, industries, chauffage).

QH : flux de chaleur sensible, plus fort en milieu urbain.

QE : flux de chaleur latente, réduit avec la raréfaction de la végétation.

DQS : flux de stockage, très important en milieu urbain car les matériaux étant imperméables mais de surface de conduction accrue, ils ont une très grande capacité de stockage.

DQA : flux d'advection.

urbain dans la perspective du changement climatique. Prévu sur une durée de trois ans (2008 à 2010), ce projet fait intervenir deux organismes publics, le CSTB, spécialiste du bâtiment notamment dans ses relations avec l'environnement et le climat, et Météo-France, acteur important dans la recherche sur le changement climatique et la modélisation de la météorologie urbaine. Les objectifs de travail du projet EPICCA ont été organisés en trois volets : le premier sur l'évolution du climat urbain dans la perspective du changement climatique, le deuxième sur l'étude particulière de la situation extrême de la canicule 2003 et le troisième sur le lien entre l'urbanisme et le climat urbain.

La problématique mise en avant est de montrer comment l'agglomération parisienne peut s'adapter face à l'aléa canicule dans la perspective d'une nouvelle donne climatique et comment la vulnérabilité de certaines zones urbaines sera révélée. La modification la plus notable du climat urbain par l'urbanisation est l'apparition de températures plus élevées dans la partie centrale des agglomérations, formant un îlot de chaleur urbain décroissant du centre vers la périphérie (Escourrou, 1991 ; Cantat, 2004 ; Charabi, 2000). L'objectif du projet est d'établir les liens entre l'aménagement du territoire, la climatologie urbaine et les facteurs associés aux risques sanitaires, notamment l'augmentation de la surmortalité lors d'épisodes caniculaires (InVS, 2004 a et 2004 b ; Schär *et al.*, 2004 ; Besancenot, 2002). Les recherches ont ainsi pour finalité d'établir des relations quantitatives entre l'aménagement d'un territoire, l'occupation du sol (bâti, voirie, espace vert...), son climat urbain et des facteurs associés aux risques sanitaires, afin d'intégrer les enjeux du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville.

2.2 Vers une modélisation du climat urbain à l'échelle de l'agglomération parisienne

Le premier volet de ce projet est de quantifier l'évolution du climat urbain de Paris dans la perspective du changement climatique. Dans cet objectif, sont utilisées les projections sur l'évolution du climat issues des simulations du modèle global ARPEGE-Climat dans sa version étirée, développé au Centre national de Recherche météorologique (CNRM) de Météo-France (figure 1).

Les couverts urbains sont à l'origine de processus radiatifs, thermiques et énergétiques très différents des milieux naturels. Ces processus sont liés aux propriétés des matériaux urbains et à la géométrie tridimensionnelle d'une ville. Celle-ci génère par exemple un piégeage des rayonnements qui est à l'origine de l'îlot de chaleur « urbain » (Pigeon *et al.*, 2008). De ces processus de très fine échelle dérivent des modifications de l'atmosphère à l'échelle locale et régionale.

Or, les projections climatiques de résolution spatiale de 50 km sur la France ne permettent pas de simuler une évolution du climat à l'échelle d'une agglomération. Notre but est ainsi de proposer une simulation plus pertinente à l'échelle régionale que celle affichée par un modèle climatique à l'échelle globale (Lauffenburger, 2007). Identifier les impacts du changement climatique à très fine échelle requiert donc des techniques de descente d'échelle. Dans ce projet, les techniques de descente d'échelle retenues sont celles « par types de temps » (Boé, 2006) et « quantile-quantile » (Déqué, 2007). Météo-France a par ailleurs mis au point le schéma de surface du modèle Town Energy Budget (TEB) (Masson, 2000) (figure 1) pour la ville, dédié à la paramétrisation des échanges d'énergie et d'eau entre les surfaces bâties et l'atmosphère et le schéma de surface

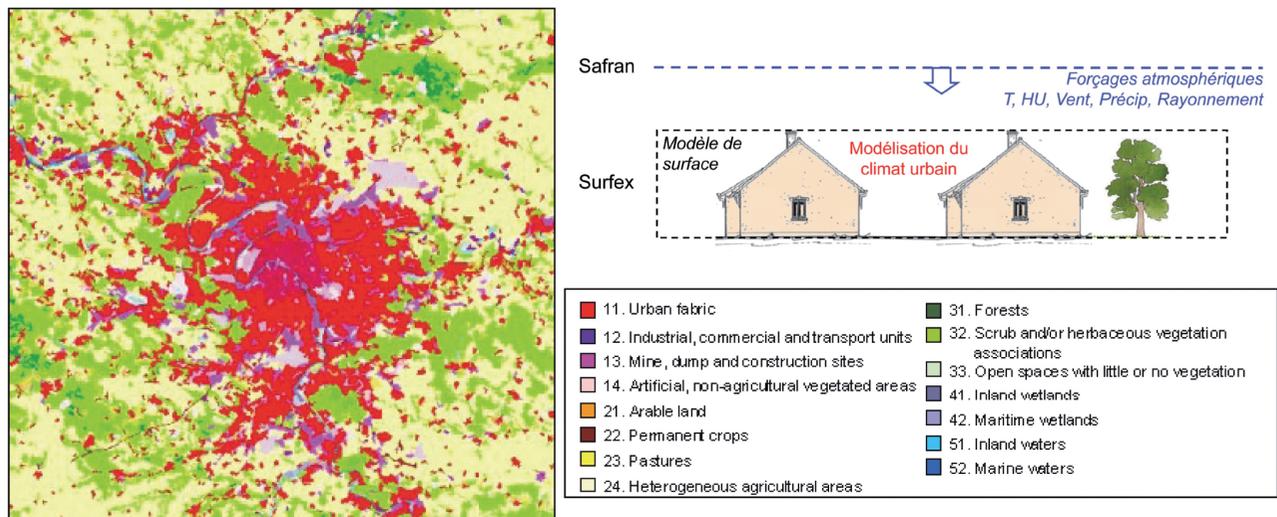


Fig. 2. — La cartographie d'occupation des sols des bases de données utilisées pour la représentation de la zone urbaine d'Île-de-France (à gauche) (sources : Corine Land Cover et Ecoclimap) et Simulations en mode forcé sur la région parisienne, avec le modèle de surface SURFEX (à droite) (source : Météo-France).

ISBA (Interaction Sol Biosphère Atmosphère), pour les zones naturelles. La validation de TEB a été menée à travers plusieurs campagnes de mesures : ESCOMPTE (Cros *et al.*, 2004) sur la ville de Marseille, CAPITOU (Hidalgo *et al.*, 2007) sur la ville de Toulouse et ESQUIF (Étude et Simulation de la Qualité de l'air en Île-de-France) (Menut *et al.*, 2000) sur la ville de Paris. TEB représente la ville de manière théorique, avec une représentation d'un canyon urbain dans lequel est modélisée l'évolution temporelle de la température de la rue, des murs et des toits. Notre approche repose sur l'association entre la modélisation numérique de l'atmosphère et du climat de la ville.

Les deux modèles de surface TEB et ISBA sont forcés par le système SAFRAN (Quintana Segui *et al.*, 2007), qui procède à une analyse du forçage atmosphérique par zones géographiquement et climatiquement homogènes, en utilisant à la fois des observations et des analyses de modèles opérationnels de Météo-France avec une résolution de 8 km. Le système SAFRAN est un schéma d'analyse permettant d'interpoler sur une grille huit paramètres météorologiques (température à 2 m, humidité à 2 m, vent à 10 m, rayonnements infrarouge et visible, précipitations liquides et solides et nébulosité) au pas de temps horaire.

La validation des sorties météorologiques des modèles est effectuée par la comparaison aux observations issues du réseau de stations météorologiques de Météo-France (123 stations dans la région Île-de-France dont 11 stations dans Paris intra-muros). La cartographie d'occupation des sols des bases de données Corine Land Cover et Ecoclimap sont utilisées pour la représentation de la zone urbaine d'Île-de-France (figure 2).

Dans le cadre de ce volet, une première étape consiste à simuler le climat urbain actuel (1970-2007) en utilisant le modèle de ville Town Energy Balance (TEB) (Masson, 2000) forcées par les analyses SAFRAN (figure 2). Puis, dans la perspective du changement climatique, les simulations climatiques du modèle ARPEGE-Climat (2070-2100) sont intégrées dans le système SAFRAN-TEB-ISBA.

Les valeurs des simulations des paramètres du modèle de ville TEB ainsi obtenues sont comparées à celles de la cli-

matologie actuelle dans le but de quantifier les impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne. Dans cette perspective, le deuxième volet du projet EPICEA se consacre particulièrement à une analyse fine de la canicule 2003, qui consiste en une simulation de la canicule à Paris durant la période du 8 au 13 août 2003. Pour cette étude, le modèle TEB est aussi utilisé comme schéma d'interface du modèle nonhydrostatique MesoNH (Lafore *et al.*, 1998), modèle de prévision numérique de temps de très fine échelle (~1km) utilisé à des fins de recherche. Cette association MesoNH/TEB a pour but d'obtenir une modélisation 3D des processus en ville, et en particulier de disposer d'un profil thermique dans le canyon urbain (Lemonsu et Masson, 2002). Les simulations avec les modèles numériques atmosphériques MesoNH et celles issues de TEB s'effectuent pour un maillage de 2 km de résolution, où la ville de Paris est configurée avec des paramètres urbains (largeur des rues, hauteur des bâtiments, types et propriétés des matériaux...) uniformes.

2.3 Modélisation de l'aléa canicule : exemple de la canicule de 2003 à Paris

2.3.1 Une représentation de « Paris, ville uniforme » : étude de la canicule 2003 à 2 km de résolution

Pour « simuler » Paris, la base de données de l'Atelier parisien de l'Urbanisme (APUR) du couvert urbain parisien est utilisée afin de décrire le cadre bâti et les espaces urbains. Ces modélisations, à fine échelle (résolution de 2 km), s'intéressent particulièrement au cadre bâti urbain, à la végétalisation de l'espace urbain et aux rejets de chaleur anthropique.

Paris, une ville minérale et claire

Paris est une ville très minérale ; elle offre 14,5m² d'espaces plantés par habitant en comptant les deux bois (APUR, 2007) :

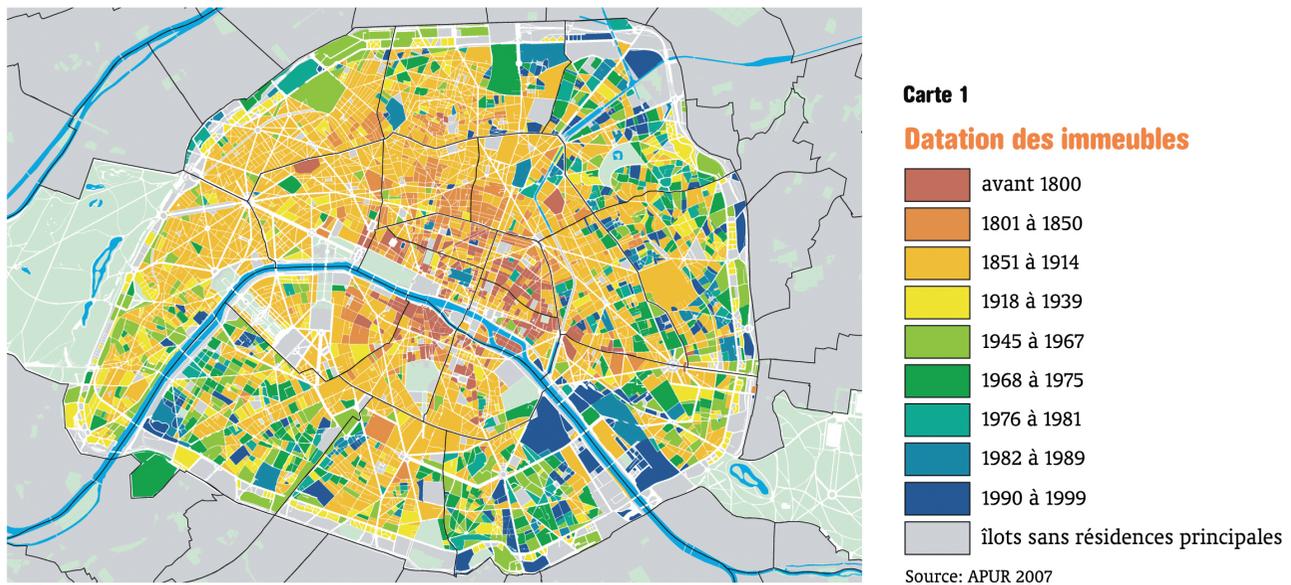


Fig. 3. — Datation des immeubles parisiens (source : APUR, 2007).

— hors bois de Boulogne et de Vincennes, Paris possède 1 248,40 ha d'espaces verts et aquatiques pour une surface totale de 8 692,50 ha, soit un pourcentage de 14,40 % d'espaces verts et aquatiques ;

— bois de Boulogne et de Vincennes compris, Paris possède 3 089,40 ha d'espaces verts et aquatiques pour une surface totale de 10 533,50 ha, soit un pourcentage de 29,30 % d'espaces verts et aquatiques.

Dans ces espaces verts et aquatiques sont comptabilisés : les espaces verts ouverts au public auxquels il convient d'ajouter les jardins propriétés de l'État et du Sénat, les bois de Boulogne et de Vincennes, les « espaces verts protégés », les espaces plantés des équipements, les cimetières, les talus plantés, les espaces plantés de la Petite Ceinture, les espaces plantés des ensembles de villas et de hameaux, les arbres d'alignement au nombre de 92 500 qui caractérisent le paysage de nombreuses avenues et rues de la capitale et les surfaces des quais et des plans d'eaux, de la Seine et des canaux. On y ajoutera une partie de la surface des terrains affectés à l'habitat et aux activités correspondant aux cours et jardins privés végétalisés. Par ailleurs, sur les 1 248,40 ha d'espaces verts et aquatique qui constituent 14,40 % de la surface de Paris hors bois de Boulogne et de Vincennes, 2,9 % sont constitués par des plans d'eaux (Seine et canaux principalement) et 11,5 % par des espaces verts auxquels s'ajoutent les 500 ha de cours et jardins privés végétalisés, ce qui nous donne une part d'espaces verts au sein de Paris de 17 %. La surface parisienne, hors bois de Boulogne et de Vincennes, peut donc se décomposer en : 3 % de voies d'eau ; 17 % d'espaces verts ; 80 % de surfaces minérales (APUR, 2007).

Paris, une histoire urbaine

Même si la ville de Paris présente un tissu urbain très caractéristique, elle n'en possède pas moins de multiples morphologies et formes urbaines liées à son histoire. Les différents quartiers de Paris sont représentatifs de l'évolution des morphologies urbaines qui s'est opérée dès le Moyen-Âge. Ainsi, se côtoient des « morceaux » de ville représenta-

tifs de la cité médiévale du cœur de Paris au XIV^e siècle, des villes et faubourgs du XVIII^e, de la ville haussmannienne du XIX^e, de l'habitat social de l'entre-deux-guerres, ou encore des grands ensembles (APUR, 2007). Chacun possède des densités résidentielles, de population, de bâti, ou encore un coefficient d'emprise au sol différent, et cela participe à la variété des quartiers parisiens, même si en moyenne, la densité bâtie (rapport de la somme des surfaces de plancher à la somme des surfaces des terrains en excluant les superficies des voies, des voies d'eau, des espaces verts et équipements publics c'est-à-dire rapport des surfaces de planchers aux surfaces des parcelles bâties ordinaires) est de l'ordre de 3,6 à Paris (d'après le rapport de présentation du PLU de la ville de Paris).

L'industrie n'est plus très présente au sein de Paris. Il s'agit essentiellement de l'industrie de l'habillement et des fourrures, du cuir et de la chaussure et du textile (31 % des établissements industriels), de l'industrie de l'édition-imprimerie-reproduction (41 % des établissements industriels). Paris n'accueille plus d'industries à risque classées Seveso sur son territoire. Des usines d'incinération des déchets encerclent Paris (Ivry-sur-Seine, Issy-les-Moulineaux, Saint-Ouen) et seule la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) possède quatre sites de production dans Paris. Un panache de vapeur d'eau est souvent observable en sortie des cheminées mais la quantité est négligeable. Il est donc possible d'estimer que l'industrie ne rejette plus aujourd'hui de flux de chaleur latente ou sensible au sein de Paris. Au sein du schéma de surface TEB, les flux de chaleur liés au trafic sont rejetés au niveau de la rue et ceux d'origine industrielle au niveau des toits. Pour ce qui est des flux de chaleur sensible liés au chauffage, ceux-ci sont calculés à partir des caractéristiques physiques et thermiques des bâtiments et de leur température intérieure. Cette dernière peut être estimée en moyenne, en hiver, à 19°C. En été, elle est calculée en fonction des températures des surfaces intérieures (Masson, 2000). La carte de datation des immeubles donne la répartition du nombre et de la part des bâtiments parisiens selon la

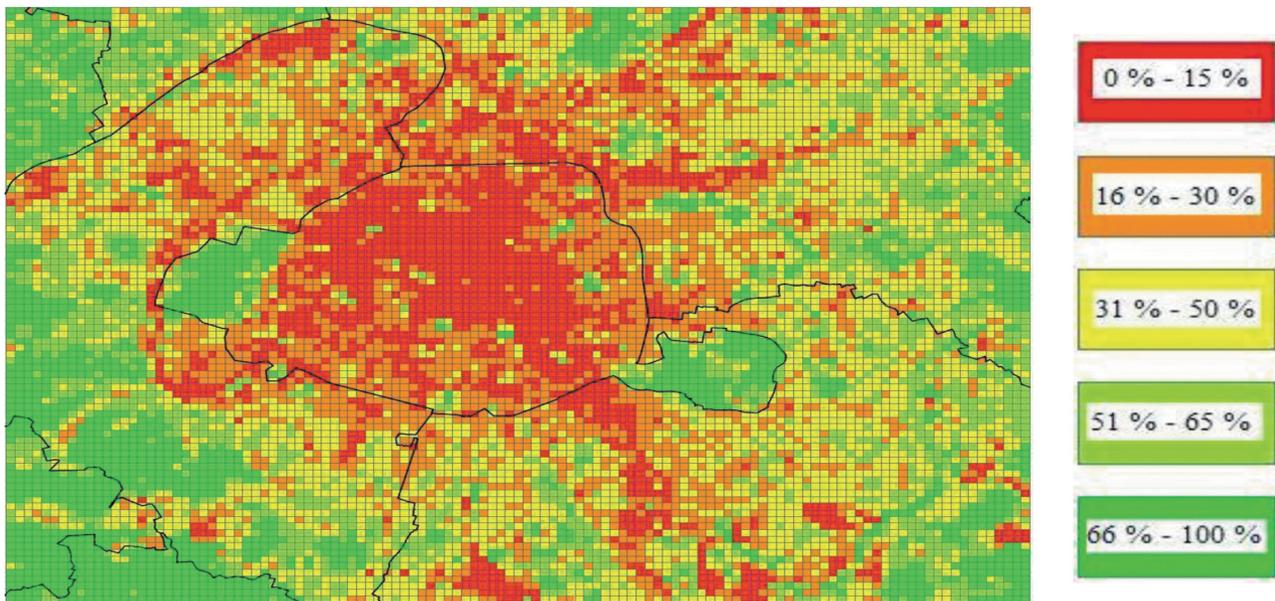


Fig. 4. — Configuration « ville réaliste », simulation retenue pour le paramètre : surface végétale, issue de la base de données relative à l'espace urbain de l'APUR (taille d'une maille : 250 x 250 m) (source : APUR, 2007).

période de construction et l'estimation des caractéristiques thermiques des murs en fonction de l'âge du bâtiment (figure 3).

Ces données nous permettent d'estimer la résistance thermique moyenne pour les murs et les toits (en tenant compte de la présence de fenêtres).

Paris est dominé par ses toits en zinc mais possède également des toitures terrasses. Dans une moindre mesure, des toits en tuile sont également présents. Même si Paris est une ville claire au niveau des façades par l'importance des pierres calcaires dans l'architecture parisienne, la pollution atmosphérique joue un rôle dans le noircissement des façades. De plus, les pierres calcaires ne constituent pas la totalité des matériaux utilisés. Nous avons ainsi considéré un albédo moyen pour les murs compris entre 0,4 et 0,6 pour les matériaux autres que le vitrage. Si nous tenons compte en partie des surfaces vitrées, nous fixons l'albédo moyen à 0,4 (Colombert, 2008).

2.3.2 Une représentation de « Paris, ville réaliste » : étude de la canicule 2003 à 250 m de résolution

Les recherches, dont les résultats sont prévus pour 2011-2012, se proposeront d'apporter une aide à la prise de décision dans un contexte d'adaptation d'un territoire urbain, la région Île-de-France face aux changements globaux. Un des aspects innovants de ce projet sera de contribuer à la quantification des relations entre les caractéristiques du cadre bâti et la météorologie urbaine, à la fois dans des conditions météorologiques théoriques, et à la fois sur un plan expérimental, en se plaçant dans les conditions de la canicule de 2003.

Une forte collaboration avec l'APUR a permis d'établir une base de données du couvert urbain parisien à la résolution de 250 m. Dans chaque maille (250 m x 250 m) sont représentés les facteurs urbains majoritaires : surface végétale (figure 4), hauteur des bâtiments, surface de toiture et matériaux de couverture (zinc, tuile, terrasse, ardoise),

surface de voirie, surface d'eau. L'objectif est d'établir pour la canicule de 2003 une cartographie de l'agglomération parisienne par l'utilisation d'un Système d'information géographique (SIG) en utilisant les résultats des simulations établies par Météo-France ainsi que les données de l'APUR relatives à l'espace urbain et de faire le lien avec la surmortalité observée liée à la vague de chaleur (Fouillet, 2007 ; Rey, 2007 ; InVS, 2004 a) (figure 5).

Les modélisations envisagées dans le troisième volet du projet concernent les modifications du climat urbain liées à quelques situations possibles d'évolution de la ville de Paris. Chaque modélisation de ville est configurée avec des paramètres urbains (largeur des rues, hauteur des bâtiments, types et propriétés des matériaux...) uniformes. Ces modélisations s'intéressent particulièrement aux matériaux de construction, à la végétalisation de l'espace urbain et aux rejets de chaleur anthropique mais n'aborderont pas la question de la géométrie urbaine, celle-ci étant relativement figée au sein de Paris. Des modélisations (schéma de ville TEB utilisé en mode « forcé ») ont permis de mettre en évidence le rôle des différents facteurs évoqués précédemment dans la formation du climat urbain, et d'apprécier quantitativement l'action sur différents leviers urbains susceptibles d'influencer le climat urbain parisien (albédo des toits, espaces verts...) (Colombert, 2008).

Le projet consistera à mettre en avant les paramètres urbains et climatologiques les plus influents sur les facteurs de risques sanitaires comme la température extérieure. Il envisagera ainsi d'identifier des possibilités d'actions en établissant un diagnostic de la vulnérabilité d'une grande agglomération comme Paris à une évolution du climat urbain face au changement climatique. Des indicateurs de vulnérabilité de l'impact de l'aménagement du territoire face à l'évolution du climat urbain seront dégagés (figure 5) :

— indicateurs relatifs à la surmortalité (données de l'InVS et de l'Inserm (CépiDc)) ;

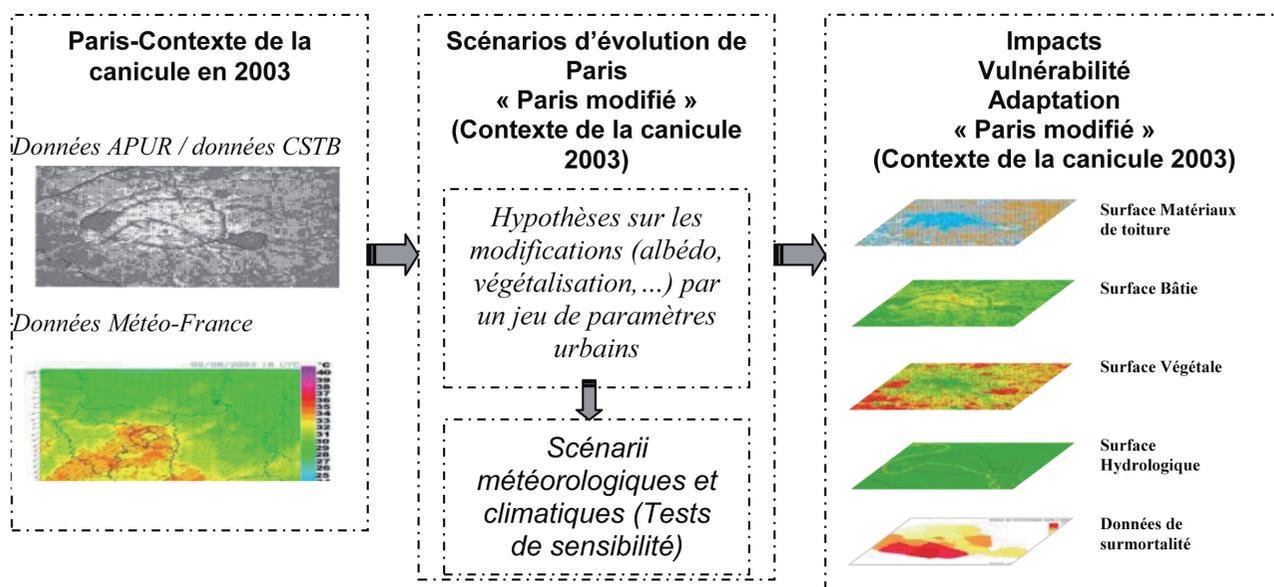


Fig. 5. — Représentation schématique d'une approche de la modélisation de la canicule de 2003 à Paris et des études d'impact et de vulnérabilité (source : Météo-France, APUR, CSTB, Inserm).

— indicateurs météorologiques (données de Météo-France) ;

— indicateurs relatifs à l'espace urbain (données de l'APUR) et au cadre bâti (données du CSTB).

L'objectif est de réaliser la combinaison d'indicateurs de vulnérabilité les plus pertinents lors de vagues de chaleur extrêmes dans un environnement urbain dense par l'utilisation d'un SIG.

Conclusion

Le projet EPICEA propose d'évaluer la vulnérabilité d'une grande agglomération comme Paris à une évolution du climat urbain dans la perspective du changement climatique, et d'établir des relations quantitatives entre l'aménagement d'un territoire et de son climat associé. Dans le cadre du volet 2 du projet EPICEA, mené conjointement par Météo-France, le CSTB et la ville de Paris, la période la plus chaude de la canicule d'août 2003 sur Paris (du 8 au 13 août 2003) est simulée avec le schéma de ville TEB dans sa dernière version et le modèle MESO-NH. Une collaboration avec l'APUR a permis de réaliser cette simulation à la résolution de 250 m grâce à une description précise de Paris en termes d'occupation des sols et de morphologie du bâti à cette échelle. Cette approche a pour intérêt de mettre en avant les influences météorologiques des paramètres urbains et vise à permettre un diagnostic des zones de l'agglomération parisienne les plus vulnérables pour les risques sanitaires face à l'aléa canicule par l'analyse rétrospective des retours d'expérience de l'épisode caniculaire de 2003.

Les résultats menés par Météo-France sont très satisfaisants, car le modèle TEB reproduit les observations de température et de vent, ainsi que le cycle diurne d'humidité relative en simulant un Paris « actuel » pour la période de référence. L'urbanisation modifie le bilan d'énergie par

modification de l'occupation des sols. En effet, en milieu urbain, le flux de stockage de chaleur et le flux de chaleur sensible sont significativement plus élevés qu'en milieu rural, alors que le flux de chaleur latente est très faible. Par ailleurs, des différences notables existent entre les bilans d'énergie en surface pour les parties « bâties » et « jardin », avec en milieu totalement urbanisé : le rayonnement net est légèrement plus élevé (effet majoritaire du piégeage du rayonnement dans le canyon urbain), le flux de stockage de chaleur est beaucoup plus élevé le jour et la nuit (surface de stockage et conduction des matériaux plus grande sur les surfaces urbaines artificielles), le flux de chaleur latente est pratiquement inexistant (peu d'évapotranspiration). Ces particularités modifient le climat urbain. Un ICU apparaît en fin de nuit entre le centre de Paris (arrondissements les « plus chauds » : 2^e, 3^e, 9^e et 10^e) et les arrondissements périphériques de l'ordre de 2 à 4°C, et plus généralement avec les zones boisées au sud-ouest de Paris (Parc de Saint-Cloud et Forêt de Meudon notamment) et au nord de Paris (Parc de la Courneuve) de l'ordre de 4 à 7°C. Une analyse temporelle de l'ICU a montré sa variabilité quotidienne ainsi que sa mise en place. Ce phénomène s'explique par un refroidissement plus rapidement et plus important sur les zones végétalisées. Par ailleurs, selon la force du vent, un panache urbain peut se former sous le vent en aval de la zone la plus chaude. La CLU (couche limite urbaine) présente une forte instabilité associée à de la turbulence le jour ce qui conduit à un brassage vertical important. La nuit, la CLU peut se stabiliser par refroidissement radiatif (davantage dans les zones où la végétation est présente) ou rester neutre par la permanence d'un petit flux de chaleur turbulent lié au fort rayonnement infra-rouge au-dessus des surfaces artificielles.

Des tests de sensibilité sur différents leviers urbains sont actuellement menés. Les scénarios retenus s'appliquent à trois modalités : la modification des paramètres radiatifs des surfaces (toits et murs) et l'ajout d'eau ou de végétation. Ces derniers points sont abordés sous deux aspects, en

modifiant ou non la morphologie de la ville et le cadre bâti, afin de se placer à plus ou moins long terme. En produisant des indicateurs quantitatifs de l'impact des caractéristiques du tissu urbain sur la météorologie, le projet EPICEA va ainsi déterminer des leviers d'actions urbains dans une optique de stratégies d'adaptation des zones urbaines aux impacts d'une canicule.

Bibliographie

- APUR, *Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes*, Rapport de l'Atelier parisien d'Urbanisme, 2007, 48 p.
- BAUD P., BOURGEAT S. & BRAS C., *Dictionnaire de géographie*, Hatier, Initial, 4^e édition, 2008, 607 p.
- BESANCENOT J.-P., « Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines », *Environnement, Risques et Santé*, 1, n° 4, 2002.
- BOÉ J. *et al.*, « A Simple Statistical-Dynamical Downscaling Scheme Based on Weather Types and Conditional Resampling », *Journ. of Geophysical Research*, 111, 2006, 20 p.
- CANTAT O., *L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps*, Norois, 191, 2004, p. 75-102.
- CHARABI Y., *L'îlot de chaleur urbain de la métropole lilloise : mesures et spatialisation*, thèse de doctorat, université de Lille, 2000, 247 p.
- COLOMBERT M., *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*, université Paris-Est, 2008, 537 p.
- CROS B., DURAND P., FREJAFON E., KOTTMEIER C., PERROS P. E., PEUCH V.-H., PONCHE J.-L., ROBIN D., SAÏD F., TOUPANCE G. & WORTHAM H., « The ESCOMPTE Program : an Overview », *Atmospheric research*, 69 (3-4), 2004, p. 241-279.
- DÉQUÉ M., « Frequency of Precipitation and Temperature Extremes over France in an Anthropogenic Scenario: Model Results and Statistical Correction According to Observed Values », *Global and Planetary Change*, 57, 2007, p. 16-26.
- ESCOURROU G., *Le climat et la ville*, Nathan, Université, 1991, 192 p.
- FOUILLET A., *Surmortalité liée aux vagues de chaleur : la modélisation des variations spatio-temporelles de la mortalité en fonction des caractéristiques climatiques*, thèse de doctorat, université Paris XI, 2007, 246 p.
- HIDALGO J., PIGEON G. & MASSON V., « Urban Breeze Circulation During the Capitoul Experiment : Experimental data Analysis Approach », *Meteorology and Atmospheric Physics*, accepté pour publication, 2007.
- InVS, *Étude des facteurs de risque de décès des personnes âgées résidant à domicile durant la vague de chaleur d'août 2003*, rapport d'étude, InVS — CépiDc, 2004 a, 165 p.
- InVS, *Vague de chaleur de l'été 2003 : relations entre températures, pollution atmosphérique et mortalité dans neuf villes françaises*, rapport d'étude, InVS, 2004 b, 44 p.
- IPCC, *Climate Change, Working Group I Report « the Physical Science Basis »*, WMO — UNEP, Geneva, 2007, 210 p.
- LAFORE *et al.*, « The MésoNH Atmospheric Simulation System. Part 1 : Adiabatic Formulation and Control Simulation », *Annales Geophysicae*, 16, 1998, p. 90-109.
- LAUFFENBURGER M., *Estimation du réchauffement climatique dans le sud-est de la France à l'est du Rhône à la fin du xx^e siècle (2071-2100)*, Géographie, Mention climatologie, thèse de doctorat, université Aix-Marseille 1, 2007, 294 p.
- LEMONSU A. & MASSON V., « Simulation of a Summer Urban Breeze over Paris », *Boundary Layer Meteorology*, 106, 2002, p. 463-490.
- MASSON V., « A Physically-Based Scheme for the Urban Energy Balance in Atmospheric Models », *Bound.-Layer Meteor.*, 94, 2000, p. 357-397.
- MENUT L, VAUTARD R. & FLAMANT C., « Measurement and Modeling of Atmospheric Pollution over the Paris Area. The ESQUIF Project », *Annales Physicae*, 18 (11), 2000, p. 1467-1481.
- PIGEON G., LEMONSU A., MASSON V. & HIDALGO J., « De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville », *La Météorologie*, 62, 2008, p. 39-47.
- QUINTANA SEGUI P., LE MOIGNE P., DURAND Y., MARTIN E., HABETS F., BAILLON M., CANELLAS C., FRANCHISTEGUY L. & MOREL S., « Analysis of Near Surface Atmospheric Variables : Validation of the SAFRAN Analysis over France », *Journal of Applied Meteorology*, 2007.
- REY G., *Surmortalité liée aux vagues de chaleur : facteurs de vulnérabilité sociodémographiques et causes médicales de décès*, thèse de doctorat, université Paris XI, 2007, 206 p.
- SCHÄR C., VIDALE P. L., LÜTHL D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M.-A. & APPENZELLER A., « The Role of Increasing Temperature Variability in European Summer Heat-Waves », *Nature*, 6972, 2004, p. 332-336.

3 Détermination des zones de départ d'avalanches par filtrages multi-échelles sur un modèle numérique de terrain, dans une perspective de zonage des risques

Vincent DOUZAL

Cemagref Grenoble, U.R. Etna, domaine universitaire — 2 rue de la papeterie, BP 76 — F-38402 — Saint-Martin-d'Hères cedex.

Cemagref Montpellier U.M.R. Tetis, Maison de la télédétection, 500 rue Jean-François Breton — F-34093 Montpellier cedex 05.

vincent.douzal@cemagref.fr

Résumé. — Le zonage du risque d'avalanches s'appuie aujourd'hui sur des simulations de leur propagation. Mais la détermination des zones de départ reste une opération manuelle, qui peut être critique pour les conclusions. Le travail exposé vise à se doter de moyens opérationnels et disponibles publiquement pour déterminer les zones de départ d'avalanches de grande ampleur dans le domaine pyrénéo-alpin. On propose d'appliquer à un modèle numérique du relief des méthodes de traitement d'image, des filtres et des combinaisons entre plans images, en naviguant dans l'espace d'échelle.

