Retours d'expériences post-catastrophes naturelles

Tony Rey, Stéphanie Defossez

▶ **To cite this version:**

Tony Rey, Stéphanie Defossez (Dir.). Retours d'expériences post-catastrophes naturelles. Presses universitaires de la Méditerranée, 2019, Géorisques, Frédéric Leone; Freddy Vinet, 978-2-36781-327-1. hal-03135646

HAL Id: hal-03135646
https://hal.science/hal-03135646

Submitted on 9 Feb 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.

Retours d'expériences post-catastrophes naturelles

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.

Retours d'expériences post-catastrophes naturelles

Sous la direction de Tony Rey & Stéphanie Defossez
(université Paul-Valéry Montpellier 3)

« GÉORISQUES » nº 8
Collection de l'U.M.R. GRED
(université Paul-Valéry Montpellier 3)

Illustration de couverture : Photomontage, PULM, 2019. Port Vila (Vanuatu) ; Baie orientale après le passage de l'ouragan Irma (2017) à Saint-Martin, la montagne Pelée et la Dominique.

Mots-clés : catastrophes, culture du risque, résilience, RETEX, risques.

Tous droits réservés, PULM, 2019.

ISBN 978-2-36781-327-1

Sommaire

Éditorial : Les RETours d'EXpériences (RETEX) post-catastrophes
Tony Rey & Stéphanie Defossez 9

1 *La culture du risque, au service de la réduction du risque inondation : diagnostic et évaluation sur le bassin français de la Meuse*
Sabrina Bier. 11

2 *Les RETEX dans l'histoire : une pratique ancienne dans la gestion des risques*
Jérémy Desarthe. 19

3 *The Use of Citizen Information in Post-event Analysis of Flash Floods in Catalonia*
Montserrat Llasat-Botija, Maria Cortès, Maria Carmen Llasat. 31

4 *La cartographie des zones inondables : de l'événement prévu à l'événement réel. Retour d'expérience sur les inondations à Lamalou-les-Bains (sept. 2014)*
Freddy Vinet, Stéphanie Defossez, Johnny Douvinet, Jean-Philippe Cherel, Antonin Montane, Sylvain Chave 43

5 *Analyse des retours d'expérience d'inondations majeures pour la résilience des réseaux urbains*
Nathalie Pottier, Jenna Daniel, Marc Vuillet 55

6 *Les PPR en Alsace : une analyse REX pour améliorer l'acceptation et l'appropriation des procédures actuelles*
Brice Martin, Florie Giacona, Benjamin Furst, Emma Haziza, Violette Grimoin, Antonin Montane, Rüdiger Glaser, Iso Himmelsbach 65

7 *Retour d'expérience sur les inondations de fin mai-début juin 2016 sur l'agglomération orléanaise*
Rodolphe Pannier 77

Éditorial : Les RETours d'EXpériences (RETEX) post-catastrophes

Tony Rey & Stéphanie Defossez
U.M.R. GRED/Université Paul-Valéry Montpellier 3
Route de Mende, 34090 Montpellier CEDEX 5
tony.rey@univ-montp3.fr
stephanie.defossez@univ-montp3.fr

Dans une société où les catastrophes sont mises en scène, la demande en expertise est toujours plus forte pour en comprendre la genèse, le déroulement dans le temps et l'espace et les effets à court et long terme. On cherche à savoir si la catastrophe est bien naturelle, un produit du changement climatique ou bien si d'autres facteurs sont en cause tels que la mauvaise prévision, la préparation inadaptée, l'absence de communication, etc. Le RETour d'EXpérience (RETEX) peut apporter quelques éléments de réponse. Il nourrit nos connaissances autant sur les événements que sur les modes de gestion des risques et des crises (Rey *et al.*, 2018). La catastrophe devient une opportunité pour « collecter l'expérience individuelle de plusieurs acteurs et la réunir sous la forme d'une expérience collective » (Wybo, 2001 ; Legoff, 2010). À chaque événement ressortent des points positifs mais aussi des défaillances. Les leçons tirées d'une catastrophe servent par exemple à proposer des actions de prévention plus cohérentes, à se préparer à la prochaine crise et à faire face à l'exceptionnel et à l'imprévu (Bersani *et al.*, 2010). L'événement est replacé dans un système multidimensionnel de façon à intégrer les héritages (socio-économiques, politiques, religieux, environnementaux), leur dynamique et leur évolution et leurs particularités territoriales (Gaillard, 2015). Cette démarche holistique permet de s'extraire d'une vision réductrice et immédiate des répercussions de l'événement. En outre, elle aide à dépasser l'échelle locale, voire individuelle. Les RETEX ont aussi vocation à alimenter les plans de gestion globale des risques et des catastrophes naturels (Leone, 2007). Cette méthode d'analyse transversale, concrétisation technique et scientifique de l'expérience, participe à la réduction des conséquences des risques et des catastrophes naturelles.