Mots-clés. — Zones de départ d'avalanches, zonage de risque, modélisation, traitement d'image, espace d'échelle

Title. — *Avalanche Hazard Zoning and Delimitation of Avalanche Release Areas*

Abstract. — *Today, avalanche hazard zoning can benefit numerical simulations of their propagation. But determining their release areas remains a manual operation, which has the potential to strongly bias the conclusions. This work aims at providing a publicly available operational method to determine large avalanche release areas. We apply image processing methods to a digital elevation model of the relief, with filters and combinations between image planes, navigating the scale space.*

Keywords. — *Avalanche Release Areas, Hazard Zoning, Modeling, Image Processing, Scale Space.*

Introduction

Les avalanches de neige font en Europe peu de victimes et de dégâts, au regard d'autres phénomènes naturels ou accidentels, mais à fort impact traumatique, spécialement quand les atteintes sont portées dans l'habitat. S'installer hors de danger a toujours été une préoccupation des hommes, pour un simple campement, et *a fortiori* depuis qu'ils sont sédentaires. Historiquement, ils ont souvent toléré des dommages ou des dérangements épisodiques, par exemple, lors de crues, pour occuper des espaces par

ailleurs favorables. Les Occidentaux du XXI^e siècle sont devenus très intolérants à des phénomènes comme le déferlement d'une avalanche sur leurs biens, et aux restrictions à occuper l'espace que de telles éventualités leur imposent. Ils s'étalent, et ne veulent plus bouger. Quant à la sensibilité aux questions d'équilibre naturel qui croît en occident depuis la fin du XX^e siècle, elle le dispute à peine à la priorité très anthropocentrique toujours accordée aux biens, vies, valeurs humaines : elle résulte de l'inquiétude d'un effet boomerang sur notre propre personne, et donc de la vision d'un équilibre naturel très polarisée sur nous-même.

Simultanément, les hommes développent des activités de loisirs grandissantes, à la recherche en montagne de conditions extrêmes, de situations à risques, peut-être en quête des limites du possible, en tous cas retrouvant l'occasion de braver le danger qu'ils s'ingénient à éradiquer de leur quotidien.

Le zonage du risque d'avalanche consiste à délimiter sur le terrain les zones concernées par les avalanches, idéalement en auréoles de niveaux d'énergie, d'intensité, ou de gammes d'effets destructeurs, relatives à un type d'évènement extrême qui semble envisageable et sert de référence Naaim (1998), Harbitz (1994-1998). Les tensions qu'entraîne cet exercice sont croissantes, comme ce qu'on en exige en termes de garantie des réponses, et de transparence : tout le dispositif se contractualise. On aimerait passer outre le danger pour aménager l'espace, mais simultanément être hors d'atteinte de phénomènes dangereux, en avoir des certitudes, et, si l'on est finalement acculé à prendre des mesures protectrices, n'avoir à engager qu'un effort personnel minimal. En pratique, la recherche exacerbée de transparence est encore aujourd'hui tempérée par les processus de décision qui consistent aussi à organiser une opacité bien placée.

L'existence même d'une avalanche, son acte de naissance en quelque sorte, dépend de la possibilité d'initiation du mouvement d'une grande masse de neige, qui aura pu auparavant s'accumuler, dans certaines configurations de terrain. Son devenir dépend alors de la pente qui lui est offerte. Or, si l'on dispose d'outils utilisables pour calculer ce devenir par simulation de propagation d'avalanches, si les chroniques et la connaissance en météorologie alpine permettent de cerner l'état de la couverture neigeuse, la détermination de la zone d'initiation du mouvement, cruciale pour définir l'extension d'une avalanche, reste à ce jour du ressort exclusif d'une appréciation humaine (Naaim 1998 ; Harbitz, 1994-1998). Cette donnée, placée en entrée du modèle d'écoulement, commande largement la nature de ses réponses. Le travail exposé vise à se doter

de moyens pour déterminer automatiquement les zones de départ d'avalanches, opérationnels et disponibles publiquement — contrairement à ceux de Buisson (1990, 1998) ou Maggioni *et al.* (2003, 2004).

3.1 Le déterminisme des avalanches, la neige

3.1.1 Une mise en potentiel métastable

Primairement, une avalanche consiste en une masse de neige dévalant une pente. En termes techniques plus recherchés, on appelle avalanche de neige la remise en mouvement rapide sous l'effet de la gravité d'une masse de neige préalablement sédimentée sur un support. Les spécialistes de la montagne s'efforcent de donner une taille minimale pour que l'on puisse parler d'avalanche, et préfèrent en deçà l'appellation de coulée, essentiellement par référence aux effets que cela peut avoir sur une personne, ou sur une construction : dans la pratique, la taille importe. D'un point de vue synthétique, une avalanche consiste en une mise en potentiel, suivie d'une crise de restitution. Le moteur solaire mobilise des flux atmosphériques accompagnés d'échanges thermodynamiques au cours desquels la vapeur d'eau formée principalement sur les océans passe en phase liquide ou solide pour former des nuages, lesquels peuvent précipiter, notamment sous forme de neige. Le relief favorise ces effets en imposant des mouvements de prise d'altitude aux masses d'air qui les abordent en translation horizontale. Le manteau neigeux est alors capable de métastabilité qui permet des accumulations considérables de potentiel, avec la possibilité de développer de très grandes puissances lors des crises de restitution, notamment parce qu'elles sont très concentrées dans le temps.

De la neige à la glace, et à l'eau : il peut y avoir un stockage décennal, voire plurimillénaire, ou une fonte en place au printemps. Entre ces deux extrêmes en climat, configuration de terrain et devenir qui en découle, existent de multiples chemins de métamorphose des diverses neiges initiales avec une évolution de la texture tridimensionnelle du manteau qui voit son comportement mécanique transfiguré, allant dans le sens général d'une densification (que l'aboutissement soit liquide ou de la glace compacte). On peut avoir la formation de couches successives très contrastées. Par temps très froid la surface se réarrange en grains pyramidaux qui, recouverte, formera une couche « de roulement », fragile. On peut aussi avoir une quasi-fusion, par hausse des températures, aux effets accélérés en cas de pluie. Un regel cimente le manteau par pontage entre les grains.

3.1.2 Une crise de restitution du potentiel : deux grands types de déclenchement

Par rupture, lorsque le manteau neigeux a été maintenu suffisamment froid : une couche cohésive tient sur la pente par l'accroche qu'elle y trouve en exerçant sur son substrat une contrainte de cisaillement. Posée sur une couche fragile, typiquement en grains, cette plaque peut être retenue si elle trouve de l'appui à l'aval, grâce à sa tenue en compression. Dans le cas contraire, elle se suspend à une zone en amont mieux ancrée, par exemple sur la convexité du sommet. Lorsque la résistance est dépassée, se forme une ligne de rupture, sub-perpendiculaire à la pente, avec



Fig. 1. — Départ en plaque et départ ponctuel.

un tracé caractéristique en dents de scie (figure 1). On a donc une zone de départ dont la partie haute est nettement détournée (la délimitation basse est plus problématique). L'épaisseur d'une telle plaque peut atteindre plusieurs mètres, voir Foehn *et al.* (2002). Un second cas de rupture concerne un manteau qui, exposé à des températures élevées, devient lâche, il ne présente plus de résistance en traction. La rupture en un point se propage alors uniquement vers l'aval, le point haut entraînant, comme toujours dans le cas des comportements lâches, toute la pyramide sous-jacente, qui a une allure typique de poire (figure 1). Il n'y a alors pas à proprement parler de zone de départ, mais un point de départ ; néanmoins il semble que pour les grandes avalanches, il se trouve systématiquement dans une zone d'où serait partie une plaque dans d'autres conditions. Deux formes caractéristiques d'avalanche correspondent à chacune de ces ruptures : une avalanche très rapide de neige froide, sèche, qui se fluidifie, pouvant développer un aérosol qui masque les flux denses à la base, et une coulée plus lente de neige à forte teneur en eau liquide, dont la surface est visible.

Enfin, la restitution peut se produire sans rupture, par disparition de toute cohésion du manteau. Le scénario climatique est l'arrivée brutale d'une atmosphère chaude et humide, capable de provoquer d'un coup la fusion en masse de l'ensemble du manteau neigeux, qui avec une consistance de yaourt brassé se met en mouvement sur des

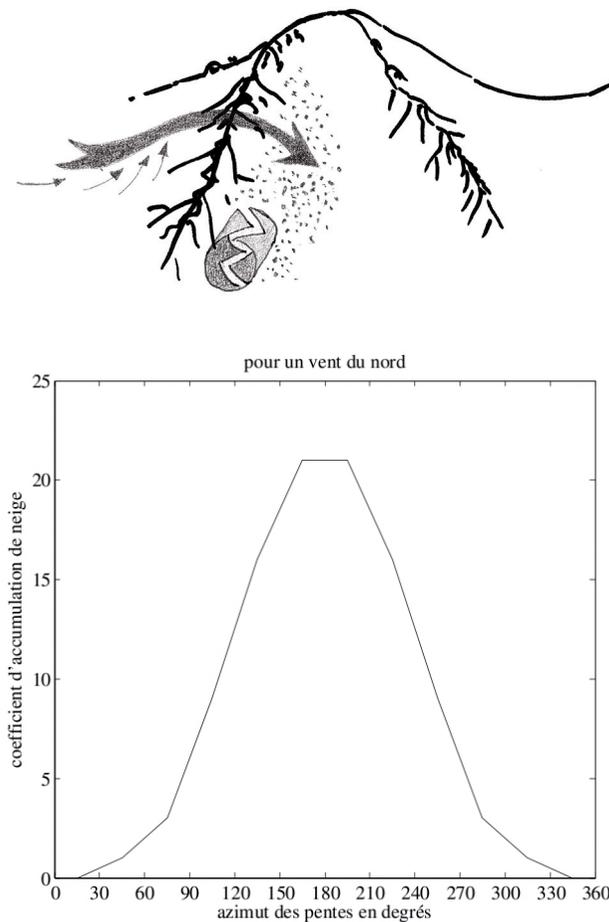


Fig. 2. — Les effets du vent.

pentés aussi faibles que 5°. On emploie pour ces débâcles le terme de *slush avalanches*, en vigueur dans les climats de hautes latitudes à forte empreinte océanique, comme l'Alaska, la Norvège, dont il est typique — bien qu'elles ne soient pas exclues en domaine pyrénéo-alpin. Presque tout le relief libérant sa couverture simultanément, la notion de zone de départ qui nous intéresse ici n'a plus cours : on évalue alors les risques en considérant chenaux d'écoulement et zones d'expansion en plaine.

Curieusement peut-être, on voit que si les conditions climatiques doivent être établies pour qu'on soit en présence d'avalanches, et si les chroniques pertinentes peuvent s'étaler sur plusieurs mois — lorsque par exemple, continûment froids et sans précipitations, ils précèdent une abondante chute de neige —, dans notre modélisation les températures ne jouent pas de rôle actif.

3.1.3 Les phénomènes en jeu

On fait l'hypothèse que la donnée du relief, couplée à des considérations climatiques simples et des observations générales doit permettre de cerner les zones de départ. Si le relief permet la mise en potentiel, la morphologie du terrain commande fortement les conditions de mise en place et d'évolution de la neige. Tout d'abord, dans le domaine alpin, les précipitations — et notamment neigeuses — augmentent avec l'altitude, puis plafonnent vers 3 000 m. On ne s'étonnera

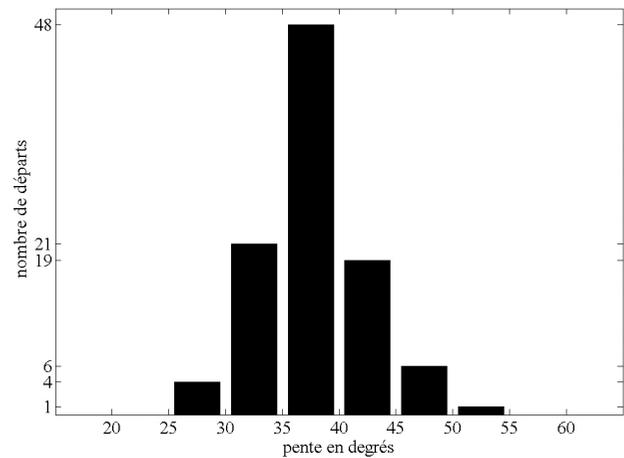


Fig. 3. — Propension aux départs de plaques de neige sèche en avalanches de grande ampleur, en fonction de la pente, par McCLUNG & SCHAEERER (1993 :75).

pas que l'activité avalancheuse augmente pendant et après les chutes de neige, et avec leur importance. Le vent est un facteur puissant pour orienter la sédimentation de la neige, mais aussi la redistribuer tant qu'elle se présente sous forme de flocons ou de grains, par érosion et dépôt secondaire, et pour activer son métamorphisme (figure 2). Il contourne un relief par toutes les voies disponibles, latéralement et en hauteur. La loi de Bernoulli formule qu'il s'accélère au cours du contournement et ralentit quand un nouvel espace lui est offert. Cela signifie que les dépressions transverses à sa trajectoire sont des lieux de ralentissement, où il y a sédimentation. Les zones en saillie transverses à sa trajectoire subissent déflation et corrosion, la mise en vitesse accroît les capacités d'érosion et de transport. Le comportement exact dépend du régime de vitesse. Sur un obstacle trop vif pour la vitesse, les filets d'air décrochent à l'aval, forment un sillage en tourbillon avec une sédimentation encore accentuée et la possibilité de former en crête une corniche avec des surplombs de plusieurs mètres. Au total, la neige s'accumule préférentiellement dans ce qui se présente comme une dépression relativement au vent local. Les formes en cirque arrivent à se charger dans à peu près toutes les conditions.

3.2 Les données sur les zones de départ

Les zones de départ sont généralement difficiles à observer. Les nuages peuvent obstruer la vue ; depuis la vallée le relief les masque souvent, et se déplacer vers un point de vue est souvent malaisé et au surplus, dangereux. Des moyens aériens ne sont mobilisés qu'en situation de catastrophes, et ils restent tributaires d'une ouverture météorologique. Les données disponibles sont de trois ordres.

3.2.1 Des observations (figure 3)

La distribution figure 3 a été établie par McClung et Schaeerer (1993 : 75), sur presque deux cents cas, observés assurément en Colombie-Britannique. Il n'y a pas de données attenantes, comme la météorologie ; on sait seulement que l'épaisseur à

la cassure s'échelonnait entre le décimètre et deux mètres. Les pentes faibles ne permettent pas d'atteindre le seuil de rupture ; dès 45°, et au-delà de 55°, la métastabilité est réduite, les pentes se purgent en petites avalanches tout au long des précipitations, avec une accumulation en pied. Cependant les alpinistes des hautes altitudes andines rapportent la tenue de poudreuse sur des pentes de plus de 60°. Une neige fraîche, aux cristaux en étoile bien formés, peut tenir sur des pentes jusque vers 87°, selon A. Roch, cité dans le cours de nivologie du Centre d'étude de la neige de Météo-France (2006), mais sur une épaisseur « limitée ». Si bien que pour McClung et Schaerer, quelle que soit la région, des avalanches de grande ampleur peuvent se produire dans des pentes de 60°. Ainsi, le service des pistes de Sept-Laux en Isère (France) rapporte une avalanche exceptionnelle, sur une face au vent très raide, habituellement vierge, où la pression dynamique de vents de tempête avait stabilisé quatre mètres de neige. De plus, McClung et Schaerer indiquent que « l'observation montre que la plupart des départs d'avalanches en plaques ont lieu sur des pentes planes (plutôt que convexes ou concaves). Et que l'expérience montre, pourtant, que le déclenchement est plus facile au sommet de zones convexes » ! — à comparer aux dires § 2.2. Ces affirmations, marginalement contradictoires, nous posent la difficulté de ne comporter aucun terme d'échelle qui permette de dire comment on juge une zone comme plane, concave ou convexe, et donc aussi quelle taille elle doit avoir.

3.2.2 De petits scénarios de physique intuitive

Par exemple, Berger et Liévois (2001 :125) relèvent en substance « qu'une zone d'au moins 10 m de large et 50 m de long dans le sens de la pente, laquelle doit être comprise entre 28° et 55°, surmontée d'une zone moins pentue avec une rupture de pente d'au moins 10° », est candidate aux départs d'avalanches. (On retrouve de multiples formulations similaires, aussi variée que ne le permet la souplesse syntaxique des langues naturelles — par exemple Maggioni (2004).) Ces formulations, fréquentes, sont des traductions spontanées, « terme à terme », du coup d'œil expérimenté sur un paysage. Elles comportent les pièges de la physique intuitive, remarque Viennot (1977, 1996) : elles revêtent l'apparence de lois physiques sans en avoir le cadre rigoureux, sont à la fois souvent erronées et difficiles à invalider. En cela, elles ne se prêtent pas à une réfutation, c'est-à-dire à former une connaissance scientifique, si l'on retient le critère de Popper (1973). La plus grande difficulté qui nous concerne est l'hétérogénéité de chacun des termes et des valeurs de sortie : tous sont dans des ensembles distincts, *ad hoc*, si bien que les opérations en jeu ne sont pas mathématiquement internes. On ne peut pas enchaîner les calculs, les composer, comme le permet un espace numérique. Chaque terme en entrée doit être produit à partir du relief par reconnaissance de forme, un problème en soi à chaque fois, et notoirement difficile — Milgram, (1993), Duda *et al.* (2000). Autrement dit il manque énormément de spécifications pour pouvoir transcrire ce type de formule en un algorithme, or, pour paraphraser Knuth (1992), les connaissances scientifiques sont celles que l'on comprend suffisamment bien pour pouvoir les expliquer à un ordinateur, et si on n'est pas à même d'en formuler, se confronter à une question relève de l'art :

Les termes s'arrangent en scénario explicatif en formant autant de discontinuités, l'ensemble a un fort comportement non-linéaire : on ne peut pas le moduler comme on voudrait. Ainsi Berger rappelle qu'en conditions exceptionnelles — celles qui nous importent ! —, une zone bien plus réduite peut déclencher une avalanche. Ainsi, Maggioni (2004) est amenée secondairement à fusionner en grands ensembles de petites zones candidates, sous de nouvelles conditions heuristiques qui ajoutent encore à l'hétérogénéité des domaines de raisonnement.

Un modèle par calque d'une formulation experte ne se prête pas à une manipulation numérique, comme de l'enchaîner dans un calcul qui le module, le soumet à un test, l'optimise. Typiquement on n'obtient pas un champ de valeur numérique continu sur tout l'espace, mais une découpe unique, beaucoup moins souple, en deux régions, positive et négative.

3.2.3 La seule donnée spatialisée, la carte de localisation des phénomènes d'avalanches (CLPA, figure 6)

La CLPA comporte (au 1 : 25 000) des emprises d'avalanches tracées d'après témoignages. Mais, même si seule l'arrivée a pu être vue, on ne peut décemment cartographier un couloir sans tracer au-dessus une zone de départ plausible. Un second type d'emprises, est tracé par interprétation de stéréo-photos aériennes (d'été) de l'IGN. Une avalanche s'y repère typiquement par une végétation rabotée, une cannelure dans le relief, un cône de déjection. Les zones de départ n'y sont pas manifestes, on *sait* qu'on doit en dessiner au-dessus d'un couloir, en utilisant là-encore une connaissance générale des avalanches, et une évaluation des pentes d'après le fond topographique. On procède d'ailleurs de même pour les zones d'arrêt, en faisant tourner un modèle mental d'écoulement. Au total, l'information de la CLPA sur les zones de départ, n'est pas totalement distincte des sources des deux paragraphes précédents.

3.3 Stratégie de modélisation des zones de départ

3.3.1 La voie d'une modélisation « totale » est impraticable et inappropriée

Précipitations, températures, rayonnements, pour n'être pas triviaux à approximer en tout point d'un massif, peuvent être raisonnablement encadrés, surtout si on vise à cerner des cas extrêmes. L'entrée très influente qui pose le plus de difficultés est le vent. On sait énoncer le sens des variations du vent sous l'influence d'un relief simple et régulier, puis les traduire en équations très simplificatrices à la façon de Purves *et al.* (1998) : déviation, ralentissement du vent — à l'exclusion de la turbulence. Mais même à ces conditions simuler son comportement sur des surfaces complexes exige d'itérer des calculs dont un seul cycle est coûteux. Par ailleurs, ces représentations simplifiées s'accordent mal de reliefs importants, parce qu'on y traite le vent vu dans un plan, et non en trois dimensions. Or on sait par exemple qu'à la station de Tignes, par fort vent synoptique du nord, le vent entre au niveau du sol par le bas de la station, c'est-à-dire du sud. Les modèles les plus élaborés comme SnowTran-3D de Prasad *et al.* (2001) n'ont

été testés que sur des reliefs trop atténués pour montrer des avalanches, et ont une trop faible résolution spatiale. Enfin, mesurer des vents à l'échelle qui commande des couloirs d'avalanches est aussi au-delà de nos moyens. La descente d'échelle, entre un flux synoptique et la maille métrique qui détermine les accumulations sur le terrain, en passant par les méso- et les très petites échelles météorologiques (< 2 km) est totalement hors de portée des moyens de calcul d'aujourd'hui, et essentiellement sans intérêt, car on cherche un modèle synthétique : une carte, et non pas le territoire, selon la formule de Korzybski (1998).

3.3.2 Les données et les outils

La vallée de Chamonix est avalancheuse, très bien documentée, avec des séries de couloirs similaires en morphologie. On y dispose (1) d'un modèle numérique du relief en courbes de niveau tous les 5 m, établi par la régie de données Savoie et Haute-Savoie (RGD 74), utilisable par l'équipe Etna à des fins de recherche ; de résolution très supérieure à ce que l'IGN rend disponible (des courbes à 25 m, établies par numérisation de cartes au 1 : 50 000, au pas de 50 m, et par saisie photogrammétrique) ; (2) des emprises de la CLPA téléchargées sur Cartorisque (<http://cartorisque.prim.net/>) ; (3) de l'orthophotoplan livré par l'IGN, millésimé 2004 et leur Scan25 « version 2, édition 1.1 », février 2006, qui est le fond de référence des emprises de la CLPA. Pour le climat, il faut se tenir à une description très globale, en termes de régimes dominants ou de scénarios typiques. L'exercice imposait ArcGIS pour effectuer et présenter les traitements.

3.3.3 Les traitements

L'entrée principale, les courbes de niveaux du relief est convertie en une image où chaque pixel a pour valeur l'altitude locale. Les observations qui précèdent sont transcrites en filtres linéaires sur les images (figure 4) et combinaisons logiques entre elles. Les termes principaux sont la concavité (figure 5), ou plutôt les concavités et leurs combinaisons, extraites d'une exploration de l'espace à deux paramètres où elles sont définies (figure 4), et les pentes, elles-aussi exprimées de façon relative à l'échelle considérée. Les autres paramètres sont secondaires et moins influents. Les traitements par combinaisons dans l'espace d'échelle sont bien fondés mathématiquement pour analyser des objets réels, dont la taille importe ; il y a de multiples possibilités de coder des notions délicates à réaliser autrement. Par exemple, si le modèle du relief présentait des terrasses sur une forte pente vue à échelle hectométrique, on pourrait faire annuler le versant en le multipliant (un ET logique), par les plages de pentes nulles formées à très petite échelle. Les possibilités sont immenses, qui permettent de cerner des configurations très particulières. Tous les calculs se mènent dans un cadre numérique homogène, où les entrées sont du même type que les sorties au lieu de former un ensemble hétéroclite à la manière de Fisher *et al.* (2004). L'opération finale est, à la façon de Weisinger (2006), une conjonction (ET logique) de l'ensemble des plans images préformés expressifs de chaque propriété importante. Elle donne des valeurs de propension aux dépôts en chaque point de la carte, avec des niveaux en auréoles comme désiré.

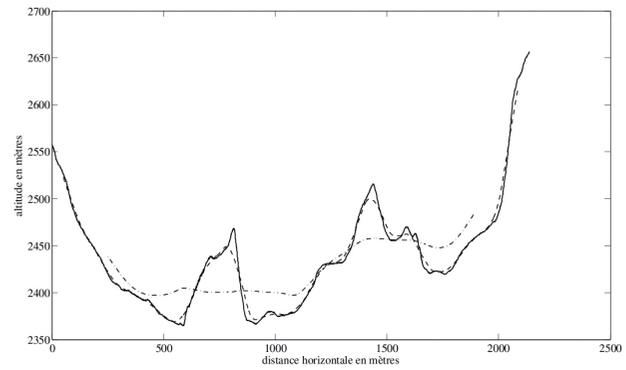


Fig. 4. — Travailler dans l'espace d'échelle.

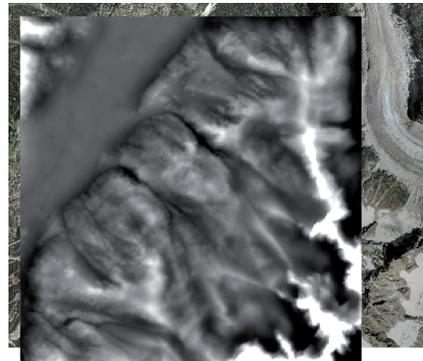
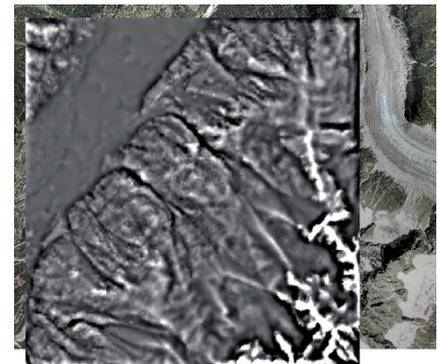
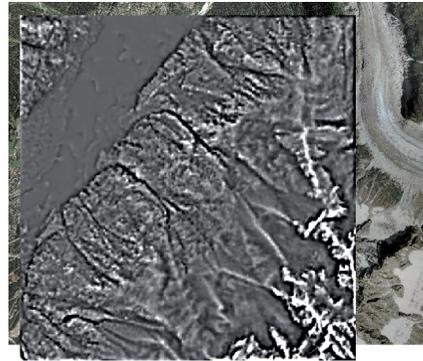


Fig. 5. — La concavité, à différentes valeurs de l'espace d'échelle.

Discussion et conclusion : une question d'apprentissage

Au final on dispose de trois sources d'informations, relativement indépendantes, qui livrent spatialement des zones de départ : les deux types d'emprises CLPA, et les réponses du présent modèle qui transcrit « ce qui se dit » ; elles se correspondent (mollement : figure 6), si l'on est indulgent, et sont largement discordantes si l'on s'intéresse à leurs différences. Comment invalider l'une ou l'autre, comment exploiter leurs différences, en extraire de l'information ? Il nous faudrait des données, *des faits*, une vérité de référence pour caler un apprentissage automatique et régler le paramétrage du modèle sur un autre outil qu'ArcGIS. Face à cette requête, Gilles Borrel, le plus expérimenté en France en cartographie des avalanches, retraité en 2009, confirme qu'on ne peut se fier fanatiquement aux contours supérieurs des emprises CLPA. Sollicité pour tracer soigneusement, sur son expertise, et avec en main toutes les données disponibles, des zones de départ de référence sur la vallée de Chamonix, sa réponse est « D'accord, donnez-moi les pentes, c'est ça l'essentiel. » L'exercice reste à faire, bien qu'il revienne à introduire dans les données une information clef du modèle, que l'on voudrait justement tester. C'est la seule façon de sortir du résultat grossier que l'on a. On voit l'utilité de nouvelles observations établies par lecture du terrain ou sur événement, spécifiquement pour mettre à l'épreuve le modèle et les données classiques. En leur absence, une voie d'investigation féconde peut être d'extraire les zones de départ des emprises CLPA, et de faire une classification comparée de leurs caractéristiques morphologiques et de celles en sortie du modèle. Il s'agit d'un travail plus complexe qu'une classification usuelle en analyse de données, puisqu'elle porte sur des *formes* — numériquement des fonctions, comme l'a proposé Ramsay (1982). Dans tous les cas, le travail interactif sur une restitution intégrée, en relief, des diverses sources de données peut apporter une aide sensible à l'investigation.

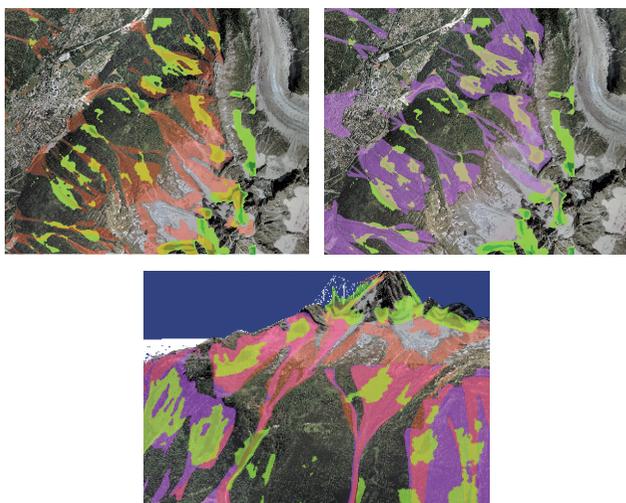


Fig. 5. — Comparaison de la sortie modèle comparée à la CLPA.

Remerciements

Je tiens à remercier Mohamed Naaim, pour m'avoir incité à travailler sur ce sujet ; Sébastien Escande, pour ses discussions sur les avalanches ; Florence Naaim et Hervé Bellot, sur les questions des effets du vent ; Yves Durand, pour tous les aspects météorologiques ; Gilles Borrel, pour tout ce qui concerne la CLPA ; François Rapin, pour l'ensemble des questions de déclenchement ; Vivian Bonnetain et Michaël Deschâtres, pour les nombreuses discussions et séances avec ArcGIS ; Frédéric Berger, notamment sur le rôle de la forêt dans la protection contre les avalanches ; d'une façon générale toute l'équipe Etna ; et aussi celle de Tetis qui m'a accueilli et m'a offert un environnement technique agréable et stimulant pour achever cette étude, financée par le « Pôle grenoblois risques naturels ».

Bibliographie

- ANCEY C. (dir.), *Guide neige et avalanches*, Édisud, Aix-en-Provence, 1996.
- BERGER F. & LIÉVOIS J., *Forêt et risques naturels en montagne : de la représentation de l'aléa au zonage du risque*, Hermès, Lavoisier, Paris, 2001.
- BUISSON L., *Le raisonnement spatial dans les systèmes à base de connaissances : application à l'analyse de sites avalanches*, thèse de doctorat, université Grenoble 1, 1990.
- BUISSON L., *Systèmes d'information, bases de connaissances et aide à la décision : quelques applications aux risques naturels*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université Grenoble 1, 1998.
- DUDA R. O., HART P. E., STORK D. G., *Pattern Classification*, 2^e éd., Wiley, 2000.
- FISHER P., WOOD J. & CHENG T., *Where is Helvellyn ? Fuzziness of multi-scale landscape morphometry*, *Trans. Inst. Br. Geogr.* NS 29, 2004, p. 106-128.
- FOEHN P., STOFFEL M. & BARTELT P., « Formation and Forecasting of Large (Catastrophic) New Snow Avalanches », *Proc. Int. Snow & science workshop*, Penticton, B.C., 2002.
- HARBITZ C. B., *Same : Snow Avalanche Modelling, Mapping and Warning in Europe*, EU contract no. ENV4-CT96-0258, 1994-1998.
- KORZYBSKI A., *Une carte n'est pas le territoire : prolégomènes aux systèmes non-aristotéliens et à la sémantique générale*, L'Éclat, Paris, 1998.
- KNUTH, D., *Literate programming*, CSLI, Stanford, California, 1992.
- LINDBERG T., « Scale-Space : A Framework for Handling Image Structures at Multiple Scales », *Proc. Cern School of computing*, Egmond aan Zee, The Netherlands, 1996, p. 12; 8-21.
- LINDBERG T., *Principles for Automatic Scale Selection*, Technical Report ISRN KTH NA/P—98/14—SE, Dept. of

- Num. Analysis and Comp. Sci., KTH (Royal Institute of Technology), S-100 44 Stockholm, Sweden, 1998.
- MAGGIONI M., *Avalanche Release Areas and their Influence on Uncertainty in Avalanche Hazard Mapping*, PhD thesis, Zürich U., 2004.
- MAGGIONI M. & GRUBER U., « The Influence of Topographic Parameters on Avalanche Release Dimension and Frequency », *Cold regions sci. & tech.*, 37 (3), 2003, p. 407-419.
- MANDELBROT B., « Formes nouvelles du hasard dans les sciences », *Économie appliquée*, 26, 2-4, 1973, p. 307-319, 346-365.
- MCCLUNG D. & SCHAEERER P., *The Avalanche Handbook*, The Mountaineers, Seattle, Washington, 1993.
- MÉTÉO-FRANCE, *Cours de nivologie du Centre d'études de la neige*, Saint-Martin d'Hères, France, 2006.
- MILGRAM M., *Reconnaissance des formes, méthodes numériques et connexionnistes*, Armand Colin, 1993.
- NAAIM M., *Risques liés à la neige et aux avalanches : étude des mécanismes et modélisation*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, université Grenoble 1, 1998.
- NOTTALE L., « Fractal Space-Time and Microphysics: Towards a Theory of Scale Relativity », *World Scientific Publ.*, Singapore, 1993.
- POPPER K. R., *La logique de la découverte scientifique*, Payot, Bibliothèque scientifique, Paris. Version originale allemande : *Logic der forschung*, 1934, 1973.
- PRASAD, TARBOTON D. G., LISTON G. E., LUCE C. H. & SEYFRID M. S., « Testing a Blowing Snow Model Against Distributed Snow Measurements an Upper Sheep Creek », Idaho, USA, *Water resources research*, 37 (5), 2001, p. 1341-1350.
- PURVES R. S., BARTON J. S., MACKANESS W. A. & SUGDEN D. E., « The Development of a Rule-Based Spatial Model of Wind Transport and Deposition of Snow », *Annals of Glaciology*, 26, 1998, p. 197-202.
- RAMSAY J. O., « When the Data are Functions », *Psychometrika*, 37, 1982, p. 379-396.
- VIENNOT L., *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*, thèse de doctorat d'État, université Paris 7, 1977.
- VIENNOT L., *Raisonnement en physique : la part de sens commun*, De Boeck Université, coll. « pratiques pédagogiques », Paris, Bruxelles, 1996.
- WEISINGER P., *Modelling of Avalanche Starting Zones from Terrain Variables at Poplar Creek*, B.C. <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/g470/class97/weisinger/sad.html#study%20Area>, 2006.

Chapitre 2

Information et outils de négociation de la prévention

4 Pratiques médiatiques et catastrophes naturelles : les inondations des 6 et 8 septembre 2005 dans le Sud-Est français

Benoît AUBLET

Département de Géographie, université de Grenoble, 14 bis avenue Marie Reynoard, 38100 Grenoble.

benoit_aublet@hotmail.com

Résumé. — Lorsqu'on étudie les risques naturels, on se rend vite compte de l'importance des médias : ils permettent d'une part d'informer les populations pendant la crise et de faire passer les messages d'alerte provenant des institutions, d'autre part ils participent à la préservation d'une « mémoire des catastrophes ». Dans cet article, nous montrons quel a été le rôle d'une radio locale lors des inondations survenues en 2005 dans le département du Gard, ainsi que le discours d'un journal d'information locale sur la catastrophe.

Mots-clés. — Médiatisation, catastrophes, crues rapides, radios locales, discours, journalisme.

Title. — *Media Practices about Natural Disasters : Floods of September 5 and 8, 2005 in the Southeast of France*

Abstract. — *When the natural risks are studied, we realize the importance of the media : on the one hand, they make it possible to inform the populations during the crisis and to transmit the messages of alarm coming from the institutions, on the other hand they take part in the preservation of a « memory of disasters ». In this article, we show the role of a local radio during a flood which has occurred in 2005 in the department of Gard as well as the data processing of a local newspaper on the disaster.*

Keywords. — *Mediatization, Disasters, Flash Flood, Local Radio Station, Journalism.*

Introduction

Communiquer efficacement et au bon moment constitue l'un des enjeux de la gestion des crises, quelle qu'en soit l'origine (Libaert, 2005 ; Reveret & Moreau, 1997). Les recherches antérieures sur la question (Ruin, 2007) ont notamment mis en exergue les déficiences de la communication à destination du public lors des crues qui ont frappé le Sud-Est de la France ces 50 dernières années. Si « communiquer sur les risques » ne peut se résumer à la seule question de la médiatisation des catastrophes naturelles, il n'est pas inintéressant de se pencher sur l'influence des médias et des répercussions du traitement médiatique des catastrophes dans l'espace non seulement public mais aussi scientifique.

4.1 Des médias et des crises

Actuellement la question de l'impact des messages médiatiques sur l'opinion et le comportement des gens demeure un sujet très polémique, et fait l'objet de controverses importantes dans la profession journalistique¹ (Belisle, Bianchi, Jourdan, 1999). Nous chercherons donc à appréhender et à décrypter la façon dont les médias communiquent en temps de crise, non pas pour jauger de l'impact des messages sur les populations, mais pour saisir à la fois les temporalités des discours (quand communique-t-on ?) et la rhétorique utilisée (quels sont les registres de discours employés ?) et cela dans un but précis : nous chercherons à montrer comment les médias jouent un rôle de première importance dans les mécanismes de traitement de crise en imposant leur rythme et une sémantique choisie. En 2005, Emmanuel Martinais écrit : « *discours de l'après, la catastrophe prend corps dans le regard que l'on porte sur elle, dans les illustrations et les récits par lesquels elle est restituée. Elle n'est donc pas une donnée ou un fait qui s'imposerait objectivement mais une construction qui repose sur des représentations, des images, des témoignages et des écrits caractéristiques d'une époque et d'une société.* » Nous postulons donc que l'étude et l'analyse des pratiques médiatiques en temps de crise constituent un enjeu pour la géographie dans le sens où la construction médiatique des catastrophes s'opère aussi en fonction de la plus ou moins forte attention du rapport au temps et à l'espace que ces pratiques médiatiques génèrent. En outre, Claude Gilbert (2002 :13) souligne les carences de la recherche en sciences sociales sur les questions médiatiques : « *malgré toute l'importance qui leur est spontanément accordée, les médias sont de fait encore insuffisamment étudiés par des chercheurs en sciences humaines et sociales.* » En géographie, rares sont les travaux qui étudient le rôle des médias — et plus globalement de la communication — et son intérêt pour la discipline. La plupart des travaux des géographes à propos de la question du risque — possibilité ou la probabilité d'atteinte aux enjeux humains (Pigeon, 2005) — et des catastrophes portent principalement sur l'aléa d'une part (l'étude du phénomène en tant que tel), et sur la vulnérabilité d'autre part, que nous définirons comme la « *propension d'un élément donné (ou d'un ensemble d'éléments) à subir des atteintes ou dommages, en cas de manifestation d'un phénomène naturel, anthropique ou mixte* » (D'Ercole, 1998). Ainsi, il semble que l'analyse des pratiques médiatiques constitue un autre angle d'approche

1. Sur le sujet, on peut aussi trouver de nombreuses contributions sur le site de l'Observatoire des Médias ACRIMED (www.acrimed.org).

intéressant de la question des risques et des catastrophes : la façon dont les médias en parlent et accompagnent la crise agit sur nos représentations, et nous renseigne sur nos pratiques sociales de gestion des événements. Les crises et les catastrophes génèrent aussi des pratiques médiatiques qui introduisent des décalages spatio-temporels dont il sera question ici.

Le traitement médiatique des catastrophes naturelles devient un enjeu majeur. Non pas qu'il n'existait pas auparavant, mais son importance s'est considérablement accrue. Les médias sont en effet devenus « *les principaux relais entre l'État et les citoyens* » (Tandé, 2002), ce qui contribue, selon Jacques de Guise, à « *socialiser et à politiser*¹ » les risques, projetant ainsi les médias en première ligne puisqu'ils deviennent des lieux de débats et de discussions quant aux responsabilités politiques et aux conséquences économiques d'une catastrophe. Tout d'abord, notons que la médiatisation des catastrophes n'est pas un phénomène nouveau, et selon René Favier « *on peut la repérer dans les temps les plus anciens, dès le Moyen-Âge : des catastrophes prennent de l'importance à la mesure de la répercussion que leur donnent les pouvoirs religieux et politiques*² ». Néanmoins, l'irruption massive et constante des médias dans le traitement des catastrophes n'émerge réellement que suite aux catastrophes — notamment technologiques — des années 70-80 : explosion de l'usine chimique Seveso en Italie (1976) et catastrophes nucléaires de Three Mile Island (États-Unis, 1979) et Tchernobyl (Ukraine, 1986). Plus récemment, en France, l'explosion de l'usine AZF (2001) à Toulouse a fait prendre conscience que malgré les dispositifs mis en place dans les années 90, de nombreuses déficiences sont encore à déplorer dans les processus et les dispositifs de gestion des risques. On constate que les enjeux se situent tout à la fois avant la catastrophe, dans la capacité à communiquer sur les dispositifs existants en matière de prévention et de prévision, pendant la catastrophe avec la communication de crise et les mesures à prendre en urgence et après l'évènement avec les retours d'expériences et les bilans financiers notamment. En cela, on peut affirmer que le rôle des médias est de plus en plus atemporel : ils interviennent avant la crise, pendant la crise, après la crise. Pour rendre compte des différences et de l'importance du traitement médiatique, René Favier (2005) prend l'exemple de deux avalanches comparables ayant eu lieu successivement en 1998 (l'avalanche des Orres le 24 janvier 1998) et 1999 (l'avalanche du glacier du Tour), la première ayant fait l'objet d'une couverture médiatique bien plus importante que la seconde. La différence de traitement est à mettre, selon lui, sur le compte de la recherche des responsabilités. Lors de la première avalanche, celle qui fût largement couverte médiatiquement, les responsabilités étaient clairement définies, ce qui n'était pas le cas concernant l'avalanche du glacier du Tour. Le manque de lisibilité concernant les responsabilités lors de la seconde avalanche a, selon l'auteur, été un facteur de non-emballage de la machine médiatique. Les médias ont donc une facilité à discuter des responsables et des coupables du déclenchement d'une crise, mais il leur est beaucoup plus compliqué de relater les causes profondes

de l'évènement. Ainsi on peut affirmer que « *la catastrophe naturelle n'existe que parce que les hommes en parlent. Sans médiatisation, pas de catastrophe ! Par leur façon de traiter les sujets, les médias participent à la mémorisation ou à l'oubli des événements catastrophiques* » (Favier et al., 2005). C'est aussi ce que note Julia Montredon (2005) : « *Il est possible de souligner les rapports de circularité et les influences réciproques qu'il existe dans ces formes de mémoires écrites et orales où la presse a son rôle à jouer. En cela, les médias détiennent un important pouvoir symbolique dans leur capacité à décider ce qui doit être transmis, véhiculé et a fortiori oublié.* » Il semble donc qu'il y ait un enjeu à comprendre la façon dont les médias construisent l'évènement, l'évoque, le représente. L'interprétation médiatique des faits est tout autant importante dans ce qu'elle contient de représentations, de symbolique, de référence à l'histoire qui sont constitutifs d'une identité territoriale et locale plus ou moins affirmée. De plus, on peut aussi considérer comme le fait Emmanuel Martinais (2005) que « *la catastrophe est une construction qui repose sur des représentations, des images, des témoignages, des écrits caractéristiques d'une époque, d'une société et des institutions qui les produisent (au rang desquelles les organes d'information occupent une position particulière)* ».

4.2 L'évènement du 6 et 8 septembre 2005

J'ai choisi ici de montrer la façon dont les médias locaux ont traité de la catastrophe — ou plutôt de l'inondation — du 6 et 8 septembre 2005 qui a touché les départements du Gard et de l'Hérault. Pour rappel, la figure 1 ci-dessous rappelle brièvement les « étapes » successives de l'évènement en question :



Fig. 1. — Résumé du déroulement des inondations de septembre 2005 dans le Gard (source : B. AUBLET, 2005).

Je me suis focalisé sur deux médias que sont le *Midi Libre* pour la presse écrite locale, et France Bleu Gard-Lozère pour la radio. Ce choix a été guidé par la nécessité d'aborder différents éléments de la gestion médiatique des crises : la temporalité de la presse écrite ne lui permet pas d'avoir un rôle pendant la crise, elle se focalise donc davantage sur les éléments de bilan de la catastrophe, de recherche des responsabilités politiques et techniques, et focalise son approche sur le vécu des habitants et sur les témoignages des locaux ainsi que des responsables de la gestion de crise. *A contrario*, la radio locale France Bleu Gard-Lozère joue

1. www.com.ulaval.ca/perso/deguise.html.

2. www.fulei.org, *Dieu, l'expert et les cataclysmes sur les « états défailants »*, page consultée le 15/07/2008.

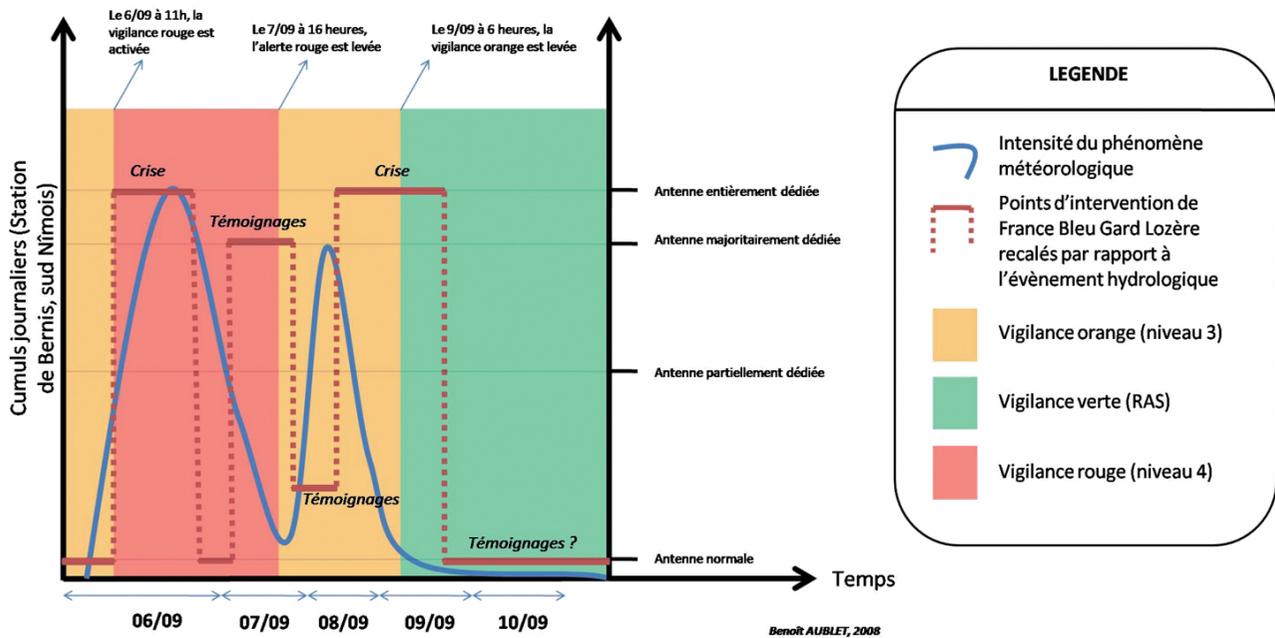


Fig. 2. — L'intervention de France Bleu Gard Lozère lors des événements (source : B. AUBLET, 2005).

un véritable rôle au niveau local dans la gestion de crise en réquisitionnant son antenne et en la dédiant quasiment exclusivement à la crise (témoignages d'auditeurs, messages d'alerte, passage à l'antenne des responsables de la gestion de crise, communiqués officiels, etc.). Il est donc intéressant de regarder comment ces deux médias ont parlé de ces inondations et de mettre en parallèle leurs interventions. Tout d'abord, nous nous intéresserons au rôle de la radio — qui concerne en quelque sorte le temps réel de la crise — pour ensuite voir comment celle-ci est vue par la presse locale.

4.2.1 Rôle et intervention de France Bleu Gard-Lozère

Radio France, en tant que média de service public, a en effet un devoir légal d'intervention dans le « *domaine de l'information des populations dans les situations de crise en matière de sécurité et de défense civiles* ». Dans ce cadre, France Bleu Gard-Lozère doit s'acquitter des missions suivantes :

- avant la crise : la radio doit informer la population sur les risques et les mesures de prévention et de protection à appliquer ;
- pendant la crise : la diffusion d'informations a pour objet d'établir un lien entre les autorités de l'État et les populations et de relayer les consignes comportementales desdites autorités ;
- après la crise : l'information de la population est assurée en vue de faciliter un retour à une situation normale aussi rapide que possible.

La figure 2 permet de mieux visualiser les différents temps d'intervention de France Bleu Gard-Lozère en relation à l'évènement hydrométéorologique et aux niveaux de vigilance. C'est une représentation de ce qui s'est passé, il se base sur des entretiens pour France Bleu Gard-Lozère, et concernant le phénomène hydrologique, sur les cumuls des précipitations journalières enregistrées à Bernis (au sud de Nîmes).

Ainsi, lorsqu'un évènement survient, l'antenne de France Bleu Gard-Lozère est réquisitionnée et entièrement dédiée à la crise selon des procédures de niveau 1, 2 et 3 en fonction de la gravité de la catastrophe. La procédure de niveau 1 implique qu'un journaliste supplémentaire soit présent dans la « matinale », il intervient dans les journaux. La procédure de niveau 3 est activée en cas d'activation d'une vigilance orange : les cadres et le directeur doivent se rendre à la station ; des journalistes supplémentaires peuvent être appelés ; des points d'informations sont ajoutés ; les invités choisis ont un lien de responsabilité avec l'évènement en cours ; enfin la pertinence de diffuser chaque chronique est évaluée en fonction de l'intensité de l'évènement. La procédure de niveau 4 (en cas d'alerte rouge) reprend en partie les directives de la procédure de niveau 3 tout en ajoutant dans les actions à suivre l'envoi d'un journaliste à la cellule de crise de la préfecture, ainsi que la « cassure » de l'antenne remplacée par un fil d'information continu sur la crise. Les différentes procédures prennent fin lorsque l'alerte est définitivement levée. On peut ici faire une liste rapide des messages que France Bleu Gard-Lozère adresse à ses auditeurs en temps de crise. On communique :

- sur l'état des routes et celles à n'emprunter sous aucun prétexte ;
- sur les consignes de sécurité à respecter (se réfugier sur un « point haut » par exemple) ;
- sur les prévisions météorologiques pour les heures à venir ;
- en s'appuyant sur des témoignages d'auditeurs pour témoigner des situations météorologiques locales.

Pour résumer, nous conviendrons donc que les objectifs des médias en temps de crise sont doubles : d'une part ils cherchent à modifier les comportements, d'autre part à diffuser des connaissances sur les risques et les consignes de sécurité à respecter (diffusion des « bonnes pratiques »). Premièrement, il est intéressant de noter que France Bleu Gard-Lozère ne « cale » pas uniquement ses interventions en fonction des vigilances décrétées par Météo-France :



Fig. 3. — Quelques « Unes » du *Midi Libre* lors des inondations (source : le *Midi Libre*, édition Nîmes-Uzège, septembre 2005).

seule la première « cassure » d'antenne intervient parce qu'un état de vigilance rouge vient d'être émis (figure 2). La suite des interventions n'est plus calquée sur les états de vigilances successifs. Ensuite, il apparaît aussi qu'il existe de nombreux décalages entre le phénomène hydrologique et le temps médiatique d'intervention de France Bleu Gard-Lozère : le 7 septembre, alors que la situation est calme sur le plan météorologique, l'antenne demeure mobilisée pour la crise. Mais peut-on réellement parler d'antenne de « crise » lorsque la plupart des reportages diffusés tout au long de la journée du 7/09/2005 se situent plutôt sur le registre des conséquences et des témoignages des populations ?

4.2.2 L'évènement traité par un organe de presse local : le *Midi Libre*

Tout d'abord, soulignons que les éditions du 5 et 6 septembre comportent des encarts en première page qui signalent l'éminence d'épisodes pluvieux, et on compte un article seulement qui donne quelques éléments sur la situation météorologique à venir. L'édition du 6/09 (jour de fortes précipitations) signale par ailleurs dans sa « une » le passage en vigilance orange, et un article en page 23 du même journal mentionne que « *des inondations importantes sont malheureusement à attendre* ».

Le second temps du discours apparaît une fois le premier épisode survenu : nous sommes alors dans la « sur-détermination » de la catastrophe (Almaric, Scarwell, Laganier, 2005) dans la mesure où le contexte est tel qu'il tend à substituer à l'analyse des enjeux locaux liés à l'évènement une autre scène surmédiatisée. Pour preuve, certaines éditions du 7 septembre dans le *Midi Libre* font leur « Une » sur les inondations survenues dans le Gard et dans l'Hérault alors même qu'elles ne recouvrent pas les territoires impactés par l'évènement. La catastrophe dépasse alors les considérations locales, elle est largement relatée dans des territoires proches mais qui ne sont pas directement touchés par les inondations. Il apparaît aussi clairement que l'aspect évènementiel est largement mis en avant dans une perspective très dramaturgique et la figure 3

montre que le *Midi Libre* a recours à des images fortes de la catastrophe. Dans les éditions du 7 et 9 septembre, les premières pages ne contiennent quasiment que des images de la catastrophe : on invite le lecteur à voir ce qui s'est passé plus qu'à comprendre le phénomène.

Bien plus que dans les autres médias, la presse écrite fait encore largement référence à une rhétorique moderniste (Lyotard, 1979 ; Baudrillard, 1981) pour décrire les évènements. À chaque évènement pluvieux correspond le lendemain un récit parsemé de références à la symbolique des eaux : on trouve dans l'édition du 7 septembre dix fois le mot « déluge ». On constate en fait que les explications du phénomène scientifique (hauteurs d'eau, causes, effets, etc.) sont généralement délaissés au profit d'un traitement « émotionnel » de l'évènement (figure 3). À la suite des précipitations du 6 septembre, c'est la rhétorique de l'impuissance qui s'installe dans l'édition du lendemain. Il semblerait que le destin s'acharne, et les termes de résignation et d'impuissance sont sur-employés : « *Plus d'eau qu'en 2003, des habitants presque résignés* » ; « *L'œil fixé sur le Vidourle, avec résignation.* » Ce sont alors des propos alarmistes et catastrophistes qui dominent. Les habitants souffrent de ce qu'ils qualifient « *d'abandon* » et bien souvent les journalistes recueillent des propos très coléreux, sans véritable recul sur l'évènement : « *Qu'est-ce qu'ils font les pompiers ? Ils dorment dans leurs camions avec des bateaux derrière. Mais c'est hier qu'on en avait besoin des bateaux* » ; ou encore dans le même article le témoignage d'un Gardois : « *On a le sentiment d'avoir été oublié.* » Ainsi sont rapidement désignés des boucs-émissaires, on cherche les coupables de cette situation, et ce sont directement les responsables de la sécurité civile qui sont visés. Et pour cause, ce sont eux les premiers à intervenir sur les lieux de la catastrophe ; eux qui sont en lien direct avec les populations sinistrées. Ce qui est surprenant, c'est l'importance accordée aux conséquences de la catastrophe et aux méfaits des inondations : les journalistes relatent « *l'anxiété* » des populations, la « *colère* » qui anime les « *sinistrés* » (graphique 2). Comme le souligne Julia Montredon (2004), « ces expressions apparaissent comme

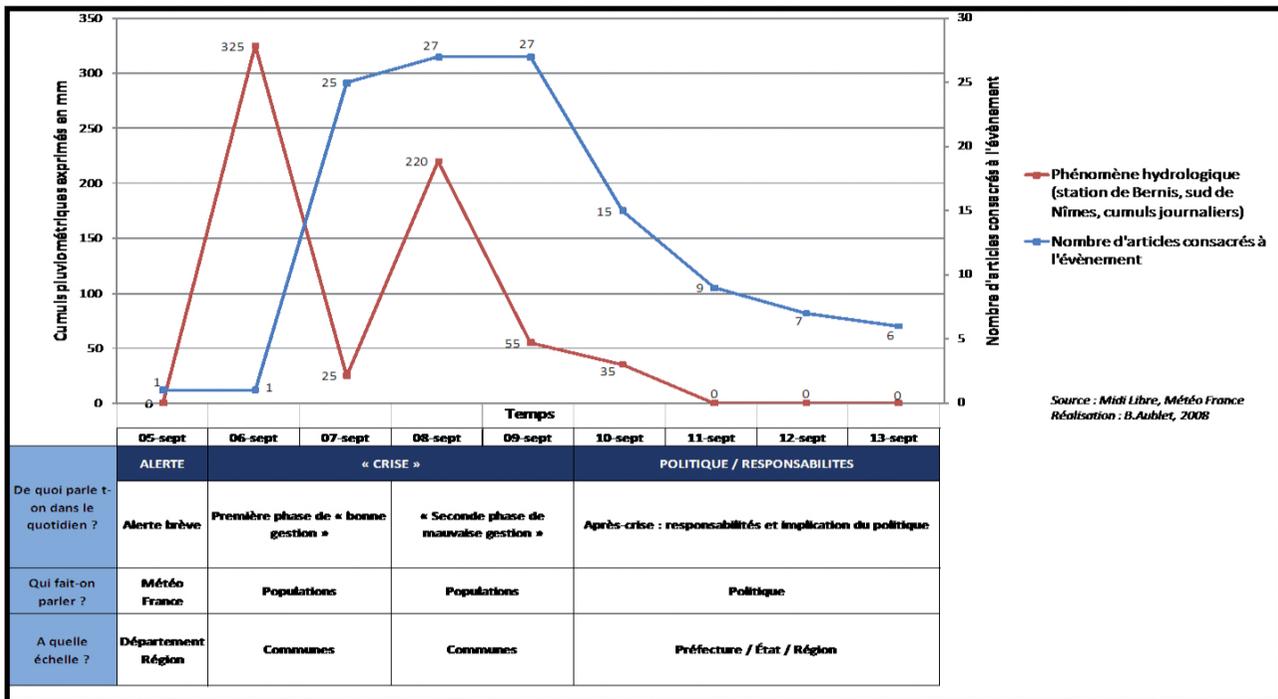


Fig. 4. — Temporalités et registres employés par le *Midi Libre* en 2005 (source : B. AUBLET, 2005).

incontournables quand il s'agit d'évoquer les pouvoirs destructeurs de la nature sur les œuvres des hommes. Cette façon de restituer les phénomènes, qui permet de les intégrer et par là même de les conjurer, fait partie du discours journalistique ; il semblerait que ce soit une manière toujours d'actualité pour présenter et qualifier des événements catastrophiques. Le discours de la catastrophe rejoint toujours le registre apocalyptique : échappant à l'humain, elle impose le recours au jugement dernier ». Et cela se vérifie dans le journal : plus de 50 % des articles diffusés entre le 5 et le 13 septembre se situent dans deux registres : celui du « tragique », des conséquences « dramatiques », et celui de « l'impuissance », le fait de n'avoir aucune possibilité d'échapper à l'évènement. De même que dans le cas des inondations de 2001 dans la Somme évoquées par Almaric, Scarwell et Laganier (2005), « les méfaits des inondations sont inlassablement listés sans qu'allusion soit faite à des facteurs explicatifs objectifs [...] ». La presse relate les hauteurs d'eau, mais ne se réfère pas aux causes profondes de ces inondations. » Plus qu'un véritable « média » au sens originel — technique de diffusion de l'information — la presse se complait volontiers dans un rôle de constatation sans véritable esprit critique. En effet, sur près de 120 articles durant l'évènement de septembre 2005, on en compte seulement cinq qui, de près ou de loin, font référence aux causes scientifiques explicitées auparavant que sont d'une part la survenue d'un aléa soudain et violent, et d'autre part une vulnérabilité avérée.

L'édition du 8 septembre semble faire état de la « fin de crise » dans le département. Les précipitations de la veille sont en effet bien moindres que celles du 6. Ces titres d'articles sont tirés de l'édition du 8 septembre 2005 et témoignent de cette ambiance de fin de crise : « *Un dispositif d'alerte efficace et des pluies limitées* » ; « *Efficace*

cellule de crise » ; « *En Camargue, l'efficacité de la cellule de crise* » ; « *Nîmes a tiré les leçons des inondations de 2002* ». Ces propos plutôt « rassurants » sur les prévisions et les dispositifs mis en place par les pouvoirs publics n'ont pas contribué à maintenir « l'état d'alerte ». En effet, Météo-France avait baissé le niveau d'alerte, passant du rouge à l'orange, ce qui a contribué à faire décroître le niveau de vigilance des pouvoirs publics et des populations. Pourtant, les précipitations du 8 septembre provoquent de nombreux dégâts et les réactions du lendemain dans le journal sont loin d'être bienveillantes à l'égard des pouvoirs publics. Là encore, comme lors de l'épisode de l'avant-veille, on constate que les adjectifs employés pour désigner l'évènement sont ceux de la disproportion, de l'émotion, du bouleversement et de la paralysie. Une nouvelle fois, le discours oscille entre le registre biblique des calamités et celui de la passion : « *Nîmes sous les eaux* » ; « *Le Déluge* » ; « *Après une nuit agitée, un village à nouveau dévasté* » ; « *la cité inondée et paralysée en une heure* » ; « *Richelieu, le quartier maudit, noyé par les flots* » ; « *Nîmes souffre mais serre les poings* » ; « *Inconsolables, les naufragés du Vistre* » ; « *Aubord. Commune martyre mais pas abandonnée* ». On voit aussi émerger des discours accusateurs envers les pouvoirs publics. En termes de temporalité, la figure 4 fait apparaître :

- Des « intensités médiatiques » différentes en fonction du déroulement hydrométéorologique de l'évènement : les médias sont très mobilisés dans le flux de l'évènement, et cela va décroissant une fois la crise terminée.
- Des acteurs différents : les scientifiques, les populations, les acteurs politiques n'ont pas la parole au même moment de la crise.
- Des échelles de référence différentes : le département constitue l'espace de l'alerte (et même la région), la commune et le local sont mobilisés pour traiter de la

crise, enfin le régional et même national sont convoqués en fin de crise dans la question des bilans.

4.3 La vulnérabilité, oubliée du traitement médiatique ?

Nous avons étudié auparavant les registres de discours employés dans le *Midi Libre* lors de l'évènement de septembre 2005, voyons à présent ce dont on ne parle pas. Il s'agit de montrer comment les médias, en se focalisant principalement sur le phénomène hydrométéorologique et ses conséquences, contribue à véhiculer une approche très « aléa-centrée » de la problématique des risques et des catastrophes, en délaissant la vulnérabilité. Certes, jusqu'au milieu du XX^e siècle, l'étude des risques d'un point de vue scientifique se concentre exclusivement sur les phénomènes naturels à l'origine des catastrophes : inondations, éruptions volcaniques, tremblements de terre, cyclones, glissements de terrain, etc. De ce fait, la question du risque était encore jusqu'à une époque très récente l'apanage des sciences de la terre et de ses domaines : volcanologie, sismologie, hydrologie, géologie, géomorphologie etc. Il faut attendre la fin de la première moitié du XX^e siècle pour observer un changement d'approche : dans sa thèse intitulée « *Human Adjustment to Floods* » où il décrit l'attitude des populations des plaines inondables ainsi que les politiques de lutte contre les inondations, le géographe américain F. G White fait entrer les sciences sociales dans le champ de l'étude des risques, malgré un positionnement très « aléa-centré » qui met l'accent sur le caractère rare et extrême des phénomènes naturels, en reléguant au second plan les enjeux sociaux. Cette approche semble se baser sur l'idée — très moderne par ailleurs — qu'avec la science tout devient (ou sera) possible. De fait, les recherches se concentrent sur les aspects préventifs du risque et sur la résolution des problèmes par la technique. Pour les tenants de cette approche, le cœur du problème se situe dans les mesures de prévention définies comme des « *activités destinées à empêcher un phénomène naturel d'avoir des effets dommageables pour les personnes et les biens* » (Cuny, 1983). En 1945, White préconisait la mise en place de barrages, de digues et de chenaux d'écoulements qui lui semblent alors être les « meilleures solutions ». Il apparaît très clairement que l'objectif de ces actions — à terme — est de parvenir à « maîtriser », du moins à contenir l'aléa. Et cela est encore fortement relayé par les médias, comme dans le *Midi Libre* en 2005 où l'on véhicule régulièrement l'idée selon laquelle de simples travaux d'aménagement permettraient d'éviter des dégâts : « *Il y a la pluie, les bouches d'égouts qui se soulèvent. Mais dans ce quartier, nous recevons toute l'eau du cadereau de la route d'Uzès. Si des travaux ont été réalisés en amont, ici rien n'a été fait.* » Ou encore : « *on pointe du doigt les longues procédures pour lancer la construction des bassins de rétention envisagés depuis 1998. Le matin même de la première inondation devaient débiter les travaux de l'élargissement du lit du Rieu [...]. La colère ne tardera pas peut-être pas à suivre¹.* » Par ce type d'énoncé contrefactuel (même si des bassins de retentions avaient effectivement

été construits, nous ne savons pas quelles en auraient été les conséquences), les médias véhiculent cette idée selon laquelle l'aménagement du territoire constitue la clé de résolution de la question du risque et des catastrophes, bien que cette obsession de la maîtrise ait pourtant été fortement remise en cause depuis une vingtaine d'années, notamment avec Ulrich Beck dès 1986.

Bibliographie

- ALMARIC M., SCARWELL H. J. & LAGANIER R., « La représentation médiatique du risque d'inondation : entre déni et rumeur. Le cas de la somme », in FAVIER R. & GRANET-ABISSET A. M. (dir.), *Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité*, actes du colloque intitulé « *Le traitement médiatique des catastrophes : entre oubli et mémoire* », C.N.R.S., M.S.H.-Alpes, 2005.
- BAUDRILLARD J., *Simulacres et simulation*, Éditions Galilée, coll. « Débats », Paris, 1981.
- BECK U., *La société du risque : sur la voie d'une autre modernité*, Flammarion, Paris, 1986 (trad. française 2001).
- BELISLE C., BIANCHI J. & JOURDAN R., *Pratiques médiatiques*, C.N.R.S. Éditions, Paris, 1999.
- CUNY F., *Disasters and Development*, Éditions Oxford University Press, USA, 1983.
- D'ERCOLE R., *Approches de la vulnérabilité et perspectives pour une meilleure logique de réduction des risques*, Pangea, 29/30, 1998.
- FAVIER R. & GRANET-ABISSET A.M., *Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité*, Maison des Sciences de l'Homme, Grenoble, 2005.
- GILBERT C. (dir.), *Risques collectifs et situations de crise : apports de la recherche en sciences humaines et sociales*, L'Harmattan, Paris, 2002, 340 p.
- LIBAERT T., *La communication de crise*, Éditions Dunod, Les Topos, 2^e édition, Paris, 2005, 118 p.
- LYOTARD J.-F., *La condition postmoderne*, Éditions de Minuit, Paris, 1979.
- MARTINAIS E., « La catastrophe comme construction du champ médiatique. L'éboulement de Fourvière (1930) à travers la presse écrite », in FAVIER R. & GRANET-ABISSET A. M. (dir.), *Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité*, actes du colloque intitulé « *Le traitement médiatique des catastrophes : entre oubli et mémoire* », Éditions M.S.H.-Alpes, C.N.R.S., 2005.
- MONTREDON J., *Des journaux contre une catastrophe. La crue du Guil, juin 1957, dans le Queyras*, in FAVIER R. & GRANET-ABISSET A. M. (dir.), *Récits et représentations des catastrophes depuis l'Antiquité*, actes du colloque intitulé « *Le traitement médiatique des catastrophes : entre oubli et mémoire* », Éditions M.S.H.-Alpes, C.N.R.S., 2005.
- PIGEON P., *Géographie critique des risques*, Éditions Anthropos, coll. « Economica », Paris, 2005.

1. *Midi Libre*, édition « Nîmes-Uzège », 9 septembre 2005, p. 5.

- REVERET R. & MOREAU J.-N., *Les médias et la communication de crise*, Éditions Economica, coll. « médias poche », Paris, 1997.
- RUIN I., *Conduite à contre-courant. Les pratiques de mobilité dans le Gard : facteur de vulnérabilité aux crues rapides*, thèse de doctorat, université Joseph-Fourier, Grenoble I, 2007.
- TANDÉ D., *La construction sociale des risques majeurs et de la crise à la télévision : quelle participation à l'élaboration d'une culture de sécurité*, thèse pour obtenir le grade de docteur en Sciences de l'Information et de la Communication, s.l. dir. de Béatrice Cormier et Jean Mouchon, université Paris X-Nanterre, U.F.R. Littérature, Langages, Philosophie, novembre 2002, 411 p.
- WHITE G. F., « Natural Hazards Research », Kates R. W. et Burton I. éd., *Geography, Resources, and Environment*, vol. I, *Selected Writings of Gilbert, F. White*, The University of Chicago Press : Chicago, 1986, p. 324-347.

5 Les maires et les Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI) : une prise de position délicate et des libertés prises par rapport au cadre réglementaire

Johnny DOUVINET¹, Stéphanie DEFOSSEZ²,
Arnaud ANSELLE³, Anne-Sophie DENOLLE⁴

1. *Équipe d'Avignon, U.M.R. ESPACE 6012 C.N.R.S., université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, 74 rue Louis Pasteur, 84029 Avignon Cedex 1.*

2. *U.M.R. GRED, université Paul-Valéry, Montpellier 3, Route de Mende, 34199 Montpellier, cedex 5.*

3. *Groupe Prévion, Service départemental Incendie et Secours de l'Isère, 19, avenue Victor Hugo, 38170 Seyssinet-Pariset.*

4. *CRDFED, Centre de Recherche en Droits fondamentaux et sur l'Évolution du Droit, université de Caen Basse-Normandie, Esplanade de la Paix, 14035 CAEN Cedex 2.*

johnny.douvinet@univ-avignon.fr

stephanie.defossez@univ-montp3.fr

arnaud.anselle@sdis38.fr

anne-sophie.denolle@unicaen.fr

Résumé. — Cet article a pour objectif d'analyser les prises de position des maires par rapport aux Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI) instaurés depuis 1995. Situés à un niveau « intermédiaire » entre l'État et leurs administrés, les maires sont à la recherche d'un judicieux mais délicat compromis entre des intérêts multiples et contradictoires. Ils font face à d'importantes pressions venant par le « haut » (instances institutionnelles) et par le « bas » (population). Les ajustements observés sont considérés ici comme de très bons indicateurs des tensions existant aux échelles locales. Certaines adaptations (apparition des zones « violettes »/ négation des restrictions) traduisent toutefois une tendance à la négociation de l'« aléa » dans certaines zones, surtout là où la densité du bâti est élevée. Cet article discute finalement des liens entre la gestion du risque, l'urbanisation et le développement local. Les catastrophes de 2010 (La-Faute-sur-Mer, Draguignan) soulignent à quel point il devient urgent de suivre les recommandations établies pour les zones « dangereuses ».