Ce volume rassemble des articles issus de certaines communications présentées lors des 13e rencontres Géorisques en 2017. Sabrina Bier aborde les inondations dans le bassin-versant français de la Meuse sous l'angle de la culture du risque. L'auteure démontre que la culture et la conscientisation du risque réduisent les impacts des inondations. Cette approche révèle un intérêt certain notamment dans le cadre des réglementations nationales et des actions locales imposées aux citoyens. Une population informée et sensibilisée est-elle alors moins vulnérable aux effets des inondations ? Les RETEX font partie de l'histoire des catastrophes. Jérémy Desarthe aborde les risques cycloniques dans les départements français des Antilles en réalisant le RETEX des RETEX faits par les sociétés anciennes. Ce temps long lui permet de souligner le poids des RETEX anciens dans l'histoire des politiques de gestion des risques jusqu'à aujourd'hui. L'approche rétrospective et géoprospective souligne d'une part une exposition aux risques cycloniques croissante pour les antillais, et d'autre part, des trajectoires de vulnérabilité distinctes au sein des Antilles. Les citoyens ont un rôle de plus en plus important dans la transmission des informations sur les événements, témoins ou ayant vécus un événement, ils participent à une meilleure connaissance des événements et de leurs effets (chronologie, impact…). La réalisation des RETEX de trois inondations catastrophiques en Catalogne soulignent les progrès de l'information sur les événements grâce notamment aux données disponibles sur Internet et les réseaux sociaux (Llasat et al.). Les auteurs rendent compte de l'amélioration de la protection et de la sécurité de la population grâce aux progrès de la connaissance météorologique et des mesures de protection civile. Les leçons à tirer des événements sont aussi une opportunité pour confronter les documents réglementaires de type PPR aux réalités de terrain. À titre d'exemple, la cartographie des inondations de 2014 à Lamalou-les-Bains (Hérault) révèle que le PPR a sous-estimé l'emprise spatiale de l'aléa inondation pour poursuivre l'urbanisation dans des zones à risque (Vinet *et al.*). Le RETEX est ici une opportunité pour dévoiler les difficultés à appliquer des règlements nationaux à l'échelle locale. Le RETEX est aussi source d'opportunité pour relever les défaillances des réseaux techniques urbains. Dans le cadre du projet de recherche ANR RGC4, Pottier *et al.* ont analysé des RETEX étrangers pour enrichir les RETEX français. Il ressort des analyses que les facteurs de défaillance et de retour à la normale rapide des réseaux en temps de crise sont globalement connus mais sous-estimés ou oubliés en situation de crise réelle, le facteur humain étant le plus déterminant. Ce travail exploratoire a pour objectif le développement d'outils opérationnels pour améliorer la continuité d'activité des services urbains et des réseaux vitaux associés en situation de crise-inondation dans le Grand Paris. Martin et al. abordent les procédures PPR en Alsace. Les auteurs présentent un RETEX des procédures PPR de façon à identifier les raisons pour lesquelles certains PPR ont été bien acceptés, d'autres non. Au-delà des blocages et de la non acceptation, il s'agit de concevoir des outils d'information adaptés au contexte local. Pour le CEPRI, Rodolphe Pannier a réalisé le RETEX des inondations de la Loire de fin mai-début juin 2016. Au-delà de l'événement hydrométéorologique et de ses impacts, l'auteur souligne la difficile et éprouvante gestion de crise au niveau local et interroge sur les capacités collectives du territoire à faire face à un événement d'une toute autre ampleur.