Mots-clés. — Plan de Prévention des Risques, inondation, maires, manœuvres, lois.

Title. — *Mayor-Elects and the Plan for Flood Risk Prevention: Possibilities and Liberties*

Abstract. — *The aim of this paper is to review possibilities that the mayor-elects have to implement the plan for flood risk prevention (called Plan de Prévention du Risque Inondation or PPRI in France). Such document plays the public purpose submissiveness and locally determines urban and land use organisations. But several irregularities are observed over the last years. In order to respect time-dura-*

tion of the procedures, restrictions can be suitable in the red or blue areas and « purple areas » also appear. Such adaptations reflect important pressures (due to individual, industrial and collective claims) as well as multiplication of colours in defining restrictive areas. Then, in reality, do the mayor-elects take into account technocratic measures imposed by the nation ? Consequently, this paper aims at discussing links (or not ?) between the prevention, risk guidelines, real estate and local development. Such talk increases in value as recent events (La-Faute-sur-Mer, Draguignan) cause important material and dramatic human losses.

Keywords. — *Plan of Risk Prevention, Flood, Mayor-Elects, Liberties, Laws.*

Introduction

Acteur incontournable dans la gestion des risques, le maire dispose d'un pouvoir de police générale important en matière de protection de l'environnement (Dubois-Mary, 2002 ; Tricot et Labussière, 2008 ; Cour des Comptes, 2008 ; Vatna, 2009 ; Denolle et Douvinet, 2010). L'article L. 2212-2 du Code général des Collectivités territoriales met l'accent sur l'obligation qui incombe aux maires de prévenir et de faire cesser tous les accidents naturels (incendies, inondations, ruptures de digues, éboulements de terre ou de rochers, avalanches). En tant qu'autorité réglementaire élue la plus proche des citoyens, le maire doit favoriser l'information de ses administrés sur les risques qui sont susceptibles de se produire sur son territoire, en particulier à travers le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) qu'il doit « normalement » envoyer tous les deux ans à chacun de ses habitants. Par ailleurs, il est chargé de la gestion de crise vis-à-vis de sa population, en ayant recours au Plan Communal de Sauvegarde (PCS) parallèlement à l'action des équipes de secours (SDIS).

Néanmoins, sur certaines communes, les maires, réfractaires à l'idée d'appliquer les Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI), préfèrent encourir le risque de voir leur responsabilité engagée. En réalité, ce type de comportement n'est pas tout à fait surprenant. Les maires font face à de fortes pressions, émanant de leurs administrés (intérêts privés et/ou collectifs) mais aussi des services déconcentrés de l'État situés à un niveau supérieur (Préfecture, Direction départementale des Territoires et de la Mer, DDTM, ou la DREAL, Directement régionale

de l'Équipement, de l'Aménagement et du Logement), en charge d'appliquer les mesures étatiques. Les maires se retrouvent ainsi dans une position délicate puisqu'ils se situent à un niveau intermédiaire entre la population et le gouvernement (de manière simplifiée). Les élus peuvent aussi avoir des intérêts personnels (par exemple, vouloir développer sa commune et accroître son pouvoir urbanistique) qui vont à l'encontre de la volonté des acteurs précédemment cités. Plusieurs retours d'expérience (Doubs, Gard, Haut-Rhin, Hérault, Ille-et-Vilaine, Isère, Vaucluse) amènent à penser que ce type de situations est bien plus fréquent que ce que l'on pourrait croire. La catastrophe de La-Faute-sur-Mer du 28 février 2010 (53 victimes suite à la tempête *Xynthia*) ou les sévères inondations du 15 juin 2010 dans la région de Draguignan (25 morts et 3 disparus) illustrent assez nettement : construites dans des zones inondables et dangereuses (bien que protégées par des digues, dans le cas de La-Faute-sur-Mer), les habitations ont été autorisées par les élus en réponse à une forte demande des promoteurs. Ces pratiques n'auraient sans doute pas été mises en avant (ou dénoncées) sans l'apparition de ces catastrophes. L'ORIG (Observatoire du Risque Inondation dans le Gard) rappelle que 100 000 logements ont été implantés en zones inondables entre 1999 et 2008 pour le département du Gard. Et encore, les crues de 1999 apparues dans la basse vallée de l'Aude ont ralenti la tendance de cette urbanisation de plus en plus consommatrice d'espaces. *A contrario*, il existe des documents pour restreindre l'urbanisation dans des secteurs à fort risque, tels que les PPRI qui valent servitude d'utilité publique. Dès lors, comment se fait-il que l'urbanisation se poursuive aujourd'hui dans des zones potentiellement sujettes à une inondation majeure ? Comment expliquer que près de 15 % de la population française, soit 9 millions de personnes, vivent dans des secteurs qui, à plus ou moins long terme, seront touchés par une inondation d'ampleur et d'intensité remarquables ?

Afin de répondre à ces questions, cet article se structure de la manière suivante : 1) il convient d'abord de rappeler l'origine de la mise en place des PPRI et de faire un état des lieux sur la pertinence de la couverture actuelle ; 2) les pressions exercées sur les maires seront ensuite étudiées à travers différents exemples ; 3) puis certaines marges de manœuvre des maires par rapport à la législation, suggérant une tendance à une minimalisation de l'aléa et à la négation du risque, seront abordées ; 4) une discussion sera finalement proposée autour des relations entre gestion du risque, urbanisation et développement local. Il convient ici de préciser que ce texte est le fruit de nombreuses discussions entre des personnes qui travaillent dans des structures (université, SDIS) et dans des domaines (géographie, droit) différents. Il fait suite à une communication proposée à la sixième réunion annuelle GéoRisques (Montpellier, 6 février 2010).

5.1 Cadre contextuel à l'échelle nationale

5.1.1 Un rapide rappel historique : la mise en place des PPRI

De nombreux travaux ont été menés sur le Plan de Prévention du Risque Inondation (Pottier, 1998 ; Chombard-

Godin & Usselman, 2000 ; Gérin *et al.*, 2010). L'histoire de ces plans est ainsi longue, riche et plus complexe qu'il n'y paraît (Ledoux, 2009). Le PPR, institué par la loi du 2 février 1995, est venu modifier la précédente loi du 22 juillet 1987 et le décret du 5 octobre 1995 en précise les conditions d'application. Ces plans de prévention font suite à de sévères inondations sur le territoire métropolitain : crue des Cadereaux à Nîmes en 1988, crues de La Loire en 1991, crue de l'Ouvèze à Vaison-la Romaine en 1992... Les PPRI ont des pouvoirs supérieurs aux anciens PER (Plans d'Exposition aux Risques) qui avaient été créés en 1983, permettant notamment une expropriation des personnes menacées et des sanctions en cas de non-respect des règlements (ce qui n'a jamais été vraiment appliqué...). Ils doivent réglementer l'urbanisation dans les « zones à risque » en imposant des règles sur les constructions existantes, comme une impossibilité d'habiter au rez-de-chaussée dans les zones où l'aléa est élevé (ayant une récurrence probable inférieure à 10 ans). Des textes législatifs supplémentaires instaurés les années suivantes complètent également ce dispositif, comme la loi du 30 juillet 2003 (suivie du décret du 4 janvier 2005) ou la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 (suivie par le décret du 30 septembre 2005) qui impose une phase de concertation plus forte avec les acteurs locaux et une enquête publique auprès des populations avant approbation.

Les PPR sont aujourd'hui codifiés dans les articles L. 562-1 à L. 562-9 du Code de l'Environnement. Le PPR portant plus spécifiquement sur les inondations (PPRI) a deux objectifs : prévenir et sécuriser les biens et les personnes face à une inondation majeure et d'occurrence centennale ; intégrer ces préconisations dans une politique de développement durable des territoires (Pottier, 1998 ; Drobenko, 2003 ; Pigeon, 2005 ; Ledoux, 2006, 2009). À travers cette mesure imposée par l'État, le maire doit mener plusieurs actions : connaître les phénomènes et leurs incidences ; assurer lorsque cela est possible une surveillance des phénomènes naturels ; informer ses administrés sur les risques encourus et sur les moyens de se protéger ; prendre en compte ces risques dans les actes d'urbanismes et l'aménagement ; adapter les installations actuelles ou futures et les protéger face à des événements futurs ; tirer les leçons des événements passés. Le PPRI vaut désormais servitude d'utilité publique et les cartographies sont annexées aux documents d'urbanisme tels que les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) et les Schémas de Cohérence Territoriale (SCOT). Les communes approuvent ou non le règlement des PPRI, auquel cas ils sont révisés par les services instructeurs ; en revanche, la délimitation de l'aléa dans les PPRI (basée notamment sur les Atlas des Zones Inondables) n'est théoriquement pas négociable (Defossez, 2009).

5.1.2 Pertinence de la couverture PPRI : un bilan mitigé !

D'après le dernier rapport de la Mission Risques Naturels (MRN, 2009), le bilan paraît plutôt satisfaisant : le nombre de PPRI approuvés s'élève à 7 093 (avec 2 414 au format numérique) et il y aurait 10 700 plans si on y intègre les plans en cours d'approbation. L'objectif des « 5 000 PPRI en 2005 » a finalement été largement dépassé. Ces chiffres traduisent le succès de telles mesures, mises en place depuis 1995, puis largement instaurées suite aux graves inondations de 1999 dans la basse vallée de l'Aude. La poli-

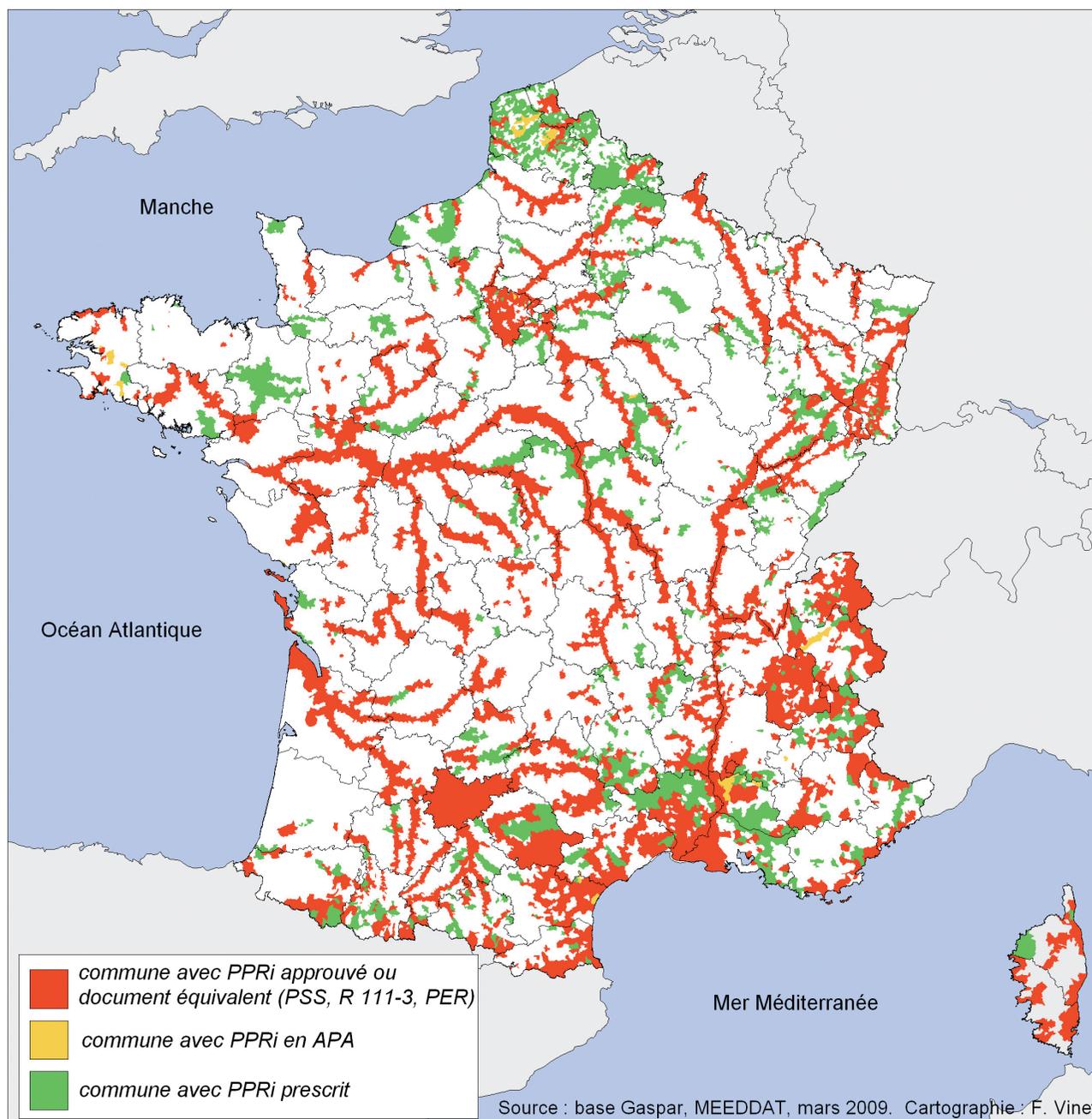


Fig. 1. — État d'avancement de la couverture PPRi à l'échelle de la France métropolitaine (d'après la base GASPARD du MEEDDM ; Auteur : F. VINET, 2010).

tique PPRi a réellement connu son essor à partir des années 2000, non seulement grâce à une croissance régulière et forte des PPRi prescrits et approuvés mais aussi grâce à un profond changement dans les pratiques des services instructeurs (Ledoux, 2009 ; MRN, 2009 ; Gérin *et al.*, 2010). Cependant, plusieurs communes exposées au risque inondation ne sont toujours pas dotées d'un PPRi (figure 1). Les chiffres sont variables suivant les données utilisées. Si on retient les déclarations des préfetures et les Dossiers Départementaux sur les Risques Majeurs (les DDRM), 16 134 communes seraient exposées aux inondations (cela ferait 5 334 communes sans PPRi). Ces valeurs sont toutefois sujettes à caution : elles dépendent du regard plus ou moins vigilant de chaque préfeture. Si l'on considère,

à l'aide d'une méthode statistique (Gérin & Hajji, 2008), les communes situées près d'un cours d'eau (à partir de la base de données IGN © BD Carthage), exposées (où les enjeux sont importants) et dotées d'une couverture AZI (Atlas des zones inondables), 20 % d'entre elles (1 900 sur 9 500 communes) n'ont pas de PPRi. Ne sont considérées ici que les PPRi dont la procédure est légale ou régulière (moins de 4 ans entre la prescription et l'application). Si l'on retient les communes exposées dans la même situation mais non couverte par un AZI, ce sont 50 % des communes (soit 8 361 sur 16 800) qui, cette fois-ci, n'ont pas de procédure PPRi. Ces derniers chiffres sont sans doute les moins subjectifs sur l'état de la situation actuelle. Cependant, la couverture reste partielle (figure 1) et ce constat a d'ailleurs

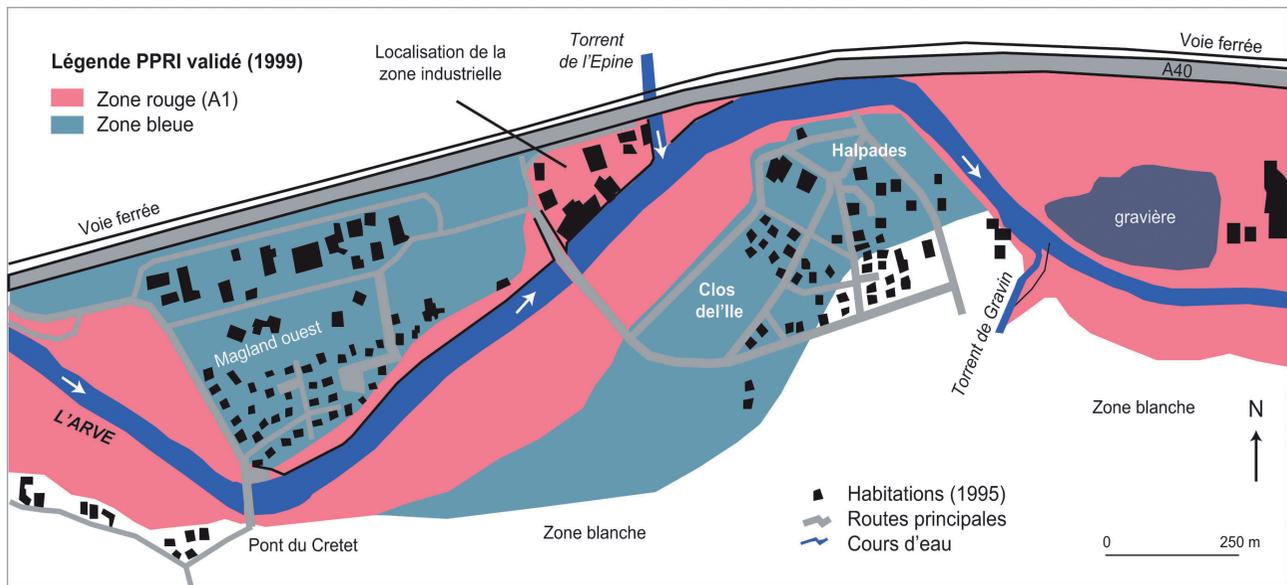


Fig. 2. — Cartographie du PPRI (à l'état de prescription) sur la commune de Magland (d'après les données issues de Gout, 1993 et du CERPE, 1997).

été rappelé par des sénateurs suite à la tempête *Xynthia* (Anziani, 2010). La mise en œuvre d'un PPRI nécessite en réalité des moyens humains et techniques importants, de l'énergie, du temps et des crédits d'étude. De leur côté, les services de l'État ne peuvent traiter de front l'ensemble des zones qui sont soumises à un risque d'inondation. Cette situation est préoccupante, d'autant plus que les PPRI existent sur les grandes communes et les agglomérations (de plus de 10 000 habitants), mais pas sur les petites communes qui doivent gérer ce risque sans un cadre qui leur est clair. Ces petites communes ne peuvent faire appel à des bureaux d'étude compte tenu de leurs ressources financières limitées alors que les grandes agglomérations le font dans leur majorité, ce qui explique en partie la répartition géographique des PPRI (figure 1).

5.2 La réalité aux échelles locales : le maire face à d'importantes pressions

Une des raisons de la difficile approbation des PPRI est également liée à la pluralité des pressions exercées sur le maire. Celui-ci doit souvent statuer entre les intérêts des particuliers, des promoteurs, des industriels tout en tenant compte de priorités définies pour sa commune comme construire de nouveaux quartiers dans une logique de développement durable. Divers exemples seront commentés ici pour montrer la prise de position du maire qui a privilégié l'un ou l'autre des intérêts. Comme le rappelait déjà J. Barel en 1981, « c'est au niveau local que les « arrangements » les plus forts sont observés car ils échappent à la mise en ordre prescrite par le discours du code ».

5.2.1 Le poids des industriels : l'exemple de la commune de Magland (Savoie)

L'exemple qui suit (évoqué par Gout, 1993 ; Pigeon, 2003 ; Decrop *et al.*, 2007) fait figure de cas d'école pour montrer à quel point les intérêts économiques et industriels

peuvent conduire à des situations contradictoires. En 1984, la commune de Magland cherche des terrains pour faciliter le développement des industries de décolletage qui sont déjà fortement implantées dans cette région de haute montagne. Ces espaces devant être plats et accessibles, la commune autorise l'installation d'une nouvelle zone d'activités dans le lit majeur du cours d'eau, l'Arve, malgré l'existence du règlement R111-3 et en dépit du souvenir des inondations de septembre 1968 qui avait entraîné l'inondation de l'église et de plusieurs rues. En 1989, une crue importante inonde la totalité de ces terrains et une carte de l'aléa est commanditée (publiée en 1991). Le document confirme que ces secteurs sont fortement sensibles à un aléa très marqué, à forte probabilité d'occurrence. Il mentionne aussi qu'un lotissement très récemment construit (1991), le Clos-de-l'Île, associé à un bâtiment d'habitat collectif, dit Halpades I, a été construit dans une zone à fort risque. La commune a donc totalement négligé les inondations sur son territoire. Documents à l'appui, la Direction départementale de l'Équipement (DDE) et le service départemental de la Restauration des Terrains en Montagne (RTM) empêchent toute forme d'urbanisation tant qu'un PPRI n'affiche pas clairement les risques. Lors de l'approbation du PPRI (1997), ces zones apparaissent en « bleu » (aléa moyen) alors que le reste du lit majeur de l'Arve est en « rouge ». En fait, le conseil municipal a rejeté le règlement prescrit en 1992 (Pigeon, 2006) car il le trouvait trop restrictif. La zone initialement rouge a alors été rétrogradée en bleu et la municipalité a construit une digue entre les phases de prescription et d'approbation. Depuis, l'urbanisation s'est poursuivie avec la construction du lotissement Halpades II en 2002 (figure 2).

En dépit des restrictions imposées dans le PPRI, les industriels ont pu rester sur place sans envisager la moindre adaptation de leurs infrastructures. Deux éléments peuvent expliquer ce constat : d'un côté, si cette entreprise (en plein développement !) modifiait ses installations, elle risquait de perdre le label de qualité récemment attribué ; d'un autre côté, la carte prescrite a été masquée par les insti-

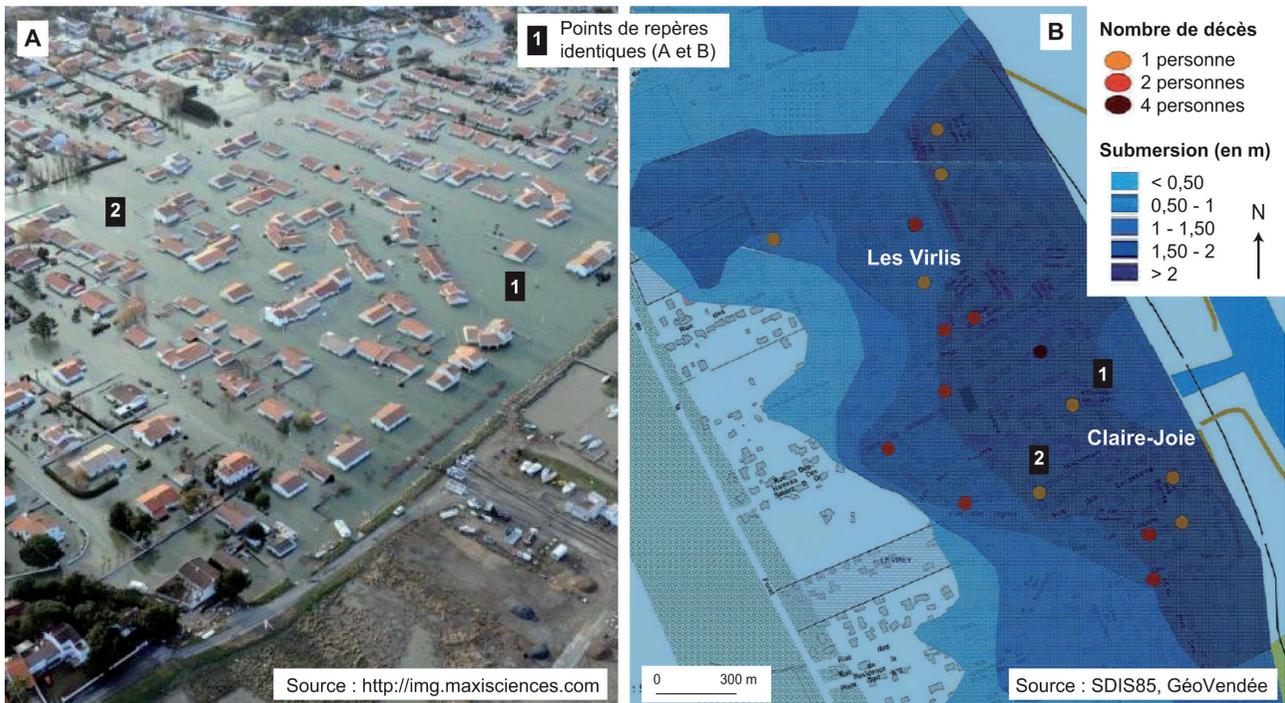


Fig. 3. — Inondations dans le quartier des Voiliers (A) et dans le camping de La-Faute-sur-Mer (B) suite au passage de la tempête *Xynthia* le 15 juin 2010.

tutions jusqu'à l'approbation du PPRI pour ne pas alerter sur la dangerosité du site ; la couleur bleue, « alternative », convenait à tout le monde. La municipalité a pris le parti du développement territorial et elle a relégué le risque au second plan. Sans cela, elle aurait dû imposer toutes les mesures nécessaires pour être en conformité avec le PPRI dans les cinq années qui suivent la date d'approbation (en 2002). Finalement, que penser de ce non-respect à la réglementation quand on sait que la moitié du conseil municipal était composée, à l'époque, par les industriels de l'entreprise concernée au premier plan ? Évidemment, les conflits d'intérêts influencent les prises de décision et la pression des industriels peut aussi être exercée par les promoteurs ou particuliers.

5.2.2 Le poids des promoteurs : la catastrophe de La-Faute-sur-Mer (Vendée)

Les inondations du 28 février 2010 qui ont touché l'estuaire du Lay (Vendée) ont eu des conséquences matérielles (figure 3) et humaines (53 morts) jamais égalées. Elles sont liées à la conjonction entre une submersion marine, une tempête (*Xynthia*) et des ruptures d'un réseau de digues vieillissant (selon les premiers éléments du rapport d'enquête publié en mai). Ce lourd bilan résulte aussi d'une pression foncière, instituée par les promoteurs immobiliers, face à laquelle les élus n'ont pas fait grand chose. Si les élus se défendent de « ne pas avoir construit à outrance », des autorisations de constructions ont tout de même été accordées dans des quartiers qui pourtant étaient jugés à « fort risque » par différentes instances administratives (DDE, préfecture) : à l'échelle de la Vendée, ce sont 3 000 maisons qui ont été édifiées derrière les digues depuis les années 1980 ; sur la commune de La-Faute-sur-Mer, près de 100 maisons ont été construites, depuis 2000, dans les quartiers des Dories (84 habitations) et des Voi-

liers. Le PPRI approuvé en juin 2007 (instituant une zone inconstructible de 50 m. à partir de la digue) ou l'arrêté préfectoral du 12 juillet 2007 (imposant des restrictions urbanistiques) ont été approuvés bien trop tard. En fait, l'exemple de La-Faute-sur-Mer est bien plus polémique pour une autre raison. Toujours selon les premiers résultats de l'enquête réalisée en mai 2010, une des élus en charge de l'urbanisme avait de forts intérêts personnels à la promotion immobilière (repris par *Le Parisien* dans son édition du 31 mars 2010). En effet, celle-ci faisait partie d'une association qui a contribué en partie à la construction du lotissement des Voiliers. Cette personne pouvait donc appuyer les permis de construire en jouant à la fois le rôle de juge et partie.

5.2.3 Le poids des revendications par le « bas »

Les populations implantées dans des zones jugées à fort risque utilisent souvent les médias pour donner du poids à leur revendication. Les manifestations des populations qui font suite à la publication de la carte des « zones noires » en Vendée ne sont pas surprenantes : elles sont compréhensibles tant le sujet est éminemment sensible. Les personnes qui ont eu un permis de construire accordé en pleine zone inondable se retrouvent démunies et totalement désespérées. L'attachement affectif à sa maison prend souvent le pas sur des indemnités qui atteignent pourtant, dans le cas de La-Faute-sur-Mer, des sommes « considérables » (250 000 €, quelle que soit la valeur vénale des habitations). Pourtant, la situation aurait pu être moins dramatique mais la pression de la population a joué un rôle sans précédent : les négociations avec les élus sur la mise en place d'un PPRI s'éternisent depuis 2001 ; en 2006, quand le Préfet de la Vendée veut interdire le camping en bord de mer, la population descend dans la rue, en 2007, en imposant de force des mesures de restrictions, l'État n'a

eu aucun effet aux échelles locales ; en 2008, la mairie va devant le Tribunal administratif et obtient la réouverture du camping... Par contre, en retour, les populations accusent les élus pour leur incompétence. Pour mémoire, dans l'étude menée suite aux crues de 1999 dans l'Aude, « la mise en cause du maire a été formulée majoritairement par les habitants récemment installés au village et résidant dans quartiers neufs des Garrigots et des Olivettes. Elle s'est exprimée avec passion et s'appuie sur des arguments juridiques et politiques correspondant aux registres d'actions des périurbains » (Langumier, 2009).

5.2.4 Éléments de synthèse : des pressions divergentes et contradictoires

Il n'est pas nécessaire de poursuivre, de façon détaillée, la description d'autres retours d'expérience décrits par ailleurs (Pottier, 1998 ; Chombard-Gaudin et Usselman, 2000 ; Dupont, 2005 ; Vinet et Defosse, 2006). Les exemples présentés ici illustrent bien le cœur du problème : les maires ont du mal à (faire) accepter les restrictions ; ils doivent faire face à de nombreuses pressions, aussi diversifiées que divergentes, et font souvent en sorte de présenter des situations bien moins catastrophiques que dans la réalité (Beucher et Rode, 2009). Ce processus d'adaptation se fait souvent à « bas-bruit » et discrètement. Les crues de l'Aude de 1999 apparaissaient, pour J. Langumier (2009), comme une « transgression et de la faillite des règles de constructibilité et d'aménagement au contact de la singularité d'un territoire ». De leur côté, fragilisés par l'incertitude inhérente à toute démarche prédictive du risque, les personnels de l'administration ont très souvent revu leurs objectifs à la baisse à cause des pressions locales. À l'inverse, pour défendre le développement de leurs communes, les maires négocient avec les préfetures des aménagements aux Plans de Prévention du Risque Inondation, souhaitant notamment une modification des règlements, ce que cette étude propose ensuite d'étudier.

5.3 Des libertés prises par rapport au cadre réglementaire

Des ajustements sont aussi observés au niveau local et ce sont, à ce titre, de très bons révélateurs des marges de manœuvre voulues par les maires. En effet, alors que les politiques publiques de gestion des inondations sont édictées au niveau national voire supranational, des libertés apparaissent et la multiplication des zonages souligne, en particulier, une négociation de l'aléa. Il est important de rappeler néanmoins que si le rôle d'intermédiaire des élus aboutit à des situations sortant du cadre réglementaire, il n'en demeure pas moins que l'État reste celui qui valide ces zonages. La remontée de la pression locale amène alors à une certaine vision adaptée du cadre réglementaire afin d'obtenir un consensus permettant la validation du PPRI. Il semble que la période d'application des PPRI (de la prescription à l'approbation) soit l'occasion rêvée pour les acteurs locaux de négocier les différents zonages : même si une commune se situe en zone inondable, les élus vont opposer à la menace d'un danger le dynamisme et l'attractivité de tel ou tel secteur. Alors que la durée légale de cette

application est de 4 ans, près de 23 % des PPRI prescrits à l'échelle nationale sont « hors-délai » (Gérint *et al.*, 2010). Pour exemple, le PPRI de l'Ayguës (Vaucluse) prescrit en 2001 vient d'être soumis à enquête publique (2011) pour une possible approbation dans l'année.

5.3.1 Les « zones violettes » : une adaptation arrêtée par certains préfets

Certaines régions adoptent une position souple. Devant la multiplicité des acteurs, le Préfet de l'Isère a par exemple décidé de créer, en 1998, un pôle de compétence pour coordonner toutes les actions des services déconcentrés de l'État dans la prise en compte des risques naturels : la Mission Inter-service des Risques Naturels (MIRNat), élargie aux risques technologiques (MIRNaT) en 2009. Ce pôle, doté d'une charte, définit ses priorités dans les actions et les études à mener ; il facilite les consultations avec les collectivités avant le lancement de l'enquête publique (ce qui a toutefois, pour effet secondaire, de rallonger la durée de la procédure). Pour permettre ce dialogue, une nouvelle zone, « violette », a été créée dans les PPRI. Lorsque les zones d'aléa moyen correspondent à une zone constructible du PLU de la commune considérée, elles deviennent des « zones violettes » (avec un indice B). Pour éviter tout principe de constructibilité inconditionnelle, qui n'est pas autorisée dans les PPRI, il existe en fait deux types de zones : a) une « zone éventuellement admise », inconstructible en l'état, qui peut devenir constructible (après études et travaux) mais sous la réserve que les études n'infirmant pas cette possibilité. Cette zone est désignée comme « violet dur » ; l'ouverture à la constructibilité nécessite la révision du PPRI ; b) une « zone admise », où le principe et les dimensions des travaux, sous la maîtrise d'ouvrage collective, sont connus et donc portés en annexe dans le PPRI. Cette zone est appelée « violet mou ». L'ouverture à l'urbanisation est conditionnée à la réalisation effective de ces travaux et à la vérification de leur conformité par le service commanditaire. Ces deux nouvelles zones sont aujourd'hui fréquentes sur bon nombre de PPRI (figure 4). Il semble que ce soit le prix à payer pour assurer la poursuite des travaux et pour éviter que les dossiers restent inachevés. Le Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durable (MEDDAD) a cependant mis en garde plusieurs DDE (Vendée, Gard, Isère...) sur une telle pratique, leur demandant de supprimer cette notion qui est juridiquement attaquable. Il n'empêche que ces « zones violettes » sont aujourd'hui ancrées dans les mentalités des maires dans plusieurs régions (cf. www.mementodumaire.fr).

Une évolution « à la française » (postérieure à une catastrophe) est toutefois amorcée. En effet, les derniers événements dramatiques ont pointé du doigt la responsabilité de l'État, en la personne du préfet, avec les conséquences administratives, judiciaires et financières qui en découlent. Dès lors, il a été décidé de cesser de classer des zones en « violet » (en dehors des dossiers très avancés) et pour l'existant, toutes les zones violettes « molles » basculent en zones violettes « dures » en attendant la révision des PPRI. À court terme, il sera intéressant de voir la réaction des maires, et en particulier lorsque les effets médiatiques de *Xynthia* et des récents événements dans le Var auront quelque peu disparus.

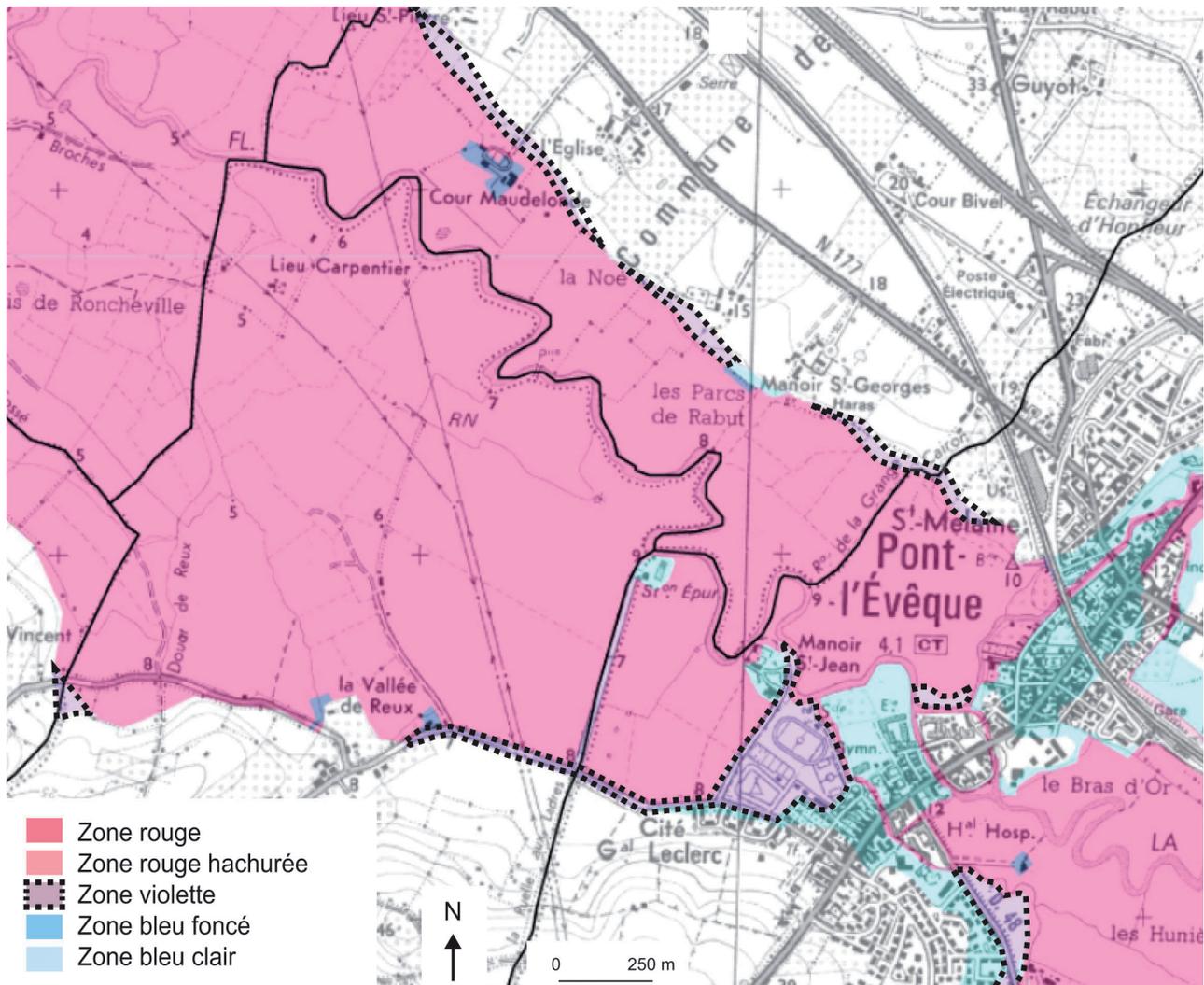


Fig. 4. — Présence d'un zonage « violet » sur le PPRI de la commune de Pont-l'Évêque (Calvados) situé dans la basse vallée de la Touques (modifiée d'après le PPRI consultable sur le site www.calvados.equipement-agriculture.gouv.fr).

5.3.2 La course à la multiplication des zonages : une négociation de l'aléa

Les guides méthodologiques (Garry & Graszka, 1999) délimitent des zones à risque selon l'intensité de l'aléa et la nature de l'occupation des sols. Deux zones doivent être classiquement délimitées : une zone rouge, où l'aléa est fort et où sont préconisées des interdictions de constructions, et une zone bleue, d'aléa modéré à faible et pour laquelle les constructions sont autorisées avec ou sans préconisations. Mais certains élus locaux, jugeant ce règlement « trop strict », prennent des libertés et renégocient les zonages en subdivisant certaines zones en plusieurs catégories ou en créant des zones annexes. Ce nouveau découpage se base sur l'intensité de l'aléa, les enjeux traduits par le mode d'occupation des sols et des données « hydrauliques » (figure 5).

L'occupation des sols est subdivisée entre champs d'expansion des crues et zones urbanisées, elles-mêmes découpées entre centre urbain, zone urbaine dense et autre zone urbanisée. Le zonage rouge, concernant toutes les catégories d'occupation des sols pour un aléa très fort, proscrie toute

construction future. Le zonage devient plus complexe pour les zones densément urbanisées qui n'ont pas à respecter les mêmes règles. Les contraintes de constructions ne laissent l'autorisation de constructions que dans les « dents creuses », même si pour la zone d'aléa faible ou modéré, il peut s'agir d'opération de lotissement. Pour le centre urbain, un zonage vert a même été créé pour autoriser les constructions dans les zones d'aléa faible à modéré ou fort, avec la prescription d'édifier le plancher au-dessus des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC).

Cette question de la négociation de la réglementation pose problème : la densification des « dents creuses » est-il un moyen pour contourner la réglementation ? Concernant les prescriptions, celles-ci sont normalement obligatoires mais *quid* de la vérification de ces travaux d'adaptation. Là encore, n'est-il pas possible de contourner la règle sous couvert de prescriptions qui sont recommandées ou obligatoires mais non vérifiables ? L'exemple de la commune de Coursan peut servir d'exemple pour tenter de répondre à ces deux questions. Les années 2000 y ont été marquées par la réhabilitation et par la création de logements dans

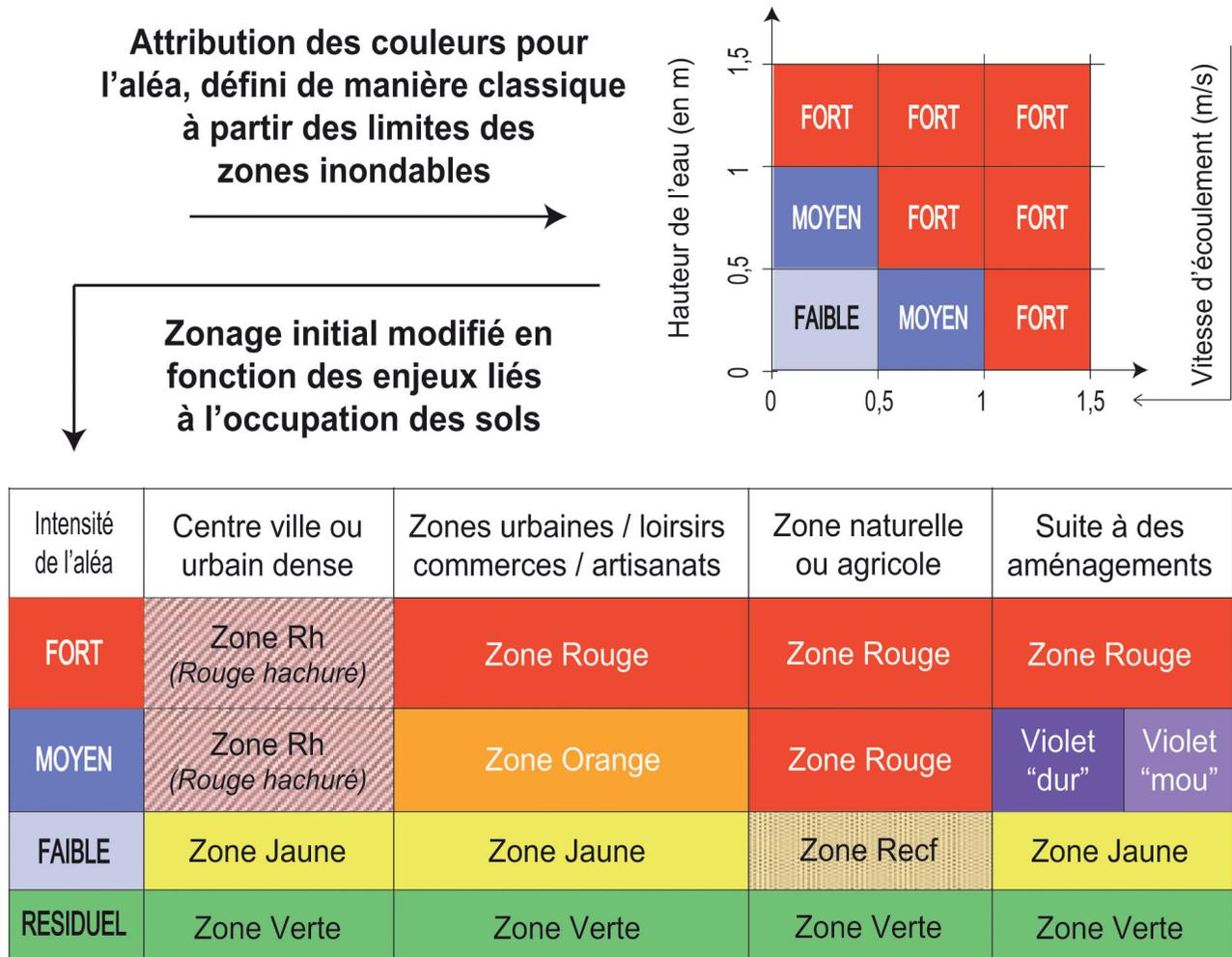


Fig. 5. — Redécoupage du zonage réglementaire avec plusieurs couleurs (tableau de synthèse réalisé à partir de plusieurs PPRI validés à l'échelle nationale).

les anciennes maisons situées dans les « dents creuses » du centre historique (figure 6). Même soumise à une procédure PPRI (appliquée par anticipation puis approuvée en 2008), la commune a ainsi poursuivi sa croissance. Cet exemple pose aussi la question de la réelle motivation des gens à se protéger.

La plupart des nouvelles implantations, prenant le pas sur les nouvelles constructions, se situent là où les zonages sont soumis à des prescriptions, comme la construction du plancher au-dessus des PHEC. Cependant, de nouvelles implantations sont apparues en zones inconstructibles : celles-ci ne dépendent pas directement du PPRI (Defossez, 2009). Cette stratégie d'utilisation de l'espace disponible révèle une volonté affichée de continuer le développement de la commune, indépendamment du PPRI. Cette mesure technocratique empêche finalement l'extension spatiale de cette commune mais elle ne limite pas l'investissement dans les « dents creuses » ni sa densification.

5.3.3 La négation des prescriptions : une dérive liée à une absence de contrôle

R. Anziani (2010) rappelle que seulement 0,024 % des habitations sont soumises à un contrôle de légalité. En supposant que les vérifications soient effectivement possibles, se pose

la question des conséquences en cas de non respect des prescriptions. La loi Barnier prévoit une telle disposition mais comment peut-on établir une amende ? Et sur quels critères ? Les maires doivent appliquer le règlement mais ne disposent d'aucun moyen de pression pour le faire et, surtout, le veulent-ils vraiment ? De leur côté, les populations arrivent assez aisément à détourner les prescriptions. La preuve en a été donnée à plusieurs reprises, notamment par des interlocuteurs audois, conscients de ce genre de dérives mais totalement impuissants (Defossez, 2009). À Sallèles-d'Aude, les prescriptions en « zone rouge » — n'occuper que l'étage — furent respectées dans un premier temps (figure 6), mais après quelques années, les rez-de-chaussée furent réinvestis. Conjointement à cette négation du risque, coexistent des comportements qui sont plutôt liés à un défaut de perception. À Draguignan, des néo-urbains vivent dans des maisons de « plain-pied » qui ont été construites dans des zones à risque bien avant l'arrivée des PPRI. Lors des inondations de la Nartuby du 15 juin 2010, les eaux ont atteint les toits des maisons (plus de 2,5 m) et les premiers retours-terrain montrent qu'aucune restriction n'a été respectée. Ce constat confirme surtout qu'aucun contrôle n'est effectué dans la réalité suite à la mise en place des PPRI.

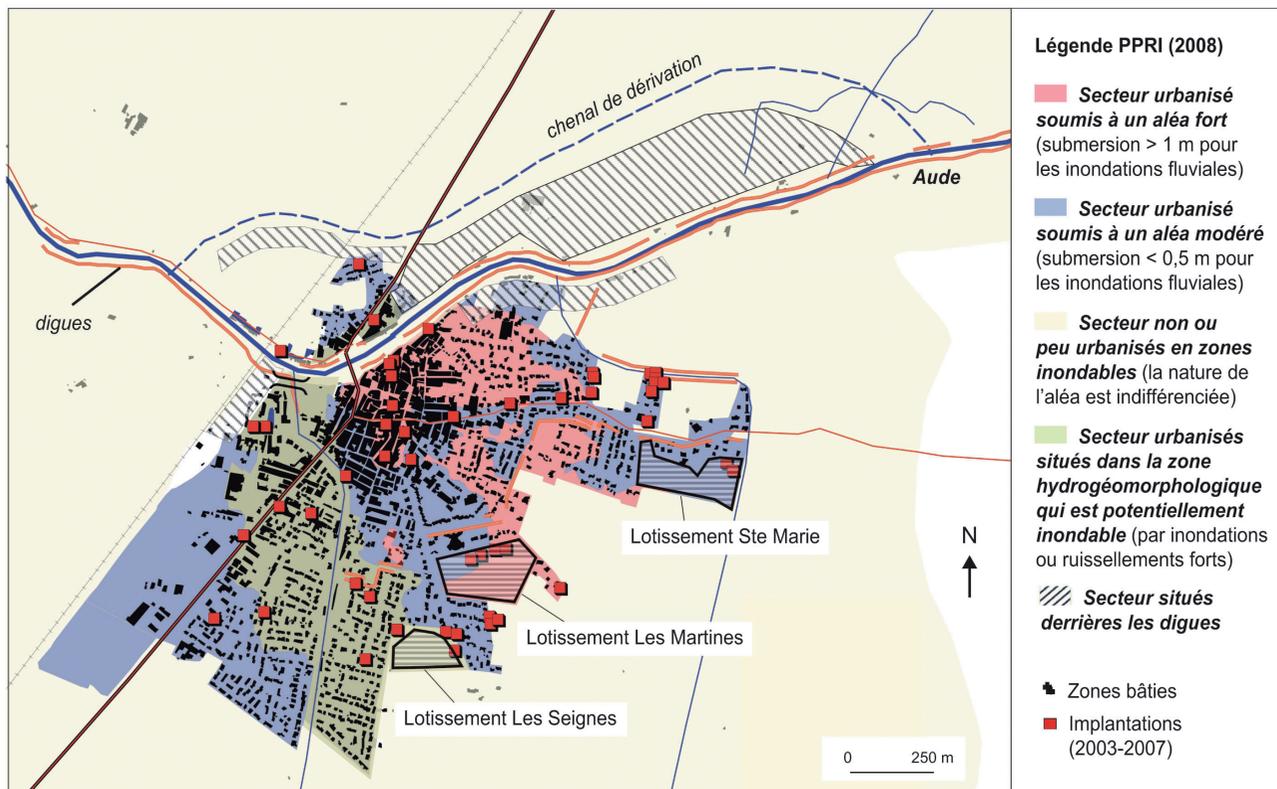


Fig. 6. — Localisation des nouvelles implantations pendant l'application du PPRI sur la commune de Coursan (modifié d'après DEFOSEZ, 2009 et réalisé à partir des données du Registre des permis de construire de Coursan, DDE-11).

Conclusion

Il convient tout d'abord de rappeler les principaux points soulignés dans cet article. Les maires se trouvent dans une position délicate pour appliquer les Plans de Prévention du Risque Inondation, subissant la pression par le « haut » (instances institutionnelles), en ayant l'obligation de respecter les réglementations, mais également par le « bas » (populations), avec un électorat qui souhaite s'installer et enrichir économiquement le territoire. Ces élus gèrent la prévention du risque à court terme, à l'échelle d'un ou deux mandats, alors que cette politique doit s'intégrer dans une dimension temporelle plus longue, sur plusieurs décennies par exemple. Les maires sont aussi confrontés à la pression de leurs administrés, principalement lors des enquêtes publiques puisque les populations ont à donner leur avis sur la réglementation (ce qui est un point positif depuis la loi de 2004). Des retours d'expérience, parfois non connus par les instances administratives, permettent parfois d'améliorer la cartographie des PPRI (Andres et Strapazon, 2007). À l'inverse, les maires peuvent s'appuyer sur les contestations des populations pour négocier avec l'échelon supérieur. Des ajustements peuvent ainsi être observés entre le PPR proposé par la Préfecture et le PPR validé suite à l'enquête publique, et la démultiplication des zonages illustre cette négociation de l'aléa.

Plus globalement, on peut aussi évoquer l'application difficile, aux échelles locales, de mesures dictées au niveau étatique. L'État, principal acteur de la gestion des risques, se contente en fait d'édicter des réglementations au niveau national ou d'expertiser des projets développés au niveau

local. Or, il n'existe aucun accompagnement financier ou technique sur le territoire, ni même une prise en compte des spécificités locales (est-ce alors utile de définir une plaquette type pour l'ensemble des communes françaises ?). Même s'ils sont censés appliquer ces politiques publiques, les maires ne peuvent pas seulement considérer la « théorie » car ils ont d'autres prérogatives, notamment celle du développement local. L'État prend par ailleurs des décisions dans l'urgence et au coup-par-coup. Que doit-on penser par exemple des « zones noires » délimitées sur la Vendée ? F. Verger (2010) démontre que la géomorphologie du cordon littoral n'a pas été prise en compte : des maisons construites sur des crochets dunaires se retrouvent incluses dans ces zones alors qu'elles n'ont pas été touchées par *Xynthia*...

Tous ces éléments doivent amener à un débat sur l'urbanisation : dans ou en dehors des zones inondables ? Au lieu de faire confiance aux digues et de maintenir une sorte d'illusion sécuritaire et probabiliste dans les zones à risques, il faudrait surtout arriver à habiter « hors de l'eau » (comme dans un passé lointain d'ailleurs), à condition que les promoteurs jouent aussi le jeu de leur côté. Cette idée est malheureusement illusoire car le pouvoir économique contrôle la prise en compte du risque aux échelles locales. Comme le dit si bien B. Wisner (2009), « *Follow the money, follow the power !* » Dans certains cas, il faudrait avoir le courage d'abandonner des quartiers et d'appliquer des procédures d'expropriation, chose évidemment difficile à concevoir pour les personnes y habitant, mais il faut leur faire comprendre que le risque serait moindre ailleurs.

Les inondations qui ont touché Draguignan, Flayosc, Taradeau et Rebouillon (le 15 juin 2010) ont affecté des

quartiers récemment construits, où les habitants : 1) ont une très faible connaissance du risque ; 2) ont une faible capacité de résilience du fait de leurs faibles revenus ; 3) ont eu très peu accès aux informations et aux alertes pour pouvoir faire face à la crise en temps réel (d'après les premiers résultats obtenus après des enquêtes menées lors du retour d'expérience HYMEX en octobre 2010). Si 80 % des permis de construire ont été délivrés avant les années 1950, il s'agit aujourd'hui de savoir si le risque connu doit être assumé tel quel ou s'il convient de prendre un certain nombre de mesures fermes destinées à en améliorer la gestion. Et dire que ce constat avait déjà été fait l'objet d'un article écrit par C. Chombard-Gaudin et P. Usselman en 2000. Qu'attend-on alors ? À quel moment le coût humain, moral et financier aura-t-il plus d'importance que toute autre perception individuelle ?

Bibliographie

- ANZIANI A., *Xynthia : les leçons d'une catastrophe*, Rapport d'étape, rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête de la tempête *Xynthia*, n° 54, déposé le 10 juin 2010.
- ANDRES L. & STRAPPAZON G., « Gestion des risques naturels et prise en compte du développement durable : un lien équivoque. Le cas du sud grenoblois », *Revue de Géographie Alpine*, 2007, p. 29-39.
- BEUCHER S. & RODE S., « L'aménagement des territoires face aux inondations : regards croisés sur la Loire moyenne et le Val-de-Marne », *Mappemonde*, n° 94, 2009.
- CHOMBARD-GAUDIN C. & USSELMANN, « Inondations dans l'Aude : risques et cadre réglementaire de la prévention », *Mappemonde*, n° 57, 2000, p. 27-31.
- COUR DES COMPTES, *L'État face à la gestion des risques naturels*, rapport interne, 2008, p. 643-685.
- DECROP G., DOURLENS C., VIDAL-NACQUET P. A. & CŒUR D., *Les Scènes locales de risque*, centre d'étude et de recherche sur les pratiques de l'espace (CERPE), rapport final, Lyon, 2007, 235 p.
- DEFOSSEZ S., *Évaluation des enjeux et des vulnérabilités face aux inondations. Développement de stratégies intégrées de réduction des dommages liés au risque inondation*, thèse de doctorat de l'université Montpellier 3, 2009.
- DENOLLE A.-S. & DOUVINET J., « Les marges de manœuvre des maires face à l'application des Plans de Prévention du Risque Inondation (PPRI) », *RISEO, Risques, Espaces et Sociétés*, n° 1, 2010, p. 38-51.
- DROBENKO B., « Inondations : aux risques de la complexité », *Revue juridique de l'environnement*, 1^{er} mars 2003, p. 629-635.
- DUBOIS-MAURY J., « Les risques naturels en France, entre réglementation spatiale et solidarité de l'indemnisation », *Annales de géographie*, n° 627-628, 2002, p. 637-651.
- DUPONT N., « Le rôle des documents cartographiques dans l'appropriation du risque inondation. Exemple des communes périphériques de Rennes », in LAMARRE D. (éd.), *Les risques climatiques*, Belin, Paris, 2005, p. 175-191.
- GARRY G. & GRASZK E., *Plans de Prévention des Risques Naturels : Risques d'inondation*, Guide méthodologique, La Documentation Française, Paris, 1999, 123 p.
- GÉRIN S. & HAJJI C., *Développement d'indicateurs de la vulnérabilité collective aux risques naturels à l'échelle de la commune, en vue d'une méthode d'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des PPRN*, actes du 3^e colloque « Géographes et assureurs face aux risques naturels » sur l'évaluation des politiques publiques de prévention, MAIF, université de Paris Diderot 7, 2008, p. 155-175.
- GÉRIN S., LGANIER R. & NUSSBAUM R., « Évaluation de la pertinence de la couverture des Plans de prévention des risques naturels inondations (PPRNI) », *Études foncières*, n° 144, mars-avril 2010, p. 16-18 et 47-50.
- GOUT J.-P., *Prévention et gestion des risques majeurs*, Eyrolles, Paris, 1993, coll. « Écosciences et technologies », 300 p.
- LANGUMIER J., « Genèse du risque et mémoires de la catastrophe. Approche ethnographique des inondations dans les Basses Plaines de l'Aude », *Pour mémoire*, Revue du comité d'histoire du ministère de l'Écologie, n° 4, 2009, p. 8-26.
- LEDOUX B., *La gestion du risque inondation*, Lavoisier, Paris, 2006, 770 p.
- LEDOUX B., *État de l'art des recherches sur certaines mesures non-structurelles de gestion du risque inondation (PPR et système Catnat)*, rapport interne, 2009, 25 p.
- MRN [Mission Risques Naturels], *Évaluation de la contribution des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) à la réduction de la vulnérabilité collective et individuelle*, rapport de synthèse, 2009, 29 p.
- PIGEON P., *Géographie critique des risques*, Economica, Paris, 2005, coll. « Géographie », 217 p.
- POTTIER N., *L'utilisation des outils juridiques de prévention du risque d'inondation. Évaluation des effets sur l'homme et l'occupation du sol dans les plaines alluviales (application à la Saône et à la Marne)*, thèse de doctorat de Sciences et Techniques de l'Environnement de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 1 vol., 1998, 436 p.
- TRICOT A. & LABUSSIÈRE O., « Cultures du risque : de la doctrine officielle aux expériences plurielles des cours d'eau », *Géocarrefour*, n° 81, 2008, 12 p.
- VATNA L., « La responsabilité des communes du fait des mesures de police visant la prévention des catastrophes naturelles », *AJDA*, 2009, p. 618-633.
- VERGER F., « À propos des inondations récentes de la région de l'Aiguillon-sur-Mer, en Vendée », *Écho-Géo*, 2010, À lire, 3 p.
- VINET F., *Le risque inondation. Diagnostic et gestion*. Lavoisier, Paris, 2010, coll. « Sciences du danger », 328 p.
- VINET F. & DEFOSSEZ S., « La représentation du risque d'inondation et de sa prévention », in LAGANIER R. (éd.), *Territoires, inondation et figures du risque. La prévention au prisme de l'évaluation*, L'Harmattan, Paris, 2006, p. 99-137.

6 Résorber les distorsions entre gestionnaires de crises et populations pour réduire la vulnérabilité ? Le cas du volcan Kelut, 2007 (Java-Est, Indonésie)

Édouard DE BÉLIZAL & Franck LAVIGNE

U.F.R. de Géographie, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
U.M.R. 8591, Laboratoire de Géographie Physique, 1, place
Aristide Briand, 92150 Meudon.
edouard.dbelizal@gmail.com
francklavigne@yahoo.fr

Résumé. — Le regain d'activité du volcan Kelut (Java-Est, Indonésie) en 2007 laissait supposer aux autorités indonésiennes une éruption plinienne de forte intensité, à l'image de celles survenues en 1990, 1966, 1919 ou en 1586 et qui ont fait en tout plus de 15000 morts. Suivant une structure hiérarchique et stratégique, l'état d'alerte maximal a rapidement été décidé, et l'ordre d'évacuer les populations menacées a été donné. Mais les gestionnaires de la crise se sont, lors de ces évacuations, heurtés à des résistances, et à des réactions allant à l'encontre des directives officielles. La gestion de la crise apparaît éloignée de la manière dont les populations menacées la vivent, ce qui conduit ces dernières à agir dangereusement pour elles-mêmes. Une telle gestion de crise, pourtant théoriquement bien organisée et stratégique, mais *top-down*, semble conduire paradoxalement à augmenter la vulnérabilité des populations par des manques d'information, de communication et de confiance. L'article s'attache à montrer que les défauts de la gestion de crise (mauvaises informations, préparation insuffisante, manque de confiance) est à l'origine de malentendus qui doivent être amendés par une collaboration plus aboutie entre autorités scientifiques et politiques, et les populations locales.

Mots-clés. — Évacuations, vulnérabilité, gestion de crise, risque volcanique, Kelut, Indonésie.

Title. — *A Gap to Fill Between Crisis Managers and Populations in Order to Reduce Vulnerability : Case Study from the 2007 Eruption of Kelut Volcano (East Java, Indonesia)*

Abstract. — *When Kelut volcano renewed rumblings in August 2007, Indonesian authorities expected a high-intensity Plinian eruption to occur, like those which have happened since the 16th century. Those eruptions have been the cause of more than 15,000 casualties in history. Following a top-down structure, the maximal state of emergency has been quickly decreed by the authorities, and threatened populations began to be evacuated. But crisis managers faced with resistance, and unexpected reactions from the population. The crisis management appeared to be far from the way people used to live the dangers, which thus led them to behave dangerously for themselves. Such a crisis management, yet a theoretically well-organized and strategic one, remained top-down and seemed paradoxically to increase populations' vulnerability by a lack in information*

and in communication. Misunderstandings between people and authorities must be avoided in such emergency times.

Keywords. — *Evacuations, Vulnerability, Crisis Management, Volcanic Risk, Kelut, Indonesia*

Introduction

Stratovolcan actif situé à l'est de l'île de Java en Indonésie, le mont Kelut (figure 1) fut décrit comme ayant « une traîtesse forme de jolies petites collines » (Supangkat, 1988, p. 1), avec ses 1 731 m d'altitude à son point culminant, et une morphologie complexe due à des effondrements massifs qui ont largement démoli le cône initial (Pratomo, 1992). Après le Tambora et le Krakatoa, qui causèrent respectivement la mort de 92 000 personnes (1815) et de 38 000 personnes (1883), le Kelut est le troisième volcan le plus meurtrier d'Indonésie responsable de plus de 15 000 victimes, dont 10 000 en 1586 et plus de 5 500 en 1919 (Pratomo, 1992; Bourdier *et al.*, 1997 a, b ; Thouret *et al.*, 1998). Ses éruptions suivent une récurrence approximative d'une vingtaine à une trentaine d'années, et ont été jusqu'en 1990 caractérisées par des dynamiques subplinienne ou pliniennes. La présence d'un lac à l'intérieur du cratère du volcan (Bercy & Sabroux, 1980), représentant en 2007 un volume de 2,5 millions de mètres-cube, a toujours joué un rôle prépondérant dans le déclenchement des aléas liés aux éruptions, en étant la cause de lahars synéruptifs volumineux et étendus, souvent meurtriers (Pratomo, 1992; Bourdier *et al.*, 1997 a, b ; Thouret *et al.*, 1998).

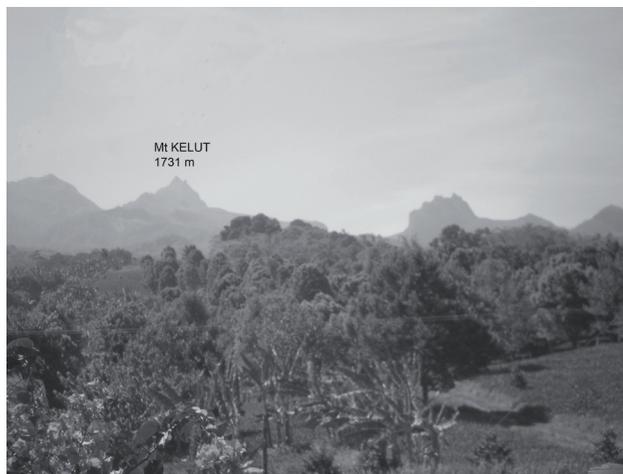


Fig. 1. — Vue du flanc occidental du volcan Kelut (cliché E. DE BÉLIZAL, 2008).

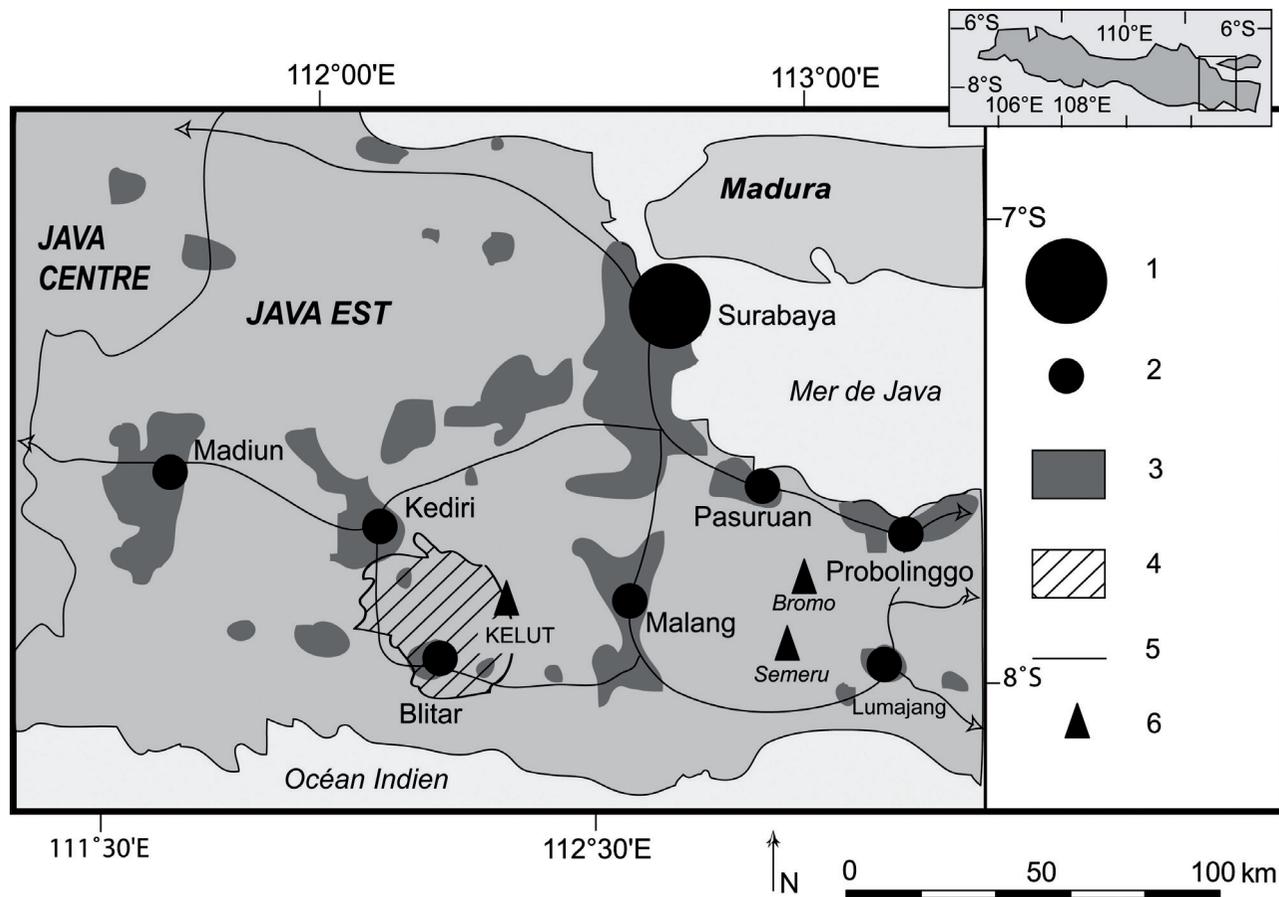


Fig. 2. — Contexte régional du volcan Kelut (De Bélizal *et al.*, 2009).

- 1 : Agglomération de plus de 2 millions d'habitants.
- 2 : Villes de plus de 100 000 habitants.
- 3 : Zones densément peuplées (>900 hab/km²).
- 4 : Espace d'extension maximale des aléas provoqués par le volcan Kelut.
- 5 : Axe routier.
- 6 : Volcan.

Près de 250 000 personnes sont potentiellement menacées par les lahars du Kelut, notamment autour des villes de Kediri et de Blitar (figure 2), qui cumulent près de 200 000 habitants. Blitar a d'ailleurs été partiellement ensevelie sous les lahars de l'éruption de 1919. En outre, les 40 000 personnes situées dans un périmètre proche entre 10 et 15 km autour du cratère sont exposés aux coulées pyroclastiques de grande ampleur, et surtout aux retombées aériennes (pluies de cendres, chutes de ponces et de bombes) qui, en 1990, ont provoqué la mort de 32 personnes par effondrement des toits des maisons.

À la fin du mois d'août 2007 et durant le début du mois de septembre, des variations chimiques et physiques dans l'eau du lac de cratère ont annoncé une reprise d'activité du volcan. Craignant une éruption plinienne, les autorités indonésiennes ont lancé dès le 11 septembre le début de la procédure de surveillance et d'alerte précoce autour du Kelut. Tout y est prévu, depuis la préparation des camps aux véhicules réquisitionnés pour les évacuations, depuis la préparation de stocks d'eau potable jusqu'à l'organisation de centres de soins d'urgence ; des simulations d'évacuation sont même instituées dans certains villages. Pourtant,

lorsque l'alerte maximale et l'ordre d'évacuer ont été donnés, les autorités se sont heurtées à des refus et des attitudes inattendues de la part des populations. Une multitude de facteurs expliquent ces conduites imprévues, mais tous rejoignent la même idée : un manque de communication et de confiance problématique entre gestionnaires de la crise et populations concernées.

La gestion des crises volcaniques s'appuie en effet sur une préparation liée à la surveillance de l'activité géodynamique pour produire un système d'alerte adapté (Newhall, 2000 ; De La Cruz-Reyna, 2000), mais l'organisation structurelle dépend très largement de la manière dont les habitants réagissent ou pourraient réagir (Hodge *et al.*, 1979 ; D'Ercole & Rançon, 1994). De nombreuses études ont cherché à comprendre comment les communautés réagissent à l'aide d'enquêtes de perception (Gregg *et al.*, 2004 ; Carlino, 2008 ; Barberi *et al.*, 2008 ; Lavigne *et al.*, 2008), de vulnérabilité (Gaillard *et al.*, 2001 ; Gaillard, 2008 ; Texier *et al.*, 2008). Les faiblesses de la gestion de crise ou des réponses des populations peuvent être ciblées *a priori*, et permettre de cibler des actions précises (Rolandi, 2010), ou *a posteriori* pour mettre en avant les causes d'une catastrophe (Nevado



Fig. 3. — Le dôme de lave Anak Kelut en mars 2008 : 200 m de hauteur, 400 m de diamètre et près de 35000 m³ (cliché E. DE BÉLIZAL, 2008).

del Ruiz en 1985, voir Voight, 1990 ; Montserrat en 1997 voir Haynes *et al.*, 2008) ou au contraire pour expliquer comment le pire a pu être évité (Pinatubo en 1991, voir Newhall & Punongbayan, 1996).

L'objectif de cette étude est de mettre en relation les aspects essentiels de l'étude de la réduction des risques et des catastrophes à travers l'étude rétrospective de l'éruption du Kelut en 2007, en insistant sur les distorsions existant entre gestionnaires et populations, qui révèlent de profondes lacunes en termes de communication, pourtant essentielle en temps de crise (McGuire *et al.*, 2009).

6.1 Les évènements de 2007, une crise ?

6.1.1 Une éruption extrusive inattendue

Les variations physiques et chimiques de l'eau du lac de cratère, l'augmentation de l'occurrence des séismes volcaniques profonds (jusqu'à plusieurs centaines par jour), les déformations internes, étaient analogues aux prodromes de l'éruption plinienne de 1990 (Pratomo, 1992; Lesage & Surono, 1995). Aussi les autorités lancèrent-elles l'ordre d'évacuer le 16 octobre 2007, lorsque la température du lac, la diminution du pH de l'eau, et le nombre de séismes (supérieurs à 300 par jour et de magnitude plus élevée

qu'auparavant) eurent dépassé les seuils critiques habituels. Cependant, aucune explosion phréatique ne se fit entendre, ni aucun panache plinien ne fut émis. La température de l'eau continua d'augmenter, dépassa finalement les 100°C à la fin du mois d'octobre, puis, au début du mois de novembre, se trouva presque entièrement évaporée : un dôme de lave sortit des profondeurs du volcan, et commença d'être visible dès le 4 novembre. Baptisé « Anak Kelut » (l'enfant du Kelut), son volume augmenta considérablement (figure 3), en même temps que la fréquence des séismes diminuait et que l'ensemble du volcan semblait se stabiliser peu à peu. Au final, l'alerte maximale fut levée le 8 novembre, sans qu'aucune éruption explosive ne fût survenue. Cet épisode de construction de dôme, inattendu et nouveau dans l'histoire récente du volcan Kelut, a rendu complexe la phase de gestion de crise. Les autorités, désorientées par le changement de type éruptif, ne savaient pas vraiment s'il fallait ou non abaisser le niveau d'alerte, craignant notamment que le dôme n'explosât en provoquant des coulées pyroclastiques. Quant aux populations, elles ne comprenaient pas qu'on leur donnât l'ordre d'évacuer alors même qu'aucun panache plinien n'était apparu.

6.1.2 Une gestion complète *top-down*...

Le système de gestion de crise d'origine naturelle en Indonésie suit une construction hiérarchique, dont les buts

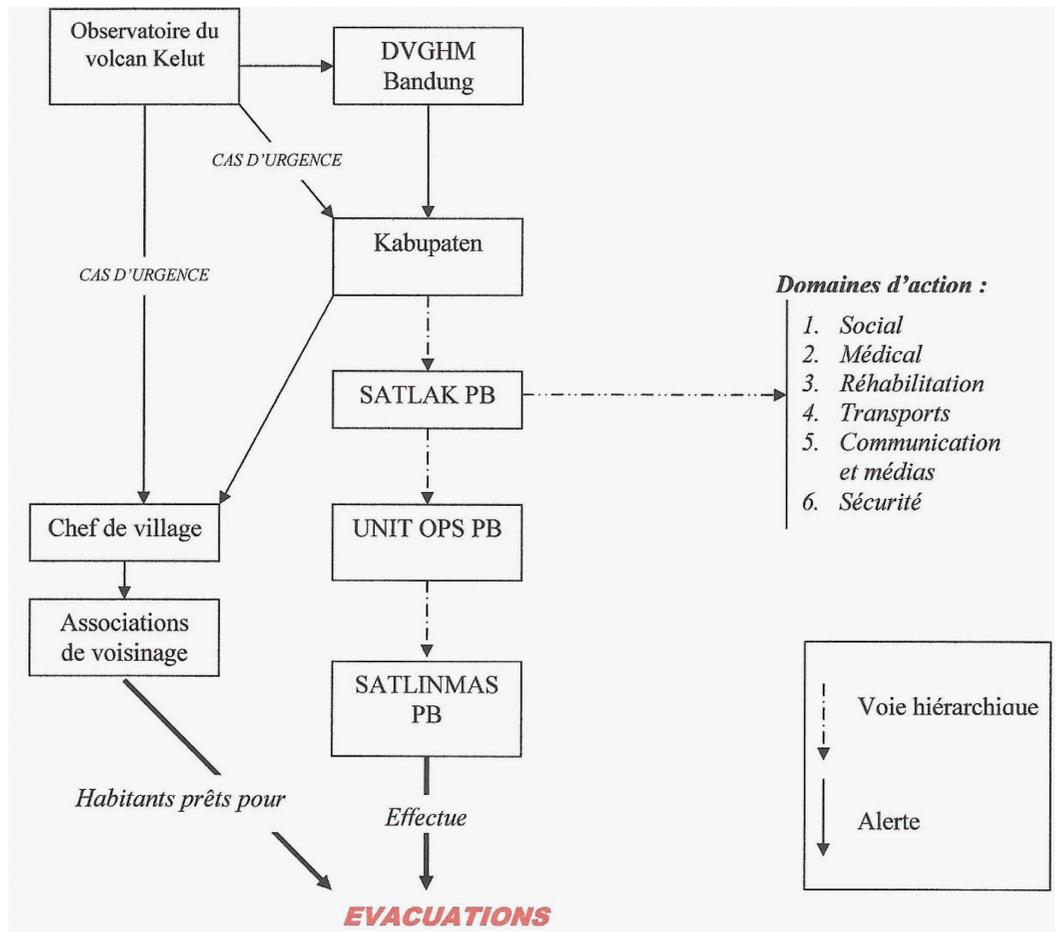


Fig. 4. — Schéma du système de gestion de crise *top-down* indonésien.

stratégiques sont renforcés par une présence d'acteurs aux différentes échelles administratives (figure 4). Il est étroitement lié aux niveaux d'alertes, dont chaque échelon amène un certain nombre de restrictions et de directives à suivre : le premier niveau, « alerte jaune », ferme le périmètre du cratère au public ; le deuxième, « alerte orange », étend le périmètre fermé à une dizaine de kilomètres autour du cratère, et demande aux populations de se tenir prêtes à évacuer. Enfin, le troisième niveau, l'alerte rouge, correspond au début des évacuations. En théorie, ces niveaux d'alerte sont donnés par l'office central de surveillance des volcans, le Directorate of Volcanology and Geological Hazard Mitigation (D.V.G.H.M.) situé à Bandung (Java-Ouest), lorsque les rapports quotidiens émanant des postes de surveillance témoignent d'une reprise d'activité. Cependant, en cas d'éruption brutale, les observatoires des volcans peuvent lancer immédiatement l'ordre d'évacuer, si l'urgence de la situation l'exige. Les régions évacuées suivent un zonage aléa-centré, correspondant à un gradient d'exposition aux phénomènes volcaniques. La zone prioritaire est ainsi la zone la plus proche du cratère.

L'évacuation est donc l'aboutissement d'un processus qui débute dès l'alerte jaune, avec la formation d'un organe régional, le SATLAK, chargé d'encadrer la préparation des camps, des véhicules, et des routes. Il se décline à l'échelle du sous-district (UNIT OPS) et du village (SATLINMAS)

qui sont chargés de mettre en œuvre les directives données par le SATLAK. Le but est de se préparer à l'éruption pour éviter le maximum de contretemps durant la phase d'urgence.

6.1.3 ... mais des réactions imprévues

Le 16 octobre 2007, l'alerte maximale est décrétée, et le processus d'évacuation est lancé pour la zone prioritaire (figure 5). Immédiatement, les véhicules du SATLAK, auparavant préparés dans chaque village, se mobilisent pour amener les habitants au centre d'évacuation qui les concerne. Les responsables du SATLINMAS, aidés par des O.N.G., la police et l'armée demandent aux habitants de quitter leurs maisons... ce qui n'a pas été automatique, étant donné le faible nombre de personnes qui ont effectivement évacué (figure 5). D'après une enquête (fondée sur un échantillon de 103 personnes interrogées, de 14 à 90 ans, concernant 56 femmes et 47 hommes) réalisée dans le village le plus proche du cratère, Sugihwaras, il a été montré que 43 % des personnes n'ont pas évacué, et que 77 % des évacués ne sont pas restés pas dans les camps, effectuant des mouvements quotidiens pour travailler, voire des retours secrets et définitifs au village (De Bélizal *et al.*, sous presse). 73 % des personnes interrogées craignent en effet que leurs biens ne soient pillés en leur absence. Si de tels vols sont très peu répandus et même

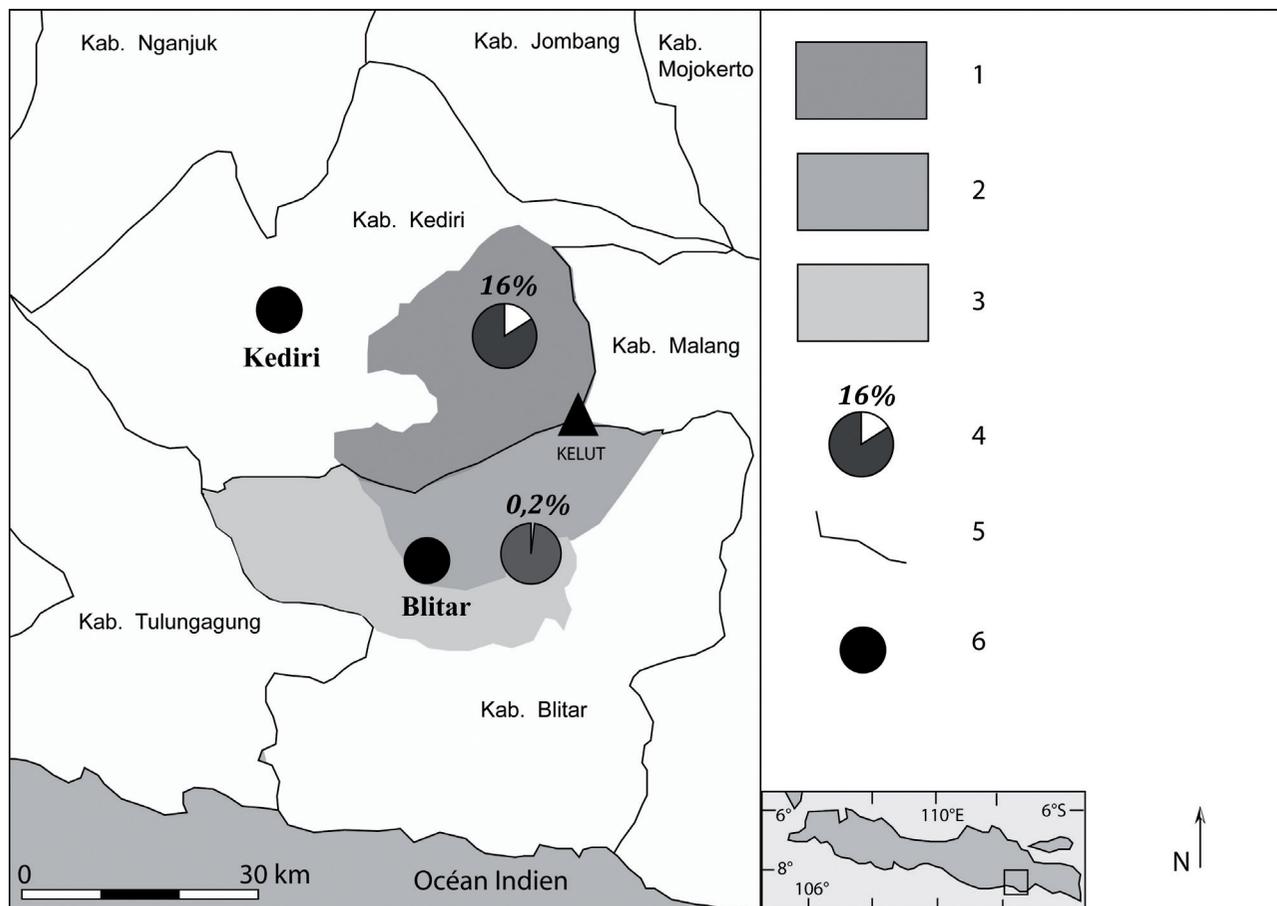


Fig. 5. — Zonage des évacuations et pourcentage des populations évacuées.

- 1 : Zone de risque maximal, évacuations obligatoires et prioritaires.
- 2 : Zone de risque fort, évacuations obligatoires en cas d'éruption de grande intensité.
- 3 : Zone de risque moyen, évacuation non systématique.
- 4 : Pourcentage de personnes qui ont évacué en 2007 pour chaque district (*kabupaten*).
- 5 : Limites des districts (*kabupaten*).
- 6 : Chef-lieu de district.

parfois rejoint le mythe (Quarantelli, 2001), leur faible récurrence suffit malgré tout à effrayer des personnes qui n'ont pas d'épargne, et dont l'essentiel des biens se résume à leur bétail et à leurs possessions matérielles (Wisner & Luce, 1993 ; Texier *et al.*, 2008 ; Lavigne *et al.*, 2008 ; Gaillard, 2008).

Ces réactions ne sont pas dues à un manque de connaissance ou à une mauvaise perception de risques des populations, ce dernier critère étant d'ailleurs de plus en plus contesté (Gaillard, 2008). Les questionnaires ont montré que 82 % des habitants de Sugihwaras connaissent les dates des éruptions passées, et que 91 % savent citer l'essentiel des aléas habituels provoqués par le Kelut (De Bélizal *et al.*, 2011). Les résistances et les refus d'évacuer ne sont donc pas imputables à une mauvaise connaissance des menaces existantes. Ils sont la conséquence d'une trop grande séparation entre autorités et populations lors de la gestion de crise, notamment caractérisée par des lacunes problématiques dans la communication, ce qu'une éruption de type inattendu a permis de nettement révéler.

6.2 Les défauts de l'information

6.2.1 Les lacunes dans la communication

Les défauts de la communication ont été mis au jour grâce au caractère inattendu de l'éruption de 2007. Le manque d'échange entre autorités et populations a été flagrant, et a été perçu comme l'un des principaux sujets de mécontentement des populations. Celles-ci ne comprenaient pas pourquoi on les faisait attendre dans les camps, alors que l'alerte rouge suppose l'imminence de la phase phréatique ou phréato-magmatique des éruptions du Kelut. Ce sentiment d'attente vaine a été renforcé par l'absence de publication régulière d'un bilan d'activité du volcan : les personnes évacuées ignoraient où en étaient l'éruption. « Depuis la visite du président Susilo Bambang Yudhoyono [24-25 octobre 2007], cela fait maintenant quatre jours qu'on nous fait attendre, et que le D.V.G.H.M. ne nous donne strictement aucune nouvelle ! » s'indignait dans la presse un jeune homme (*Reuters*, 26 octobre 2007).

Ce sentiment d'isolement, de « monde à part » ainsi que beaucoup de personnes l'ont dit pendant les questionnaires et les entretiens, a motivé pour beaucoup (77 % des

évacués) le choix de retourner au village, alors que l'alerte maximale n'était pas encore terminée. Une telle attitude demeure périlleuse, mais est ici directement causée par le manque de communication des autorités : les populations se sont mis en danger pour combattre le désœuvrement et l'isolement dans les camps, puisqu'on ne les tenait au courant de rien. Il est évident que le désœuvrement qu'impliquent les évacuations représente un manque à gagner lourd de conséquences pour des personnes dont l'ensemble des ressources et moyens de subsistance (*livelihoods*) est étroitement lié aux biens matériels, au bétail et aux champs qui ne peuvent pas être abandonnés trop longtemps. L'absence d'une information concrète sur l'état réel du volcan favorise le choix de retourner au village, et ce pour des besoins économiques vitaux qu'un danger mal défini ne suffit pas à faire oublier.

6.2.2 Le rôle paradoxal des médias

Le rôle des médias a permis un suivi quotidien par une couverture en direct, sur le terrain des événements de 2007. La presse électronique, telle les réseaux *Reuters* ou *Catmat*, ainsi que les brèves AFP ont permis de construire un événementiel précis des alertes ainsi que du processus d'évacuation. En Indonésie, l'analyse de coupures de journaux nationaux (*Java Pos*, *Kedaulatan Rakyat*, *Kompas*) et régionaux (*Radar Kediri*) ont permis de compléter ce suivi chronologique. Les médias audiovisuels ont également bien retransmis la crise : les reportages d'Asia Breef ou de Metro TV ont montré les camions transportant les personnes évacuées, ainsi que des interviews de quelques acteurs de la gestion de crise, tel Surono, actuel directeur du D.V.G.H.M. Enfin, les quelques vidéos personnelles chargées sur *Youtube* par des policiers ou des jeunes des villages ont-elles-aussi participé à cette couverture médiatique quasi-complète... mais paradoxalement inaccessible pour les personnes qui restaient dans les camps.

Un autre aspect de cette importante retransmission par les médias s'est avéré néfaste. L'analyse des titres des journaux indonésiens montre une très nette propension au sensationnel, tels ceux prévoyant une éruption imminente du volcan, disant notamment que le Kelut était entré en éruption [*Kedaulatan Rakyat* du 24 octobre 2007] ou alors en « phase explosive » [*Kompas* du 4 novembre 2007], alors que cela n'était absolument pas le cas. Par ailleurs, la presse s'est fait le vecteur principal des rumeurs qui ont circulé sur les camps, avant et pendant la durée de l'alerte maximale. Les principaux thèmes que l'on peut retrouver sont : des épidémies dans les camps, une alimentation de piètre qualité, une insuffisance en eau potable, des violences et des rixes. Le 17 octobre, une dépêche de Reuters citait Sutar, habitant de Sugihwaras qui disait : « *Nous avons soif et nous avons faim dans le camp, et nous n'avions pas de tentes pour dormir* » (*Reuters*, 17 octobre 2007). Or, pendant le travail de questionnaires à Sugihwaras, la totalité des personnes évacuées a démenti ces défauts, et quelques-unes (15 %) se sont révélés même surpris de la qualité de l'hygiène. Le rôle pervers des médias a été de généraliser et d'exagérer des problèmes probablement survenus dans un ou deux camps, ce qui a lancé une rumeur effrayant les personnes qui allaient évacuer. Les rumeurs ont des conséquences particulièrement délétères en temps de crise, puisque les populations concernées lisent, écoutent ou regardent les

médias, et ont tendance naturellement à leur faire confiance (Drabek, 1969, 1999). Dans le cas des événements du Kelut, ces rumeurs ont largement contribué à relayer une mythologie négative des camps : au cours des discussions informelles suivant l'entretien, un certain nombre de personnes ont déclaré ne pas avoir évacué car « on racontait » que les camps étaient dangereux et insalubres. À bien des égards, il semble que le SATLAK n'ait pas suffisamment pris le temps de communiquer avec les journalistes pour pouvoir mettre en place une information médiatique moins événementielle et plus rigoureuse. L'éducation des journalistes aux phénomènes est pourtant un élément essentiel de la gestion des crises (Haynes *et al.*, 2008).

Ces défauts de communication entre gestionnaires de la crise et populations, mais aussi entre ces gestionnaires et les médias, ont, également, des conséquences sur les réactions des populations en temps de crise, et peuvent conditionner des comportements dangereux de mise en vulnérabilité.

6.3 Un manque de confiance problématique

6.3.1 La présence aggravante de la police et de l'armée

La conduite des évacuations se déroule habituellement avec le concours de l'armée et de la police, censées assurer un service d'ordre en cas de débordements. Ils accompagnent les agents du SATLAK dans leur tournée de chaque foyer pour s'assurer que les habitants ont déjà rejoint les camions. Cette présence a été sentie angoissante par un tiers des personnes interrogées : 30 % ont déclaré qu'ils avaient préféré se cacher plutôt que de faire face aux forces de l'ordre. Les discussions informelles ont permis d'éclaircir cette crainte des policiers et des militaires. Pendant la période de Suharto, président autoritaire de l'Indonésie de 1965 à 1998, l'armée a joué un rôle prépondérant dans l'organisation politique mais aussi économique du pays. Un grand nombre de terrains agricoles dévolus aux plantations (cannes à sucre, ananas et girofliers) appartenaient aux militaires, qui en tiraient des bénéfices élevés. Après la chute du régime et jusqu'au début des années 2000, la présence de l'armée a été considérablement réduite, et sa réputation entachée par des affaires de népotisme et de détournements de fonds; parallèlement, un certain nombre de terres ont été rétrocédées aux communautés locales. Il n'empêche que, dans certains cas et notamment autour du Kelut, il existe toujours des conflits entre les villageois et des militaires désœuvrés, qui réclament toujours leur part des bénéfices. En 2008, pendant le déroulement du travail de questionnaire, des discussions très houleuses ont eu lieu entre l'armée et les notables du village. On comprend donc mieux, dans ce contexte, pourquoi les forces de l'ordre effraient, et comment leur rôle peut être entièrement contre-productif en cas d'alerte : plutôt que des adjutants, ils deviennent des opposants au bon déroulement des opérations d'urgence. Cependant, aucune mention d'abus ou de violences n'ont été dénoncées pendant les évacuations. Le problème n'est donc pas ponctuel, mais structurel, bien plus profondément ancré dans les fonctionnements socioéconomiques de la région, ce qui est le cas de bien de facteurs de vulnérabilité (Hewitt, 1983 ; Wisner & Luce,

1993 ; Gaillard, 2008 ; Texier *et al.*, 2008 ; Texier, 2009). En outre, il existe un malentendu problématique : censées garder le village lorsque les populations sont parties, les forces de l'ordre ne se déclarent pas responsables des éventuelles pertes subies. Les vols, s'ils ont lieu, ne sont pas de leur faute, et ils ne sont pas non plus tenus de surveiller le bétail ou les récoltes. Cela explique que la présence des forces de l'ordre n'est pas rassurante, comme cela devrait être, mais est perçue, dans certains cas, comme inutile ainsi qu'angoissante, sinon menaçante.

6.3.2 Une fausse alerte ?

Un agriculteur déplorait : « Nous partirons chaque fois que l'on nous demandera de partir ; seulement, hier (17 octobre 2007), nous sommes rentrés chez nous car il ne s'est rien passé » (*Reuters*, 18 octobre 2007). L'absence des phénomènes éruptifs habituels a dérouté les habitants, qui ne comprenaient pas pourquoi le processus d'évacuation était mis en place. Le risque évident de la fausse alerte est de troubler les alertes précoces par manque de crédit de la part des populations qui n'accordent plus d'importance à un signal qui les a auparavant trompés. Problème de communication, la fausse alerte est aussi et surtout l'origine d'un manque de confiance qui peut être à l'origine d'importants dommages (Anderson, 1965, 1969).

Dans le cas de l'éruption de 2007 du Kelut, la question de la fausse alerte mérite d'être discutée. D'après les entretiens, les personnes évacuées considèrent que les autorités ont ordonné les évacuations alors que la situation ne s'y prêtait guère, et ont regretté cette « fausse alerte » qui leur a coûté trois semaines de leur temps. Toutefois, les autorités scientifiques ont parfaitement joué leur rôle d'anticipation. L'extrusion du dôme de lave n'excluait pas automatiquement sa déstabilisation et son explosion dans des délais brefs. La morphologie du Kelut montre une abondance de dômes péléens et de cryptodômes qui suggèrent de nombreuses extrusions sur les temps géologiques. Des dépôts de coulées pyroclastiques à cendres et à blocs provoquées par des effondrements de dômes ont été retrouvés dans l'amphithéâtre occidental (Pratomo, 1992). Les autorités scientifiques ne pouvaient donc pas agir autrement que décider l'évacuation massive des zones les plus exposées, en cas d'explosion. En ce sens, la surveillance du volcan et la crise ont été bien gérées, mais se sont retrouvées en porte-à-faux avec les populations.

Le problème vient plus en amont, dans la préparation de la situation de crise (*preparedness*, voir De La Cruz-Reyna *et al.*, 2000). On se heurte ici à un aspect fondamental de la gestion des risques, résidant dans les scénarios potentiels d'intensité et de magnitude d'éruptions, que rien ne permet de prédire. Les populations s'attendaient au scénario classique des éruptions explosives en trois phases (phréatique, phréato-magmatique puis magmatique), mais ignoraient tout des possibilités d'éruptions extrusives. Une communication plus approfondie entre autorités scientifiques et populations aurait dû être menée pour améliorer les savoirs locaux, en rappelant que toutes les éruptions du Kelut ne suivent pas forcément le même scénario. Une préparation en ce sens aurait pu certainement assurer les populations que le volcan était en éruption et représentait un risque majeur, même si aucune explosion phréatique n'avait été entendue. Des opérations d'éducation aux aléas volca-

niques et aux scénarios d'éruption ont été menées durant l'été 2010 autour du volcan Merapi (Java-Centre), quelques mois avant l'éruption subplinienne survenue en octobre-novembre de la même année, et ont certainement joué un rôle profitable dans les évacuations globalement réussies d'un très grand nombre de personnes. Une telle démarche devrait être mise en place au volcan Kelut également.

6.3.3 Vraies croyances et fausses traditions

Les volcans javanais, comme beaucoup d'autres volcans dans le monde (Chester, 2004, 2005 ; Gaillard & Texier, 2010), sont au cœur d'une géomancie complexe et traditionnelle, liée à la mystique javanaise. Le volcan Merapi, au centre de l'île de Java, joue par exemple un réel rôle dans l'organisation de l'espace proche de la ville de Yogyakarta, en étant le balancier symbolique de l'océan, autre force naturelle (Newhall *et al.*, 2000; Dove, 2007; Lavigne *et al.*, 2008). Sur ses flancs habitait un chaman, le « juru kunci » (gardien des clés) qui, d'après la tradition, est en relation avec les esprits du volcan, entretenant ainsi le lien entre le Merapi et les hommes (Inandiak, 1998), ce qui fait de lui un personnage écouté en temps d'éruption (Texier *et al.*, 2008). Pendant la crise de 2006, ce personnage a été très présent dans la presse locale et nationale, de par ses prises de position contre les dates des évacuations, ou son refus d'évacuer lui-même. Sa mort pendant l'éruption de 2010 a contribué à en faire une figure culturelle et mystique quasi-héroïque dans certaines zones du volcan.

Autour du Kelut, aucune tradition de *gardien des clés* n'existe. Pourtant, l'un des chamans du village de Sugihwaras a été très souvent désigné « juru kunci » par la presse, notamment dans des articles relatant son refus d'évacuer (*Kompas* et *Kedaulatan Rakyat*, 18-19 octobre 2007). Les entretiens ont permis de mieux saisir et de comprendre son rôle. Depuis le milieu des années 1990, le gouvernement de Kediri cherche à valoriser le potentiel du volcan Kelut. L'une des directives adoptées a été de (re)créer une cérémonie d'offrande au volcan, qui rappelle très fortement les fameuses processions du Merapi. L'un des chamans les plus respectés de Sugihwaras, Mbah Ronggo, a été choisi pour mener le cortège, d'où l'association avec le rôle de « juru kunci » qu'en réalité il ne détient pas, puisque la plupart des personnes rencontrées dans le village ont déclaré qu'il n'y avait pas de gardien des clés au Kelut. D'après les discussions informelles et les entretiens, il ressort que la presse et le gouvernement local favorisent ce titre prétendu de *juru kunci*, en espérant que les gens finiront par vraiment croire que Mbah Ronggo entretient une relation avec le Kelut semblable à celle de Mbah Maridjan avec le Merapi. Ils lui feraient ainsi confiance, et le suivraient sans sourciller pendant les évacuations... Peine perdue, à peine 13 % des personnes interrogées déclarent faire confiance à Mbah Ronggo en cas d'alerte, et la plupart savent très bien que le prétendu « juru kunci » du Kelut n'est qu'une fausse tradition créée dans le but de développer le tourisme, et accessoirement de favoriser les évacuations. On sent ici une forte influence médiatique du Merapi : presse et gestionnaires de crise calquent sur le Kelut des modèles culturels et des tactiques d'évacuation qui ne correspondent pas. De telles manœuvres ne peuvent que jeter le discrédit sur la structure de gestion de crise : les communautés concernées se sentent d'autant plus éloignées des directives officielles

que ces dernières font références à des traditions et des fonctionnements qui ne sont pas les leurs, et qu'on cherche à leur imposer.

Conclusion

La crise du volcan Kelut en 2007 n'a pas été causée par une catastrophe, mais par des réponses inadaptées des populations aux directives de la gestion de crise officielle. L'origine principale est due à son organisation *top-down* : hiérarchique et stratégique, elle prévoit tout, mais reste très éloignée des communautés concernées, avant l'éruption, mais aussi pendant. Les refus d'évacuer, les retours aux villages avant la fin de l'alerte sont pour beaucoup dus à un réel manque de communication et à une information mal encadrée, propice aux rumeurs. Face à cet organe de gestion de crise qui leur est étranger, et dans lequel l'armée et la police sont engagées, les populations peuvent se sentir désemparées, et adopter des conduites dangereuses pour elles-mêmes. La vulnérabilité n'est pas qu'affaire d'exposition à des aléas, et, dans le cas du Kelut, résulte dans la combinaison d'une structure *top-down* et d'une information lacunaire, qui empêche la confiance entre autorités et communautés. Or, c'est cette confiance mutuelle qui permet une gestion de crise efficace : les populations doivent pouvoir se reposer sur les gestionnaires de crise, et non les craindre.

L'idée est donc d'améliorer l'information et la communication, mais aussi de ne pas imposer une structure de gestion de crise. Au nom d'une meilleure communication d'une meilleure information, l'intégration des communautés dans les plans de gestion de crise est une solution actuellement de plus en plus appréciée. L'approche participative de la gestion de crise permet aux autorités de rencontrer les populations, de voir comment elles vivent, et finalement de décider avec elles des meilleures tactiques de secours en cas de crise. Les événements de 2007 n'ont pas fait de victimes, mais ont permis aux autorités de prendre conscience des défauts structurels existant dans la gestion des risques liés aux éruptions autour de ce volcan en particulier, et en Indonésie en général.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les personnes qui ont coopéré activement à cette étude, notamment les habitants de Sugihwaras, qui ont donné de leur temps pour répondre avec précision aux questions posées. Les discussions informelles et chaleureuses qui ont suivi les questionnaires en ont complété efficacement les résultats.

Sigles

DVGHM : Directorate of Volcanology and Geological Hazard Mitigation

SATLAK PB : SA. Tuan peLAKsanan Penanggulangan Bencana. Unité de gestion des catastrophes (échelle du district).

UNIT OPS PB : Unit Operasional Penanggulangan Bencana.

Unité opérationnelle de gestion de crise sur le terrain (échelle du sous-district).

SATLINMAS PB : SATuan perLINDugan masyarakat Penanggulangan Bencana. Unité de gestion des catastrophes pour la protection des populations (échelle de la commune).

Bibliographie

ANDERSON W. A., *Crescent City Revisited: a Comparison of Public Warning Procedures Used in 1964 and 1965 Emergencies*. The Disaster Research Center, Ohio State University Columbus, Department of Sociology, 1965.

ANDERSON W. A., « Disaster Warning and Communication Processes in Two Communities », *Journal of Communication*, 19, 1969, p. 92-104.

BARBERI F., DAVIS M. S., ISALIA R., NAVE R. & RICCI T., « Volcanic Risk Perception in the Vesuvius Population », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 2008, p. 244-258.

BERCY C. & SABROUX J.-C., *Underwater Noise Survey in the Crater Lake of Kelut Volcano (Indonesia)*, C.N.R.S., Institut national d'Astronomie et de Géophysique, 1980, 20 p.

BOURDIER J.-L., PRATOMO I., THOURET J.-C., BOUDON G. & VINCENT P.M., « Observations, Stratigraphy and Eruptive Processes of the 1990 Eruption of Kelut Volcano, Indonesia », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 79, 1997 a, p. 181-203.

BOURDIER J.-L., THOURET J.-C., PRATOMO I., VINCENT P.M. & BOUDON G., *Menaces volcaniques au Kelut (Java, Indonésie) : les enseignements de l'éruption de 1990*, C.R. Académie des Sciences de Paris, t. 324, série II a, 1997 b, p. 961-968.

CARLINO S., SOMMA R. & MAYBERRY C. G., « Volcanic Risk Perception of Young People in the Urban Areas of Vesuvius : Comparisons with Other Volcanic Areas and Implications for Emergency Management », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 2008, p. 229-243.

CHESTER D. K., « Volcanoes, Society and Culture », in MARTI J. & ERNST G. (éd.), *Volcanoes and the Environment*, Cambridge University Press, 2004.

CHESTER D. K., « Theology and Disaster Studies : the Need for Dialogue », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 146, 2005, p. 319-328.

DE BÉLIZAL E., LAVIGNE F., GAILLARD J.-C. & GRANCHER D., *Réaction des populations en cas d'alerte sur les flancs des volcans actifs tropicaux : le cas du volcan Kelut (Java, Indonésie) fin 2007*, bulletin de l'Association des Géographes français, 2011.

DE LA CRUZ-REYNA S., MELI R. P. & QUAAS R. W., « Volcanic Crisis Management », in SIGURDSSON H., HOUGHTON B. F., MCNUTT S. R., RYMER H. & STIX J. (éd.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, 2000, p. 1199-1214.

- D'ERCOLE R. & RANÇON, J.-P., « La future éruption de la Montagne Pelée : risques et représentations », *Mappe-monde*, 4, 1994, p. 31-36.
- DOVE M. R., « Volcanic Eruption as Metaphor of Social Integration: a Political Ecological Study of Mount Merapi, Central Java », in CONNELL J. & WADDELL E. (éd.), *Environment, Development and Change in Rural Asia-Pacific : between Local and Global*, Londres/NY Routledge, 2007.
- DRABEK T., « Social Processes in Disaster : Family Evacuation », *Social Problems*, 16, 3, 1969, p. 336-349.
- DRABEK T., « Understanding disaster warning responses », *The Social Science Journal*, 36, 3, 1999, p. 515-523.
- GAILLARD J.-C., « Active Paradigms of Volcanic Risk Perception : the Case of Mt. Pinatubo in the Philippines », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 2008, p. 315-328.
- GAILLARD J.-C., D'ERCOLE R. & LEONE F., « Cartography of Population Vulnerability to Volcanic Hazards and Lahars of Mount Pinatubo (Philippines) : a Case Study in Pasig-Potrero River basin (Province of Pampanga) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 7, 2001, p. 209-222.
- GAILLARD J.-C. & TEXIER P., « Religion, Natural Hazards and Disasters : an Introduction », *Religion*, 40, 2, 2010, p. 81-84.
- GREGG C. E., HOUGHTON B. F., JOHNSTON D. M., PATON, D., SWANSON D. A., « The Perception of Volcanic Risk in Kona Communities from Mauna Loa and Hualālai Volcanoes, Hawai'i », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 130, 2004, p. 179-196.
- HAYNES K., BARCLAY J. & PIDGEON N., « Whose Reality Counts ? Factors Affecting the Perception of Volcanic Risk », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 2008, p. 259-272.
- HEWITT K., « The Idea of Calamity in a Technocratic Age », *Interpretation of Calamity from the View Point of Human Ecology* (Allen et Unwin Inc, London), 1983, p. 3-32.
- HODGE D., SHARP V. & MARTS M., « Contemporary Responses to Volcanism : Case Studies from the Cascades and Hawaii », in SHEETS J. D. & GRAYSON D. K. (éd.), *Volcanic Activity and Human Ecology*, Academic Press, New York, 1979, 644 p.
- INANDIAK, E. D., *Le rêve de Mbah Maridjan*, Le Banian Blanc, éd. Babad Alas, Yogyakarta, 1998.
- LAVIGNE F., DE COSTER B., JUVIN N., FLOHIC F., GAILLARD J.-C., TEXIER P., MORIN J. & SARTOHADI J., « People's Behaviour in the Face of Volcanic Hazards : Perspectives from Javanese Communities, Indonesia », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172, 3-4, 2008, p. 273-287.
- LESAGE P. & SURONO, « Sismic Precursor of the February 10th, 1990 Eruption of Kelut Volcano, Java », *Journal of Volcanology and Geothermal research*, 65, 1995, p. 135-136.
- MCGUIRE W. J., SOLANA M. C., KILBURN C. R. J. & SANDERSON D., « Improving Communication During Volcanic Crises on Small, Vulnerable Islands », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 183, 2009, p. 63-75.
- NEWHALL C. G., « Volcano Warnings », in SIGURDSSON, H., HOUGHTON, B. F., MCNUTT S. R., RYMER H. & STIX J. (éd.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, San Diego, 2000, p. 1185-1197.
- NEWHALL C. G. & PUNONGBAYAN R. S., *Fire and Mud : Eruption and Lahars of Mt Pinatubo, Philippines*, University of Washington Press/Philippine Institute of Volcanology and Seismology, Seattle/Quezon City. 1996.
- NEWHALL C. G., BRONTO S., ALLOWAY B., BANKS N. G., BAHAR I., DEL MARMOL M. A., HADISANTONO R. D., HOLCOMB R. T., MCGEEHIN J., MIKSIC J. N., RUBIN M., SAYUDI S. D., SUKHYAR R., ANDREASTUTI S., TILLING R. I., TORLEY R., TRIMBLE D., WIRAKUSUMAH A. D., « 10,000 Years of Explosive Eruptions of Merapi Volcano, Central Java: Archaeological and Modern Implications », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100, 2000, p. 9-50.
- PRATOMO I., *Étude de l'éruption de 1990 du volcan Kelut (Java-Est, Indonésie) : son apport à l'interprétation de l'activité historique du volcan*, thèse de doctorat, université Clermont-Ferrand II, Blaise-Pascal, 1992, 96 p.
- QUARANTELLI E. L., « The Sociology of Panic », in SMELSER N. J. & BALTES P. B. (éd.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioural Sciences*, Pergamon Press, New York, 2001, p. 11020-11023.
- ROLANDI G., « Volcanic Hazard at Vesuvius : An Analysis for the Revision of the Current Emergency Plan », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 189, 2010, p. 347-362.
- SUPANGKAT D., *The Side Function of Sabo Structures for the Purpose of Land Conservation in the Area of Mt. Kelud*, 1988, 15 p.
- TEXIER P., *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta, Indonésie*, thèse de doctorat, université Paris 7, 2009.
- TEXIER P., GAILLARD J.-C. & LAVIGNE F., « Les sociétés d'Asie du Sud-Est face aux menaces volcaniques : entre phénomènes extrêmes et contraintes quotidiennes », in BERTRAND D. (dir.), *Villes et volcans : Relations, représentations, pratiques*, Presses de l'université Clermont-Ferrand II, Blaise-Pascal, 2008.
- THOURET J.-C., ABDURACHMAN K. E., BOURDIER J.-L. & BRONTO S., « Origin, Characteristics, and Behavior of Lahars Following the 1990 Eruption of Kelud Volcano, Easter Java (Indonesia) », *Bull. Volc.*, 59, 1998, p. 460-480.
- VOIGHT B., « The 1985 Nevado del Ruiz Volcano Catastrophe: Anatomy and Retrospection », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 1990, p. 349-386.
- WISNER B. & LUCE H. R., « Disaster Vulnerability: Scale, Power and Daily Life », *GeoJournal*, 30, 2, 1993, p. 127-140.

Chapitre 3

Éducation et sensibilisation aux risques

7 Les enfants, premiers acteurs de la réduction des risques : une expérience indonésienne

Delphine GRANCHER^{1,2}, J.-C. GAILLARD^{1,3},
Julie MORIN^{1,4}, Mathias BOUN-HENG^{1,2},
Benjamin DE COSTER¹, Marion GIFFO¹ &
Pauline TEXIER^{1,5}

1. Planet Risk, France.

2. U.M.R. 8591 Laboratoire de Géographie Physique — C.N.R.S., France.

3. France School of Environment, University of Auckland, Nouvelle Zélande.

4. U.M.R. 7154 Laboratoire GéoSciences Réunion — C.N.R.S./I.P.G.P., université de la Réunion, France.

5. U.M.R. 5600 Environnement, Ville, Société — C.N.R.S., université Lyon III, France.

planetrisk@gmail.com

grancher@cncrs-bellevue.fr

jc.gaillard@auckland.ac.nz

julie.morin@univ-reunion.fr

Résumé. — En 2007, les associations Planet Risk (www.planetrisk.fr) et SOS Sekolah ont mené conjointement un projet de réduction des risques et de préparation aux catastrophes associés aux phénomènes sismiques à Yogyakarta (Java Centre, Indonésie). Le 27 mai 2006, un puissant séisme y avait fait de nombreux morts et blessés — parmi lesquels beaucoup d'enfants — et fortement impacté les infrastructures — de nombreux établissements scolaires notamment.

Ce projet, destiné aux écoliers indonésiens, à leurs professeurs et à leur entourage familial, a été mené au sein d'écoles maternelle et primaire. La pédagogie utilisée, basée sur des outils adaptés aux âges de 2,5 à 12 ans, a fait des enfants les acteurs de la réduction des risques en milieu scolaire et leur a permis d'acquérir des « réactions-réflexe » pour faire face plus efficacement aux séismes. Les documents éducatifs produits ont été mis à disposition des partenaires indonésiens et internationaux œuvrant pour la réduction des risques pour une diffusion élargie thématiquement (possibilité d'adapter la méthodologie à d'autres types de menaces) et géographiquement.

Mots-clés. — Aléa sismique, prévention, enfants, école, position-réflexe, Indonésie.

Title. — *Children as Main Actors in Disaster Risk Reduction : an Indonesian Case Study*

Abstract. — *In 2007 Planet Risk (www.planetrisk.fr) and SOS Sekolah NGOs led a seismic risk reduction and disaster preparedness program in Yogyakarta (Middle Java, Indonesia). On May 27th, 2006, a powerful earthquake had made there*

numerous casualties — including many children — and severely damaged buildings, in particular numerous schools. Our project was dedicated to Indonesian pupils, their professors and families. It was led within maternal and primary schools. The pedagogy is based on tools adapted to ages from 2,5 to 12 years. Children acquire « reflex-reactions » to be able to better face earthquakes. They are fully involved in the risk reduction process. Our educational documents were offered to Indonesian and international partners involved in disaster risk reduction. These documents may be adapted to other kinds of hazards and other places.

Keywords. — *Seismic Hazard, Prevention, Children, School, Reflex-Position, Indonesia.*

Introduction

Les enfants sont très souvent touchés par des catastrophes associées à des phénomènes naturels. Face aux menaces de la nature, les enfants sont particulièrement vulnérables en raison de leur fragilité physique et de leur dépendance aux adultes. De plus les écoles qu'ils fréquentent sont parfois inadéquates pour résister aux aléas naturels, et les mesures de protection leur sont trop rarement enseignées (Delica, 1998 ; Anderson, 2005).

En adéquation avec les objectifs du Cadre d'Action de Hyogo (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction*, 2005), les enfants sont désormais mis sur le devant de la scène internationale de la réduction des risques (Wisner, 2006 ; International Strategy for Disaster Reduction, 2007 ; Petal, 2007 ; Mitchell *et al.*, 2009 ; World Vision & Plan, 2009). On considère que l'école est un lieu privilégié pour conduire des actions durables visant à réduire les risques associés à des phénomènes naturels. Les enfants sont souvent avides de connaissance portant sur les aléas naturels et leur environnement physique et social. Les écoliers sont aussi un relais efficace à la diffusion des mesures de préparation aux catastrophes. Face à eux, les enseignants sont les acteurs les plus crédibles pour enseigner les mesures élémentaires de protection face aux aléas naturels. Ces mêmes enseignants sont par ailleurs des interlocuteurs crédibles pour les parents d'élèves et autres membres des communautés locales.

En 2007, l'association Planet Risk a mené une action de réduction des risques et de préparation aux catastrophes associées aux phénomènes sismiques en milieu scolaire dans la région de Yogyakarta (Java Centre, Indonésie), touchée le 27 mai 2006 par un puissant séisme (figure 1). Le projet

a été développé en collaboration avec SOS SEKOLAH, association loi 1901 créée suite au tremblement de terre avec pour objectif l'aide à la reconstruction des écoles ayant subi des destructions, *sekolah* signifiant école en indonésien. Ce projet a été mené au sein d'écoles maternelle et primaire. La pédagogie utilisée, basée sur des activités adaptées aux âges de 2,5 à 12 ans, a fait des enfants les acteurs de la réduction des risques en milieu scolaire, et permis le développement d'un kit pédagogique.

Si de nombreux documents pédagogiques relatifs à la réduction des risques sont disponibles en ligne et auprès des institutions scientifiques, politiques et non gouvernementales de nombreux pays, il n'existe pas à notre connaissance dans la littérature scientifique de description précise de leurs processus d'élaboration. Ce type de description est pourtant particulièrement intéressant pour les scientifiques souhaitant développer une activité de recherche-action : il permet une analyse plus fine du contexte de transmission des connaissances. Les acteurs opérationnels se voient quant à eux proposer un modèle « opérant » de construction d'outils de sensibilisation.

Cet article propose donc une présentation des outils créés par Planet Risk et explique les choix réalisés par l'équipe afin d'adapter ces outils aux besoins et au contexte local. Il s'inscrit ainsi dans la thématique « Les Risques Naturels Majeurs : Information, Communication, Sensibilisation » en proposant un cas d'étude pouvant nourrir des partages d'expériences entre acteurs et « penseurs » de la gestion des risques.

7.1 Le contexte indonésien : aléas sismiques, vulnérabilité et politiques de réduction des risques

Un pays fortement exposé aux aléas sismiques

L'Indonésie est un territoire particulièrement exposé à des phénomènes naturels potentiellement dommageables, au premier rang desquels les aléas sismiques. La base de données EM DAT du Centre de Recherche sur l'Épidémiologie des Désastres — CRED (2010) recense, de 1900 à 2010, 96 catastrophes liées à l'occurrence de séismes en Indonésie. Chaque événement a causé la mort d'au moins 10 individus ou affecté au moins 100 personnes ou nécessité un appel à l'aide internationale ou une déclaration d'état d'urgence. Au cours de la seule décennie 2000-2009, 39 événements catastrophiques ont coûté directement et indirectement (tsunami) la vie à près de 175 000 personnes, affecté 7,8 millions d'individus (dont 1,3 million de sans-abri) et causé plus de 10 milliards d'U.S. \$ de dégâts.

Si un lourd bilan est imputable au tsunami de 2004 (165 708 victimes), les séismes *stricto sensu* n'en restent pas moins fréquents et dévastateurs en Indonésie (30 000 morts, 8,5 millions d'individus affectés, et 7 milliards d'US \$ de dégâts depuis 1900).

7.1.1 Le séisme de mai 2006 à Java Centre

Le 27 mai 2006, un séisme de magnitude 6,3 sur l'échelle de Richter fait de nombreuses victimes et dégâts dans la ré-

gion de Yogyakarta (figure 1). 5 749 personnes sont tuées, 38 000 blessées tandis que les dommages économiques s'élèvent à 3,1 milliards d'US \$ et que 127 000 maisons sont totalement détruites (OCHA, 2006). Cela en fait le 9^e plus important séisme au monde en termes de personnes affectées depuis le début du XX^e siècle (Centre de Recherche sur l'Épidémiologie des Désastres, 2010).



Fig. 1. — Localisation de la ville de Yogyakarta au sein de l'archipel indonésien.

Selon des estimations de l'UNICEF (2007) réalisées deux jours après le séisme, 40 % des blessés et déplacés sont des enfants (dont 15 % ont moins de 5 ans), beaucoup d'entre eux ayant été gravement touchés, souffrant de traumatismes crâniens et de fractures aux membres. Les enfants et les personnes âgées, plus faibles sur le plan physique, sont les plus exposés en cas de séisme.

Une des priorités post sismique a été « d'assurer aux enfants un retour rapide à la vie normale », notamment en permettant la tenue de la rentrée scolaire annuelle en juillet (UNICEF, 2007). Essentiel, ce rétablissement de la vie scolaire a donc porté sur des mesures d'urgence (distribution de tentes-écoles et de matériel éducatif). Le séisme a en effet eu un impact majeur sur le secteur de l'éducation dans la province de Yogyakarta où 2 155 structures d'éducation ont été lourdement endommagées ou totalement détruites (Elnashai *et al.*, 2007). Beaucoup d'écoles avaient été construites dans les années 1970 à la demande du gouvernement pour répondre à une demande croissante en écoles élémentaires consécutive aux évolutions conjuguées des taux de natalité et de mortalité infantile. Les forts dommages observés sur les bâtiments d'éducation tiennent en partie à leur construction rapide sans intégration de normes para-sismiques il y a quatre décennies (Elnashai *et al.*, 2007).

7.1.2 La gestion des catastrophes en Indonésie en 2007, année de réalisation du projet

Le 7^e Forum pour la Réduction des Risques tenu à Jakarta le 14 novembre 2007 à l'initiative de la Croix-Rouge indonésienne dressait un bilan catégorique de la situation en Indonésie : trois ans après le tsunami d'Asie du Sud-Est et le nombre de projets de gestion des catastrophes entrepris, le pays n'était toujours pas préparé contre les aléas naturels et présentait de gros problèmes de coordination. Les directives nationales de gestion des catastrophes se concentraient sur les crises et la gestion de l'urgence. Le programme national se limitait aux moyens techniques

pour gérer les catastrophes (aide de l'armée, distribution de vivres et médicaments) et à la réhabilitation des zones sinistrées. Ce système s'appuyait sur trois organismes clés s'articulant suivant une chaîne de commandement descendante du niveau national au niveau provincial et du district. Il ne laissait que peu de place à l'anticipation des événements et à la réduction des risques en amont des catastrophes. Les enfants étaient quant à eux absents des directives officielles alors que les cursus scolaires négligeaient la préparation aux catastrophes.

En parallèle des actions gouvernementales, des O.N.G. menaient des activités de réduction des risques et de préparation aux catastrophes mondialement reconnues, notamment à destination des enfants. Certaines avaient ainsi développé des outils spécifiques pour sensibiliser et impliquer les enfants dans la réduction des risques. Mercy International et No Strings avaient par exemple conçu des bandes dessinées et des dessins animés pour accroître la connaissance des aléas naturels et des mesures élémentaires de protection (Mercy Malaysia *et al.*, 2005 ; No Strings, 2007).

Depuis 2007 la situation a quelque peu évolué puisqu'une loi de portée nationale a été votée et une plateforme nationale pour la réduction des risques a été instituée. Si les nouveaux textes réglementaires encouragent les mesures proactives de réduction des risques et favorisent l'implication des autorités locales, des O.N.G. et des communautés locales, la réalité du terrain est encore différente et la réduction des risques reste très technocratique (Texier, 2009).

À Yogyakarta, la plupart des efforts post-catastrophe n'ont concerné que la reconstruction matérielle en occultant une possible amélioration des connaissances pour mieux se préserver d'un prochain séisme, y compris dans le monde éducatif. Forts de ce constat les membres de Planet Risk ont souhaité proposer un projet pilote de réduction intégrée des risques dans les écoles indonésiennes.

7.2 Contexte de l'action et approche pédagogique

7.2.1 Choix des sites

Tous les enfants de Yogyakarta ont ressenti le séisme du 27 mai 2006. Au moment où ont été engagées nos actions (août 2007), les plus petits, qui pouvaient avoir oublié l'évènement, en connaissaient toujours les conséquences puisque de nombreuses destructions étaient encore visibles. D'autre part les répliques étant fréquentes, ils étaient habitués à ressentir des séismes de plus faible intensité.

L'objectif du projet étant de produire des documents visuels utiles à la réduction des risques adaptés aux enfants, nous avons voulu partir du vécu d'enfants ayant déjà expérimenté un séisme pour appréhender le phénomène à leur manière. Les enfants ayant un mode de perception du monde environnant différent des adultes, des centres d'intérêts et des priorités propres, leur description du phénomène et leur récit des événements ont permis d'adapter nos outils et nos méthodes à leurs besoins spécifiques.

Deux écoles pilotes, une école maternelle et une école primaire, ont été choisies pour ce travail d'expérimenta-

tion et de conception d'outils pédagogiques d'août à septembre 2007. Ces écoles se démarquaient par l'originalité de la pédagogie utilisée par les enseignants. Elles avaient déjà participé à des projets de développement et étaient particulièrement disponibles pour des initiatives permettant de promouvoir l'autonomie et la créativité des enfants. En tout, cinq classes, soit une centaine d'enfants, ont participé à l'expérimentation des outils pédagogiques : les classes des petits et des grands de maternelle (2,5 à 5 ans), deux classes de cours élémentaire (9-10 ans) et une classe de cours moyen (11-12 ans).

7.2.2 Approche pédagogique

Les règles de sécurité en cas de séismes sont nombreuses et difficiles à retenir pour un jeune enfant. Afin d'éviter une surcharge cognitive, le développement de l'autonomie et de la réflexion individuelle ont donc été privilégiés à l'apprentissage exhaustif des règles. Le but de l'action vise à ce que chaque enfant puisse évaluer par lui-même, selon l'environnement et la situation présente, les dangers en cas de tremblement de terre et acquérir les bons réflexes en termes de protection et d'évacuation. Hormis les consignes à suivre en cas d'évacuation en groupe (données par le professeur afin de parvenir à une évacuation cohérente et efficace), nous avons veillé à chaque instant à ce que l'enfant ne soit pas dépendant de l'instruction donnée par un adulte (professeur ou parent) mais qu'il soit bien autonome dans son analyse des situations et ses prises de décision. Une importance particulière a été donnée à l'apprentissage de la position de sécurité, « position-réflexe » quelque soit l'endroit où l'on se trouve et l'activité que l'on pratique à cet instant.

La méthodologie d'apprentissage est basée sur l'observation par les enfants, la pratique et la répétition des exercices dans plusieurs configurations inconnues à l'avance (comme le blocage d'une issue par exemple). Chaque exercice est analysé avec soin par l'ensemble des enfants, chaque prise de décision est justifiée et discutée. Les enfants sont acteurs de leur apprentissage, ils cherchent et trouvent eux-mêmes les solutions. Ils sont incités à justifier leurs choix afin de déceler par eux-mêmes leurs erreurs éventuelles.

Tout l'apprentissage des règles de sécurité s'intègre parfaitement dans les programmes scolaires. Le projet est interdisciplinaire, les activités proposées faisant travailler la motricité, la mémoire, la capacité d'écoute et de compréhension de l'environnement de l'élève. L'utilisation du corps et des sens ainsi que les exercices de mise en situation permettent une assimilation plus facile des règles de sécurité.

Les exercices proposés sont conçus en collaboration étroite avec leurs professeurs et adaptés à l'âge des enfants. L'aspect ludique des activités permet d'améliorer la mémorisation. Les consignes de sécurité étant apprises en milieu scolaire par les professeurs, l'utilisation de jeux ou de chansons permet à tous les enfants même en difficulté scolaire de participer et d'intégrer les règles.

Suivant les classes l'intervention s'est faite directement auprès des enfants ou par l'intermédiaire de l'enseignant. Les instructions ont été données en français puis traduites en indonésien (l'utilisation d'une gestuelle ayant permis de dépasser significativement la barrière de la langue), soit directement données en indonésien.

7.3 Contenu et déroulement des activités pédagogiques menées à Java Centre

Les activités ont été divisées en quatre séquences animées par les enseignants : connaissance des aléas et perception du risque, identification des dangers par l'utilisation d'une maquette, apprentissage de la réaction-réflexe (position de sécurité) et entraînements à l'évacuation.

Les quatre séquences représentent quatre interventions d'une durée d'1 h 30 chacune pour les maternelles et premiers niveaux de primaire. Elles peuvent être regroupées en deux interventions d'une durée de 2 h pour les plus grands, dont les capacités de compréhension et d'assimilation sont supérieures.

7.3.1 Séquence 1 : la connaissance des aléas et la perception du risque

Les enfants ont débuté en décrivant la perception sensorielle des séismes qu'ils ont déjà vécus. Ils ont été interrogés à l'oral sur ce qu'ils ont entendu, vu, senti et ressenti lors de séismes et les éléments qui, selon eux, permettent d'identifier à coup sûr le phénomène.

Ils ont ensuite été invités à décrire leur expérience personnelle par le dessin pour les plus petits et la rédaction d'un texte pour les plus grands. Pour les maternelles l'utilisation du dessin a permis de verbaliser sans l'utilisation de l'écriture qu'ils ne maîtrisent pas encore ; les professeurs ayant été sollicités pour la description écrite des dessins.

Dans la classe de cours moyen de l'école primaire (48 enfants) les élèves ont eu un exercice d'expression écrite portant sur ce qu'ils avaient vécu lors du séisme du 27 mai 2006. Cet exercice leur a permis de se remémorer l'évènement, de transmettre leur témoignage et de comparer leur propre expérience avec celles des autres enfants. Cet objectif les a beaucoup enthousiasmés et permis d'obtenir des descriptions très détaillées du phénomène, faisant par la suite l'objet de comparaisons et de discussion de groupe. Afin de les sensibiliser sur la nécessité de connaître les mesures de sécurité et les procédures d'évacuation, des questions orientées vers des points essentiels à observer ont été posées. À titre d'exemple :

- Est-il possible de se tenir debout et donc de marcher pendant les épisodes de fortes secousses (ce qui amène à chercher une solution de sécurisation en attendant que l'évacuation soit possible) ?
- À quelle heure du jour ou de la nuit peut survenir un séisme ?
- Est-ce que les signes précurseurs naturels, comme le comportement anormal des animaux, peuvent compenser le fait qu'on ne puisse pas encore prévoir scientifiquement le déclenchement d'un séisme ?

Les idées reçues et les connaissances erronées sur l'origine des séismes ont été corrigées (par exemple l'idée qu'ils peuvent être provoqués par un tsunami). L'éducation scientifique ne rentrait pas dans les objectifs de cette phase de diagnostic du projet, cependant des fiches pédagogiques délivrant les connaissances scientifiques nécessaires ont été réalisées pour être intégrées à un kit à l'attention des enseignants.

La démarche « ascendante » utilisée, basée sur les témoignages individuels, présente trois avantages :

1. Elle permet de faire le point sur l'état des connaissances, la perception du risque et les comportements en situation de crise selon une typologie de la population (âge, sexe, classe sociale, localisation géographique...), ainsi que sur l'impact psychologique en situation de post-crise. La classification des éléments selon leur récurrence dans les témoignages permet également de les hiérarchiser.
2. Elle soulève des questionnements qui peuvent résulter du contexte socioculturel. Les témoignages d'enfants ont ainsi révélé une connaissance imparfaite des phénomènes mise en évidence par le récit d'une rumeur de tsunami qui aurait immédiatement suivi le séisme. L'importance de la question de la nudité a également pu être soulevée et discutée par la suite : « Comment réagir si un séisme survient lorsque je suis dans la salle de bain ou aux toilettes ? »
3. Cette approche permet aussi de récolter des informations nouvelles pouvant éventuellement enrichir la connaissance scientifique du phénomène et améliorer les outils de prévention. La description des signes précurseurs a ainsi permis d'identifier des signes précédant le séisme de plusieurs jours (nuage vertical) à quelques minutes (comportement des animaux) voire quelques secondes (bruit d'avion). Les récits ont permis de repérer les comportements individuels, en groupe et en famille et de visualiser rapidement l'état de préparation de la population et de la protection civile.

7.3.2 Séquence 2 : l'identification des dangers et la mise en sécurité des salles de classe

Pour identifier les dangers associés à un séisme, une maquette de maison a été utilisée (figure 2). Elle a été conçue de manière à illustrer le plus de situations de danger possibles au sein d'une maison.

Des figurines ont été réparties à l'intérieur des deux pièces de la maison. Les élèves, par groupe, ont identifié les personnages, leur position et leur activité : certains dorment, mangent, étudient, sont debout ou assis.

Pour simuler le séisme, nous avons secoué la table sur laquelle était située la maquette. Tout d'abord doucement. Les élèves ont décrit ce qu'ils voyaient : les portes des armoires s'ouvrir, des objets commencer à tomber, les personnages debout déstabilisés. Les « secousses » sont ensuite devenues de plus en plus fortes. Les enfants ont alors identifié les dégâts et observé ce qui était advenu aux figurines. Ils ont dû trouver des solutions pour les évacuer de la maison. Certaines issues étaient bloquées, des personnages étaient coincés. Les enfants ont joué naturellement avec les figurines et les modérateurs ne sont intervenus que pour valider ou discuter les solutions trouvées pour évacuer les figurines. Le travail avec une maquette permet aux enfants d'avoir une vue d'ensemble des destructions engendrées par un séisme. La miniaturisation des éléments permet de bien visualiser la disposition des objets et des personnes dans l'espace. L'utilisation de scénettes de la vie quotidienne permet plus facilement d'appréhender la réalité. Avec les plus petits, la personnification des personnages et leur mise en situation permet d'aborder les règles de sécurité de manière ludique et naturelle.

Une fois la phase d'observation de la maquette terminée, les enfants ont recensé par écrit les dangers et les éventuels

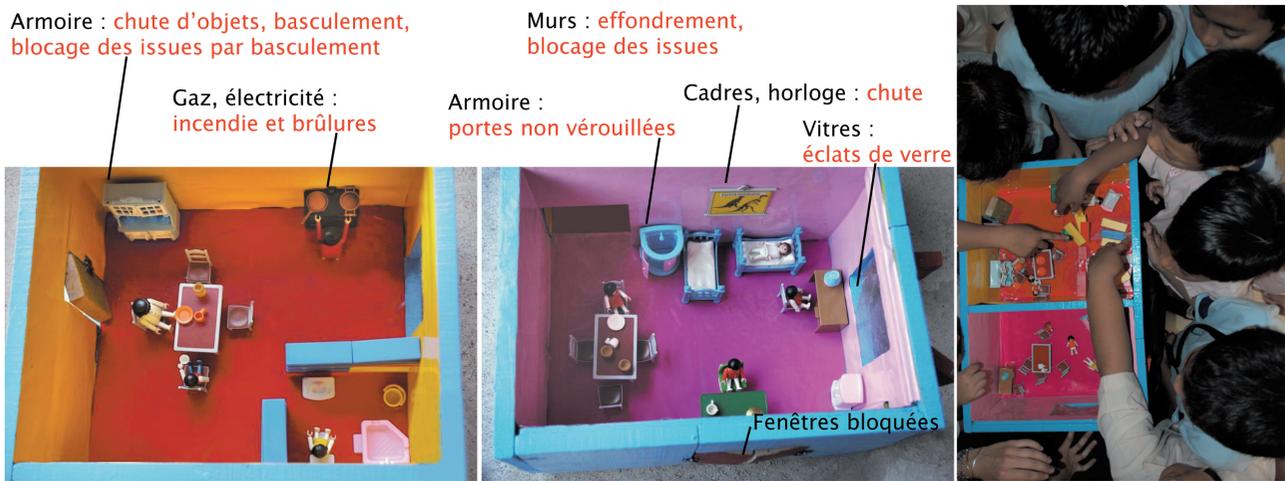


Fig. 2. — Maquette utilisée pour discuter de l'impact des séismes et des comportements à adopter au sein des écoles de Yogyakarta en août-septembre 2007 (clichés Delphine GRANCHER).

problèmes d'aménagement dans leur classe en proposant des solutions. En classe de maternelle, une grosse peluche a été positionnée dans différents endroits de la salle. Les enfants devaient individuellement, à l'aide de petits drapeaux rouges et verts, indiquer si la peluche était en sécurité ou non et proposer une mise en sécurité en l'éloignant du danger (vitre, étagère), en proposant un lieu sûr.

En conséquence, les enfants et leurs enseignants ont entrepris la mise en sécurité de la classe en déplaçant des meubles, dégageant des issues, fixant des meubles, courbant des clous et protégeant des vitres. Dans chaque salle, un endroit a également été dépourvu de tout meuble afin de constituer un lieu de repli sécurisé.

Un système de code de couleurs (rouge et vert) a également été utilisé dans toutes les activités. Des exercices d'art plastique ont été proposés afin de valider individuellement la compréhension des consignes par les enfants. Sur des fiches représentant une maison ou une situation particulière, ils devaient coller ou dessiner des pastilles de couleur verte et rouge en repérant les endroits dangereux et les endroits sûrs. Enfin, des exercices d'expression libre par le dessin sur le thème du séisme ont été mis en place afin de permettre aux enfants de laisser une trace écrite de ce qu'ils avaient appris.

7.3.3 Séquence 3 : la réaction réflexe ou position de sécurité

La maquette permet de comprendre que se réfugier sous une table est la meilleure manière de se protéger pendant les secousses, puisqu'il est impossible de se déplacer. Or dans de nombreuses situations il n'y a pas de table assez proche pour pouvoir se protéger. Il faut donc trouver une position permettant de se protéger au mieux, facile à retenir et rapide à exécuter. Cette position, nommée « position de sécurité » dans les documents réalisés, est celle enseignée dans les écoles au Japon et en Turquie. Elle est la seule alternative au refuge sous les tables. Se mettre en position de sécurité ou se réfugier sous une table sont des réactions-réflexe à exécuter systématiquement avant d'évacuer, ne serait-ce que durant quelques secondes, car le réflexe permet de maîtriser le comportement individuel et l'évacuation de la classe.

Pour les enfants de maternelle et des premiers niveaux de primaire, deux comptines bien connues en Indonésie ont été adaptées au thème du séisme et associées à une chorégraphie. Chaque comptine résume dans l'ordre les consignes de sécurité avec des formulations simples adaptées à la petite enfance. Les gestes associés à chacune des phrases décrivent les gestes à effectuer en situation réelle. La position de sécurité est intégrée très facilement puisqu'elle est dans le même temps décrite et exécutée. Le rythme de la chanson permet un enchaînement rapide des actions (se mettre en position de sécurité rapidement puis se réfugier dans un lieu sécurisé). La répétition des chansons et de la gestuelle garantit la mémorisation de la position de sécurité dès l'âge de 2,5 ans et développe la réaction-réflexe chez l'enfant.

Pour les élèves de primaire, la position de sécurité a été introduite en recensant les parties vitales du corps qu'il faut protéger des chutes d'objet : la tête, la nuque et les organes du buste. En pratique, la position doit assurer une stabilité suffisante pour ne pas être déséquilibré et tomber, tout en permettant de se relever et de sortir rapidement sans avoir à utiliser les mains comme appuis, afin de ne pas laisser la tête découverte et d'éviter de se blesser avec d'éventuels débris (figure 3).



Fig. 3. — Position de sécurité recommandée aux enfants de Yogyakarta lors du projet mené en août-septembre 2007 (clichés Delphine GRANCHER).

Pour travailler la réactivité des élèves et la vitesse d'exécution de la position de sécurité, un jeu a été adapté sur le principe de « 1, 2, 3 Soleil ». Les enfants ont été rassemblés dans une salle, vaquant à leurs occupations ; on comptait jusqu'à 3 et on annonçait « séisme ! » ; tous devaient alors se mettre en sécurité sous une table ou en position de sécurité et rester immobiles jusqu'à ce que l'enseignant annonce qu'il était possible de tenir debout et de se déplacer. Afin de faire remarquer les défauts de position, nous avons utilisé des briques de mousse que nous faisons tomber sur la partie de la tête ou de la nuque mal protégée. Cet exercice a ensuite été effectué en classe sans en prévenir les élèves et de manière totalement aléatoire. L'intérêt de reproduire cet exercice à tout moment permet de développer la réactivité des enfants et de leur rappeler qu'un séisme peut survenir n'importe quand.

7.3.4 Séquence 4 : l'exercice d'entraînement à l'évacuation

Une fois la position-réflexe assimilée, les entraînements à l'évacuation des classes ont pu être effectués. La seule indication donnée aux enfants était l'emplacement du point de rassemblement dans la cours de récréation. Aucun chemin privilégié n'était indiqué. L'objectif était que les élèves soient capables de trouver seuls une solution alternative en cas de blocage d'une issue par le feu ou par des destructions.

Toutes les évacuations ont été chronométrées et à chaque retour en classe le comportement collectif ou individuel des élèves a été analysé. Ils ont ainsi pu justifier leurs choix et débattre entre eux de la meilleure solution. Après avoir convenu avec les élèves des améliorations possibles (ne pas se pousser, ne pas oublier de se protéger la tête durant l'évacuation) plusieurs exercices ont été renouvelés en bloquant parfois des issues sans les prévenir au préalable. Après trois ou quatre essais, le temps d'évacuation a généralement été divisé par deux en primaire comme en maternelle.

Pour les maternelles, des traces de pas dessinées au sol ont permis de visualiser et de mémoriser le chemin à suivre de manière ludique. Pour la phase d'apprentissage, un enseignant devançait les élèves. L'annonce soudaine et aléatoire d'un séisme au milieu des activités pédagogiques, comme pour l'apprentissage de la position de sécurité, a été réitérée à plusieurs reprises afin que les enfants assimilent la procédure d'évacuation dans son intégralité et de manière autonome, de la mise en sécurité du corps à l'évacuation en lieu sûr.

Cet exercice a par la suite été mené à l'initiative des enseignants avec le groupe des enfants âgés de 2 ans et demi. Deux enseignants ouvraient et fermaient la marche lors des premiers exercices, jusqu'à ce que les enfants soient capables de répéter la procédure sans la présence d'adultes.

7.4 Conception d'un kit pédagogique pour valoriser les activités menées

À partir des activités conçues et expérimentées en classe, un kit pédagogique a été conçu à l'usage des écoles dans le but de permettre à toute équipe pédagogique d'obtenir les

informations nécessaires à la connaissance du phénomène, des règles de sécurité et des moyens de sécuriser un bâtiment. Une part importante de ce kit est destinée à la transmission des méthodes d'enseignement et des outils pédagogiques décrits plus haut, pour enseigner ces connaissances aux élèves, développer leurs réflexes et accroître leur autonomie en situation de crise. Ce kit pédagogique contient trois éléments : un jeu de fiches thématiques, un DVD et un dépliant informatif.

7.4.1 Le jeu de fiches thématiques

Le jeu de 16 fiches thématiques est destiné aux équipes pédagogiques. Il aborde trois thèmes :

- « connaître » (cinq fiches) : connaissances générales sur les séismes, règles de sécurité et procédures d'évacuation ;
- « aménager » (deux fiches) : sécurisation des salles et mise en place d'un plan de sécurité au sein de l'école ;
- « transmettre » (huit fiches) : transmission des connaissances aux élèves, selon les âges (activités pédagogiques et ludiques adaptées à des enfants de 3 à 12 ans).

Une dernière fiche recense les questions fréquentes concernant des cas spéciaux (enfants handicapés, cas de l'enfant aux toilettes lors du séisme...) et propose une bibliographie.

7.4.2 Le DVD

Le DVD est destiné aux enfants et aux enseignants. Il contient :

- un film de sensibilisation destiné aux maternelles et premiers niveaux de primaire. De courte durée (5 minutes), il apporte de manière ludique, les notions essentielles de sécurité et complète les activités proposées. Il met en scène une peluche et deux enfants qui lui enseignent les mesures de sécurité. À l'aide d'un vocabulaire adapté aux plus petits et d'une reformulation systématique des informations par la peluche, il permet une assimilation rapide des consignes essentielles.
- un film informatif plus approfondi et composé d'animations destiné aux élèves de primaire. Il délivre les connaissances essentielles sur le phénomène physique, les règles de sécurité de base et les moyens de s'organiser pour réduire le risque.
- un documentaire de 25 minutes sur notre action en classe destiné aux enseignants d'école maternelle et primaire. Il offre un exemple visuel des activités à mener avec les élèves, proposées dans la partie « transmettre » du kit pédagogique.

7.4.3 Le dépliant

Le dépliant est destiné aux parents d'élèves. Il délivre les règles de sécurité de base, décrit la position de sécurité et explique comment sécuriser sa maison (dessin au verso du dépliant). Il invite à effectuer des exercices d'évacuation au sein du foyer afin que tous les membres de la famille soient prêts à réagir correctement et de manière autonome. L'idée est de passer par l'école pour diffuser l'information à toute la communauté : un dépliant par enfant permet de toucher une part importante de la communauté par les réseaux familiaux et de voisinage. L'enfant n'est pas le porteur du message mais un vecteur de communication.

Discussion et conclusion

La méthodologie développée et décrite ci-dessus présente des avantages comme certaines limites qu'il convient de souligner. Si les activités menées à Java Centre s'appliquent plus particulièrement aux aléas sismiques, le canevas proposé peut être utilisé pour tout autre phénomène naturel, technologique et domestique. Ce canevas d'action s'appuie sur quatre étapes fondamentales et reproductibles :

1. un bilan des connaissances des aléas et de la perception du risque ;
2. une identification des dangers et une mise en sécurité de l'environnement immédiat ;
3. un apprentissage des réflexes de mise en sécurité ;
4. des exercices de simulation et d'entraînement qui doivent être répétés dans le temps.

La démarche ascendante de l'étape expérimentale, par la collaboration des enseignants et de leurs élèves, peut par ailleurs être appliquée à tous les niveaux scolaires de la maternelle à l'université et déclinée pour tous types de menaces. Elle permet d'adapter les outils pédagogiques aux particularités socioculturelles propres à chaque contexte à travers les pays comme au sein d'un même pays. Elle laisse également l'opportunité d'intégrer d'autres outils spécifiquement dédiés aux enfants (Petal, 2007).

Bien qu'une plaquette soit prévue à destination des parents, le public visé est justement restreint aux enfants et il est difficile de mesurer la véritable efficacité de la formation en dehors du milieu scolaire. Même si les principes de protection sont acquis par les enfants, les parents et l'entourage peuvent dans certaines circonstances influencer leur comportement. Les adultes ont d'ailleurs un rôle prépondérant à jouer avant et après les séismes en sécurisant leur habitation ou en empêchant par exemple les enfants d'approcher de bâtiments fragilisés. Il est par ailleurs évident qu'ils devraient bénéficier d'une information suffisamment consistante pour eux-mêmes pouvoir adopter les bons réflexes lorsqu'un séisme survient. Il faudrait donc associer à la formation des enfants des projets destinés aux adultes, et plus généralement aux individus influents de la communauté. En parallèle la diffusion des messages à destination des enfants ne doit pas se restreindre au monde scolaire mais doit être intégrée dans tous les aspects de leur éducation (famille, médias, communautés...).

Afin de délivrer un message adapté et garantir l'appropriation des informations par les bénéficiaires de tels projets, il convient de prendre en compte leur perception du risque (Gaillard & Dibben, 2008) et le contexte quotidien dans lequel ils vivent. Parmi les particularités socioculturelles locales intégrées figurent les tabous et préjugés de la société javanaise et les interactions entre individus au sein des structures sociale, scolaire et familiale. Les outils proposés ne sont donc applicables à n'importe quel autre territoire qu'au prix d'une analyse fine du contexte. Ils ne font que proposer une méthode pour mettre en place un plan de secours dans chaque établissement. Sa réalisation dépend entièrement de l'appropriation du projet par le personnel éducatif, de son investissement, et de sa pleine conscience des vulnérabilités et capacités au sein de chaque école. La formation des enseignants ainsi que l'amélioration de leurs conditions de travail est en ce sens au cœur des enjeux pour une meilleure diffusion des comportements à adopter en

cas de séisme et plus généralement en cas d'aléa naturel. Si cette manière ascendante de procéder est gage de qualité dans un projet de réduction des risques, elle peut présenter l'inconvénient d'une « reproductibilité » limitée faute de volontés et de moyens au sein des communautés et du corps éducatif.

Les perspectives d'action sur la base du projet mené à Java Centre sont pourtant multiples. Le kit pédagogique ayant été réalisé en indonésien et distribué à divers organismes chargés de programmes de réduction des risques, des discussions ont été engagées sur les modalités d'utilisation et sur la perspective de mener des actions de préparation en suivant cette méthodologie dans des régions où le risque est particulièrement élevé : Jakarta, Padang à Sumatra, ou encore Maumere à Flores. Au-delà de telles activités à l'échelle locale, il est désormais essentiel de généraliser ce type d'actions aux échelles nationales en institutionnalisant la participation des enfants à la réduction des risques. Le rôle des états est ainsi fondamental afin de favoriser un transfert horizontal de bonnes pratiques désormais reconnues à l'échelle internationale (Wisner, 2006 ; Mitchell *et al.*, 2009). Dans ces conditions seulement, il sera possible d'espérer une réduction notable du nombre d'enfants victimes de catastrophes associées à des phénomènes naturels. Alors qu'en 2007 le projet Planet Risk était novateur, les auteurs ont justement constaté depuis un véritable intérêt des O.N.G. et du gouvernement indonésien pour la prévention des risques naturels en milieu scolaire. Des exercices de simulation sont de plus en plus réalisés et nombre de documents et reportages télévisés adaptés aux enfants sont désormais largement diffusés.

Cet article fournit un canevas utile aux chercheurs comme aux opérationnels désireux d'œuvrer à la réduction des risques par le biais de l'éducation. Bien qu'il soit plus descriptif qu'analytique, ce type de publication gagnerait selon nous à être multiplié afin de constituer une base de données des activités de recherche-action menées partout dans le monde dans le domaine de la réduction des risques. Elle nourrirait des partages d'expérience de nature à favoriser l'émergence d'une sensibilisation aux risques réellement optimisée.

Bibliographie

- ANDERSON W. A., « Bringing Children into Focus on the Social Science Disaster Research Agenda », *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, vol. 23, n° 3, 2005, p. 159-175.
- CENTRE DE RECHERCHE SUR L'ÉPIDÉMIOLOGIE DES DÉSASTRES, *EM-DAT : the OFDA/CRED International Disaster Database*, Université catholique de Louvain, Bruxelles, www.cred.be/emdat ; consulté le 24 mai 2010, 2008.
- DELICA Z. G., « Balancing Vulnerability and Capacity : Women and Children in the Philippines », collectif sous la direction de ENARSON E. & MORROW B. H., *The Gendered Terrain of Disaste : Through Women's Eyes*, Praeger, Westport, 1998, p. 110-113.
- ELNASHAI A. S., KIM S. J., YUN G. J., SIDARTA D., *The Yogyakarta earthquake of May 27, 2006*, Mid-America

Earthquake Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2007.

GAILLARD J.-C. & DIBBEN C. J. L., « *Volcanic Risk Perception and Beyond* », *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, vol. 172, n° 3-4, 2008, p. 163-169.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION, *Building the Resilience of Nations and Communities to Disaster: an Introduction to the Hyogo Framework for Action*, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Genève, 2005.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION, *Towards a Culture of Prevention : Disaster Risk Reduction Begins at School Good Practices and Lessons Learned*, International Strategy for Disaster Reduction, Genève, 2007.

MERCY MALAYSIA, ASIAN DISASTER REDUCTION AND RESPONSE NETWORK, ASIAN DISASTER REDUCTION CENTER, *Tsunami: pengajaran dari kisah kejadian di jepang « Inamura no hi »*, Mercy Malaysia, Ampang, 2005.

MITCHELL T., TANNER T. & HAYNES K., *Children as Agents of Change for Disaster Risk Reduction: Lessons from El Salvador and the Philippines*, Institute of Development Studies, Brighton, 2009.

NO STRING, *Tales of Disasters*, IDEP Foundation, Ubud, 2007.

OCHA, *OCHA Situation Report No. 14: Indonesia — Earthquake and Mt Merapi Volcano*, OCHA, Genève, 2006.

PETAL M., « Disaster Risk Reduction Education Material Development, Organization, and Evaluation », *Regional Development Dialogue*, vol. 28, n° 2, 2007, p. 1-20.

UNICEF, *Séisme en Indonésie : l'enseignement, l'eau et l'assainissement, priorités de l'UNICEF pour ses opérations de secours*, UNICEF, Genève, www.unicef.org/french/infobycountry/indonesia_34234.html — consulté le 24 mai 2010, 2007.

WISNER B., *Let's Our Children Teach Us ! A Review of the Role of Education and Knowledge in Disaster Risk Reduction*, United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Genève, 2006.

WORLD VISION & PLAN, *Children on the Frontline : Children and Young People in Disaster Risk Reduction*, World Vision/Plan, Monrovia/Londres, 2009.

8 Sensibiliser aux risques littoraux : le cas du musée de Palavas-Les-Flots

Martine AMBERT

Département de géographie, U.M.R. GRED,
université Montpellier 3, Route de Mende, 34199 –
Montpellier Cedex 5.
m.p.ambert@wanadoo.fr

Résumé. — Dans le nouveau musée Jean-Aristide Rudel de Palavas-Les-Flots, un espace bien défini a été octroyé à la géomorphologie dans le but d'expliquer la mise en place du littoral, son fonctionnement et ses problèmes actuels. Dans cette exposition, les menaces qui pèsent sur les littoraux, et plus particulièrement sur les plages, sont abordées et intégrées dans leur fonctionnement naturel et anthropique depuis leur création lors de la transgression flandrienne. Elle insiste sur les interrelations des différentes composantes et sur les interactions homme-milieu, génératrices de modifications et de risques littoraux. Cette approche culturelle, plus large que l'information et la sensibilisation habituellement pratiquées à l'égard des risques naturels majeurs, est un complément qui contribue à sa manière à la culture de l'environnement et des risques qui fait si souvent défaut en France. Dans les deux cas, les publics visés ne sont pas les mêmes pas plus que leur condition de réception des messages.

Mots-clés. — Exposition, approche culturelle, risques littoraux.

Title. — *An Example of Cultural Public Awareness Applied to Coastal Hazard: the Museum of Palvas-les-flots*
Abstract. — *The goal of the well-defined area devoted to geomorphology in Palavas's new Jean-Aristide Rudel museum is to explain the creation of the coastline, how this takes place, and current issues surrounding the shoreline. In this exhibit, the dangers that weigh upon coastal regions, especially on beaches, are discussed and integrated into the bigger picture of how such risks have functioned naturally and on an anthropogenic level ever since the creation of these beaches at the time of the Flandrian transgression. The exhibit underlines the interrelationship of the system's different constituent parts and of human-environment interactions which generate modifications and coastal risks. This cultural approach, more broadly based than the informative and public awareness campaigns typically set up around major natural disaster risks, complements and contributes in its own way to the environment and risk management culture which is so often lacking in France. In both cases, the target audiences are not the same, nor are the conditions under which these messages will be received.*
Keywords. — *Exhibit, Cultural Approach, Coastal Hazard.*

Introduction

L'objectif de cette communication est de porter à la connaissance un type singulier et peu fréquent d'information et de sensibilisation aux risques naturels littoraux. Elle prend appui sur une exposition, mise en place récemment dans le musée du Patrimoine Jean-Aristide Rudel à Palavas-Les-Flots (Hérault) où un espace bien défini a été octroyé à la géomorphologie dans le but d'expliquer la mise en place du littoral, son fonctionnement et ses problèmes actuels.

L'exposition n'a pas été conçue pour sensibiliser uniquement aux risques littoraux, la demande étant plus large, visant la découverte du cadre naturel de Palavas, de sa géographie à cheval sur lido et étang. Néanmoins elle contribue à sa manière à la culture de l'environnement et des risques qui fait si souvent défaut en France. Les menaces qui pèsent sur les littoraux, et plus particulièrement sur les plages, sont en effet abordées et intégrées dans le fonctionnement global de ces espaces, aussi bien naturel depuis leur création lors de la transgression flandrienne, que modifié par l'homme. Certes dans la problématique des risques *stricto sensu*, la phase initiale des littoraux est lointaine, bien antérieure à l'apparition des risques littoraux. L'exposé va s'attacher à montrer l'intérêt d'une telle démarche qui accorde au temps long toute sa place. Sans connaissance du fonctionnement naturel dans toutes ses dimensions comment comprendre la situation actuelle ?

Après une présentation de la conception générale de l'exposition, la sensibilisation aux risques sera analysée en deuxième partie de l'exposé. Les caractéristiques de cette sensibilisation culturelle et son intérêt, en complément des autres moyens mis en œuvre, peuvent alors être mis en évidence.

8.1 La conception générale de l'exposition

8.1.1 Les messages à transmettre

Les idées directrices qu'il s'agit de faire percevoir au visiteur et autour desquelles textes et illustrations s'articulent, concernent :

- la jeunesse du littoral,
- sa mobilité : la rapidité d'évolution est sensible à l'échelle humaine,
- sa fragilité,
- le rôle de l'homme dans la dynamique et la fragilité puisqu' « à la côte la nature réagit plus vite qu'ailleurs aux interventions humaines » (Miossec A. 1993),

— enfin l'originalité du linéaire côtier palavasien qui est double. Palavas-Les-Flots est en effet situé à l'embouchure du Lez canalisé et son territoire jouxte le premier cordon (ou cordon initial) qui affleure à Maguelone. C'est aussi un véritable lieu de mémoire technique et scientifique pour la découverte de la direction de la dérive littorale dans cette partie du golfe d'Aigues-Mortes.

Le but est de permettre au visiteur de s'approprier l'espace palavasien dans toute sa complexité et ses interrelations. À titre d'exemple parmi les plus évidents, en fixant les graus on a assaini la situation des étangs mais on a bloqué la dérive littorale.

8.1.2 Comment a-t-on transposé ces objectifs ?

D'une part l'échelle spatiale est double. Loin de réduire le propos au territoire communal, l'exposition intègre au contraire ce dernier à l'échelle de la cellule sédimentaire. Plus globalement, s'agissant d'un travail de médiation, c'est l'espace vécu des contemporains c'est-à-dire l'échelle du golfe d'Aigues-Mortes qui est pris en compte pour passer de la sorte du local au général.

D'autre part, l'accent a été mis plus particulièrement sur la dimension temporelle, singulière dans l'histoire des paysages littoraux, alliant jeunesse et mobilité.

Ainsi quatre panneaux sur six, positionnés en ouverture de l'exposition, sont consacrés à la chronologie, autour de quatre situations clés : 25000 B.P., 6500 B.P., le XVIII^e siècle, et *aujourd'hui*. Chaque étape est rendue explicite par une carte de grand format consacrée à un seul message. Le principe de médiation repose sur la force du visuel, le pouvoir des cartes simplifiées et des illustrations. Les cartes, exposées côte à côte, s'éclairent mutuellement. Leur échelle variée permet une approche locale ou plus large (figure 1).



Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'exposition.

Les deux autres panneaux sont thématiques, dévolus aux deux milieux clés : côte sableuse et étangs. Ils sont alors envisagés de manière géographique, globale, pour reprendre les fonctionnements et les processus à l'œuvre dans leur continuité et les restituer sur le long terme, permettant la synthèse.

8.1.3 Pourquoi ce choix de mise en scène du paysage littoral en quatre actes ?

L'expérience montre que le grand public, dans sa majorité, même si ce terme rassemble une grande variété de perception et d'attentes, semble très mal maîtriser la chronologie des événements (Pralong, 2003) et les quatre dimensions qu'implique le raisonnement géomorphologique.

Ainsi, lorsqu'on évoque la mise en place du premier cordon littoral, point de départ de nos littoraux, il y a 6 500 ans, nécessairement on cite la transgression flandrienne comme première source d'alimentation. Mais le dire ne suffit pas à faire comprendre le phénomène, quand bien même on dispose d'éléments tangibles, nombreux sur nos plages, comme les grès de Carnon, arrachés par la transgression à d'anciens cordons sis par 8 à 10 mètres de fond (Ambert M. 2004). Il nous a semblé nécessaire de montrer par une carte l'ampleur de la surface qui sera balayée par ladite transgression (une soixantaine de kilomètres au large de Palavas) ce qui rend compte de l'abondance du premier cordon, jamais égalée depuis. Ce thème de la pénurie sédimentaire très précoce est un facteur essentiel de la dynamique des littoraux. Si pendant longtemps il fut peu mis en exergue parmi la pluralité des facteurs à l'œuvre, il vient d'être réaffirmé à l'occasion de l'hommage à Roland Paskoff (Ambert & Duvat 2010). Il importe de sensibiliser le grand public à ce thème d'actualité qui renforce la gravité des problèmes littoraux. Le deuxième intérêt de cette cartographie du maximum de la régression würmienne est d'expliquer la localisation des gisements de sables destinés à recharger dans le futur les plages languedociennes. Les sondages exploratoires ont été réalisés au large, par – 100 mètres de profondeur, en limite du domaine. Ainsi, les nouvelles solutions proposées pour pallier aux risques littoraux s'éclairent-elles par ce lointain passé.

Le choix de faire un arrêt sur le XVIII^e siècle s'imposait lui en raison de la carte de Cassini, la première fiable au plan géométrique. L'intérêt de la coupure est de témoigner de l'avancée du Canal des Étangs dans ce secteur. Le chantier en cours s'arrête alors au niveau de Pérols, à quelques centaines de mètres à l'Est du futur Palavas. Ceci permet de rappeler que ce canal a été créé pour suppléer à la navigation lagunaire, jusque là prépondérante, mais rendue difficile par le colmatage qui apparaît de la sorte comme un véritable aléa. La carte de Cassini illustre aussi à merveille le territoire du vide cher à Alain Corbin (1990). Le visiteur est invité à l'observer: *Voyez la carte : le littoral est désert. À peine quelques « cabanes » sur le cordon mais côté étang...* On attire aussi son attention sur l'ampleur du lido et ses dunes, qui sont confirmées encore à Palavas, au milieu du XIX^e siècle par un tableau de Bonnaventure Laurens. Toute cette documentation complémentaire est ainsi mise à profit pour éclairer le sujet et l'illustrer. Des cartes plus locales, issues des Archives départementales ou nationales, complètent la démonstration : l'emprise humaine franchit à cette période un pas significatif dans la maîtrise du milieu lagunaire par l'intermédiaire de ces divers canaux (Canal des Étangs et chenalisation du Lez). Le but est de montrer qu'il y a, à cette époque, une inversion de l'appropriation des deux milieux, lagunaire et côtier, par rapport à la situation actuelle. De ce fait, il n'y a pas de risque littoral au sens actuel du terme puisqu'il n'y a pas d'enjeu humain face à la mobilité du trait de côte. Ces risques apparaissent

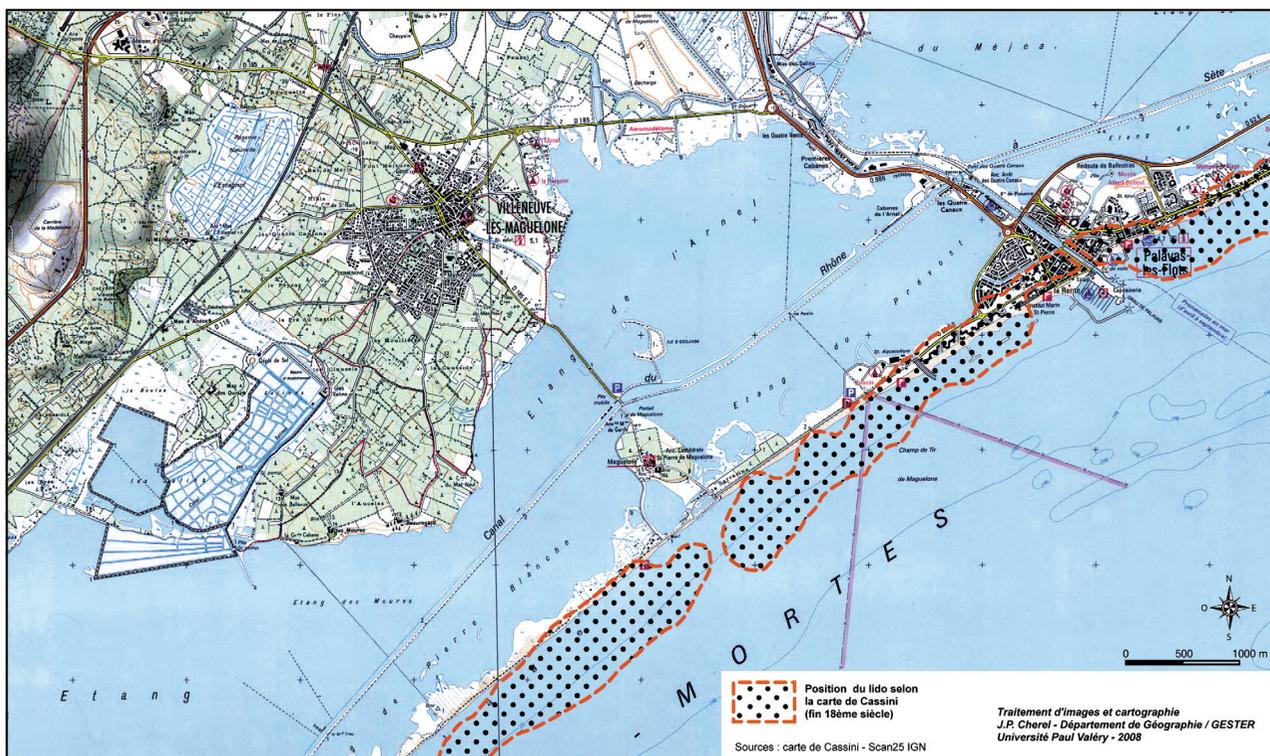


Fig. 3. — Évolution du trait de côte du secteur Maguelone-Palavas depuis Cassini, extrait du panneau 4.

les limites connues en mentionnant qu' « il ne s'agit que d'estimations qu'il faudra sans doute réviser ». Quant à la multiplication des tempêtes, si souvent invoquée, elle est présentée comme n'étant pas à ce jour clairement démontrée. Il m'a semblé qu'il fallait dire ce fait, eu égard à certaines prises de position abusives que le visiteur lambda aura eu l'occasion de lire ou d'entendre. Il faut à tout prix éviter dans la sensibilisation de rajouter un problème incertain, la situation actuelle globale étant suffisamment anxiogène avec la multiplication des crises en tout genre. La sensibilisation proposée vise à être réaliste, au plus près du savoir partagé.

Le panneau conclut sur la nécessaire adaptation face à cette conjonction de facteurs défavorables aux plages. Le dernier paragraphe indique clairement que « *Recul ne signifie pas disparition mais recomposition sur une ligne plus en retrait. Il n'y a problème que parce que l'homme s'est trop approché des côtes... La maîtrise de la nature qui fut longtemps le crédo de l'humanité occidentale se révèle aujourd'hui illusoire techniquement et financièrement. Une nouvelle philosophie s'impose.* »

8.3 Caractéristiques et intérêt de l'approche culturelle

L'approche culturelle, telle qu'elle a été traitée dans cette exposition, est une approche globale qui vise à montrer la complexité des phénomènes à l'œuvre sur le long terme, la gravité du problème et la nécessaire adaptation au vu des solutions coûteuses.

Ce type d'approche permet d'éviter une présentation segmentée des risques comme on a pu le constater lors

du récent sommet de Copenhague. S'en tenir à l'évocation des risques naturels majeurs sur les littoraux consisterait à privilégier l'élévation du niveau marin ou la recrudescence des tempêtes. Or ces deux éléments ne sont pas, loin s'en faut, les facteurs fondamentaux du recul des plages, au moins pour le premier.

En termes de public touché par la sensibilisation émanant d'une telle exposition sise dans un musée, il diffère de celui habituellement informé par la voie réglementaire. Les visiteurs du musée ne sont pas forcément concernés directement par ces problèmes, à moins d'être eux mêmes propriétaires en bord de mer. Leur état d'esprit est plus réceptif. Et compte tenu de l'attachement des contemporains au littoral on peut espérer que les messages reçus ici seront colportés ailleurs. Donc l'approche culturelle permet une diffusion plus large, à la fois en terme sociologique et géographique. Elle contribue par cette imprégnation des esprits à la culture des risques, culture qui fait défaut en France et qui est appelée par les instances comme Le Grenelle de la mer ou la Mission Littoral.

Examiné par rapport aux autres médias d'information destinés à un large public, l'exposition est un moyen plus durable. Ainsi, durant l'hiver 2007-2008 qui a porté le littoral languedocien au cœur de l'actualité avec le rechargement massif des plages du golfe d'Aigues-Mortes, la presse a publié à plusieurs reprises des interviews et articles. Comparée à ces extraits, présentés lors de la communication orale, une exposition est plus complète (plus documentée, plus argumentée, plus objective aussi) et son impact plus durable dans la mesure où il s'agit d'une exposition permanente. Reste à développer encore cet aspect afin que les personnes intéressées puissent s'approprier le contenu de l'exposition au-delà du temps

d'une visite. Pour ce faire, un livret, sorte de catalogue d'exposition enrichi est en cours d'étude.

Conclusion

Le littoral auquel nos contemporains sont si attachés, constitue un patrimoine naturel par excellence, car c'est à l'attachement collectif qu'on reconnaît un patrimoine. Ce patrimoine est en recul, donc en péril malgré les nombreuses interventions pour le « conserver » et il est source de risques pour les populations riveraines. Face au problème persistant et insoluble, si ce n'est techniquement au moins économiquement, que reste-t-il comme moyen d'action si ce n'est le partage du savoir ? L'approche proposée qui vise à vulgariser et à valoriser le patrimoine géologique et géomorphologique (Ambert M. 2009) rejoint toutes les réflexions autour du « patrimoine-environnement » (Davallon *et al.*, 1992) et du patrimoine géologique, encore insuffisamment partagés (Billet 2002). Notre contribution au musée de Palavas-les-Flots s'inscrit aussi dans la logique de la Mission Littoral qui, dans une récente étude consacrée à « la valorisation touristique du patrimoine littoral du Languedoc-Roussillon » à laquelle nous avons collaboré, avait préconisé ce type d'actions (Valque-Pirou 2006).

L'exposition vise à donner du sens aux éléments familiers des littoraux en insistant sur les interrelations des différentes composantes (plage et dune) et sur les interactions homme-milieu, génératrices de modifications et de risques littoraux. Sensibiliser les contemporains sur les moyens mis successivement en œuvre pour « protéger » cet espace littoral, si cher à notre société contemporaine, devrait conduire à terme à faire mieux accepter les choix futurs induits par l'urgence des problèmes littoraux. Le partage des connaissances devient ainsi un enjeu majeur. Le récent Grenelle de la mer a confirmé ce besoin en même temps qu'il a fait ressortir sur le plan général le manque actuel de vulgarisation. L'expérience palavasiennne fait encore à ce jour figure d'exception comme l'ont révélé les réactions des membres de la Commission du Patrimoine géomorphologique dans sa récente visite en terre languedocienne en juin 2011.

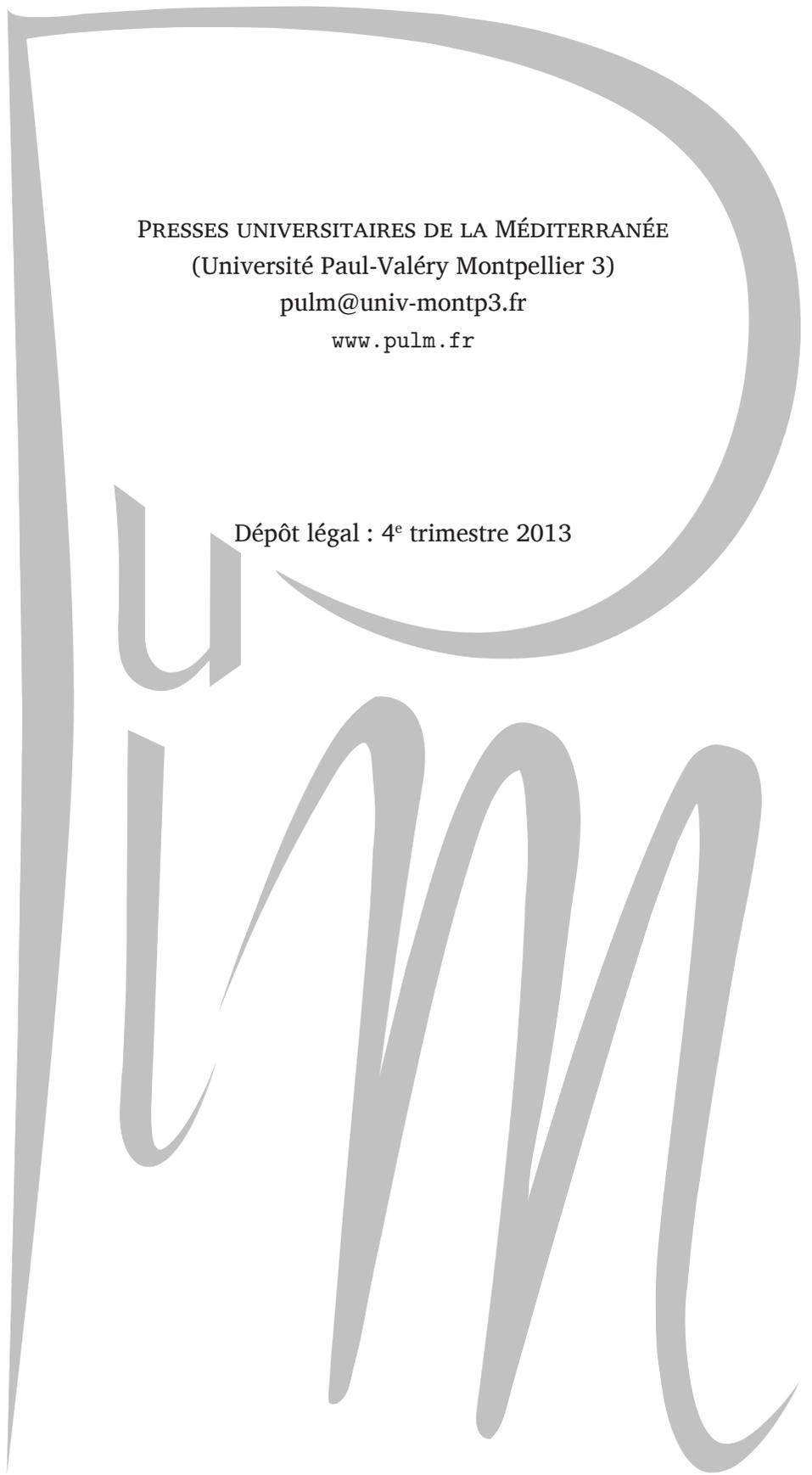
Bibliographie

- AMBERT M. (dir), *Hérault miroir de la Terre*, coéditions BRGM-Presses du Languedoc, 2004, 160 p.
- AMBERT M., « L'île de Maguelone : environnement et contraintes à l'époque médiévale », in *L'évêché de Maguelone au Moyen-Âge*, Actes de la journée d'études du 13 décembre 2001; *Monspeliensa Medievalia*, 2005, p. 11-26.
- AMBERT M., « Vulgarisation et valorisation du patrimoine géologique et géomorphologique en Languedoc-Roussillon : retour d'expériences », *Bulletin de l'Association de Géographes français* n° 1, 2009, p. 82-95.
- AMBERT M., « Mise en valeur du patrimoine géomorphologique littoral : l'exemple du Musée de Palavas-les-Flots (Hérault, France) », in GIUSTI C. (éd.), *Géomorphosites 2009 : imagerie, inventaire, mise en valeur et valorisation du patrimoine géomorphologique*, Paris-Sorbonne université, Paris, 2012, p. 18-23.
- AMBERT M. & DUVAT V., *La théorie de la pénurie sédimentaire. Hommage à Roland Paskoff*, L'Harmattan, 2010, coll. « Milieux naturels et sociétés », p. 131-152.
- BILLET P., « La protection du patrimoine géologique : guide juridique », *Cahiers techniques*, n° 67, ATEN, 2002, 148 p.
- CORBIN A., *Le territoire du vide : l'Occident et le désir de rivage 1750-1840*, Champs-Flammarion, Paris, 1990.
- DAVALLON J., GRANDMONT G. & SHIELE B., *L'Environnement entre au Musée*, PUL et Musée de la Civilisation de Québec, coll. « Muséologies », 1992, 206 p.
- MIOSSEC A., *La gestion de la nature littorale en France Atlantique*, thèse doctorat d'État, université de Bretagne occidentale, 1993, 469 p.
- PRALONG J.-P., « Valorisation et vulgarisation des sciences de la Terre : les concepts de temps et d'espace et leur application à la randonnée pédestre », *Géomorphologie et tourisme*, Actes de la réunion annuelle de la Société suisse de Géomorphologie, Finhaut, 21-23 septembre 2001, Lausanne, Institut de Géographie, *Travaux et Recherches* n° 24, 2003, p. 115-127.
- VALQUE-PIRIOU S., *La valorisation touristique du patrimoine littoral du Languedoc-Roussillon*, Mission Littoral et Drac L.-R., 2006, 90 p.

Collection « Géorisques »

TITRES DÉJÀ PARUS
DANS LA MÊME COLLECTION

- *Le littoral : caractérisation et gestion d'un espace à risques*, F. LEONE & F. VINET, 2012.
- *Quelles archives aujourd'hui pour mieux gérer les risques demain ? Approches géographiques et historiques*, N. MESCHINET DE RICHEMOND, 2010.
- *La mise en carte des risques naturels — Diversité des approches*, F. LEONE & F. VINET, 2008.
- *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles — Analyses géographiques*, F. LEONE & F. VINET, 2006.



PRESSES UNIVERSITAIRES DE LA MÉDITERRANÉE
(Université Paul-Valéry Montpellier 3)
pulm@univ-montp3.fr
www.pulm.fr

Dépôt légal : 4^e trimestre 2013