Au travers ces publications, on ne peut que souligner le rôle fondamental des RETEX. Le RETEX alimente aussi les réflexions sur le « reconstruire autrement le territoire » en intégrant au mieux les risques naturels. Le RETEX nourrit la recherche scientifique et constitue un outil interactif à destination de tous les acteurs et des collectivités. « Les leçons tirées de l'événement deviennent un capital commun pour se prémunir, réduire la vulnérabilité et renforcer la résilience » (Rey, 2017).

Bibliographie

Bougere R., Trepos Y., *Tempête Xynthia, retour d'expérience, évaluation et propositions d'action*, tome 1, rapport interministériel, 2010, 191 p.

Gaillard J.-C., *People's Response to Disasters in the Philippines : Vulnerability, Capacities and Resilience*, New York, Palgrave Macmillan, 2015, 216 p.

Legoff N., « Les Comores et l'aléa cyclonique dans le contexte des changements climatiques : la vulnérabilité différenciée d'Anjouan et de Mayotte », *VertigO — la revue électronique en sciences de l'environnement,* 2010. [En ligne], vol. 10, n° 3. DOI : 10.4000/vertigo.10497.

Leone F., *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones)*, Habilitation à diriger des recherches, université Paul-Valéry Montpellier 3, 2007, 330 p.

Rey T., Le Dé L., Leone F., David G., « Leçons tirées du cyclone Pam au Vanuatu (Mélanésie) : aléas côtiers, crues éclairs et dommages », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2018, vol. 23, nº 4, p. 343-356.

Rey T., D*es paléoenvironnements aux aléas côtiers : un géomorphologue à travers les temporalités littorales,* Habilitation à diriger des recherches, université Paul-Valéry Montpellier 3, volume 1, essai inédit, 2017, 200 p.

Wybo J. L., « Risky Business — Accidents happen : good risk management is about making sure you learn from them ». *Tomorrow*, 100, 2001, p. 72-73.

1 La culture du risque, au service de la réduction du risque inondation : diagnostic et évaluation sur le bassin français de la Meuse

Sabrina Bier
Doctorante à l'université de Lorraine
10 rue Gustave Nast — 77500 CHELLES
bier.sabrina@gmail.com

Résumé. — Les inondations dans le bassin-versant français de la Meuse interpellent les acteurs des territoires, dans leur capacité à mieux les anticiper, à mieux s'y préparer et à mieux les prévenir. Dans cette perspective, cet article pose la question des modalités d'une réduction des répercussions du risque inondation grâce à la diffusion optimisée d'une culture du risque auprès des acteurs du territoire et des citoyens, concernés tant par la prévention des risques qui les touchent directement, que par l'aménagement de leur territoire. Outre la question de sa définition et des éléments qui la composent, ce concept de culture du risque pose surtout celle de sa pertinence comme outil opératoire au service d'une action publique capable de concilier voire de réguler les intérêts souvent antagoniques de l'aménagement et de la prévention des risques. Ce travail prend s'appuie sur des données originales recueillies sur le bassin mosan, produites grâce à différents questionnaires de terrain.
Mots-clés. — vulnérabilités, risque inondation, culture du risque, enquête par questionnaire.

Title. — *Risk culture in the service of flood risk reduction: diagnosis and evaluation in the French Meuse basin*
Abstract. — *The risk of flooding in the French catchment area of the Meuse, challenges those responsible in the territory, in their capacity to better anticipate flooding, to be better prepared for flooding, and to become better at the prevention of flooding. This article highlights methods for reducing the impact of flood risk through the optimised dissemination of a risk culture among water management territory actors and citizens, both by the mitigation of risks that directly affect them, and by the development of their territory. In addition to the question of its definition and presentation, this concept of risk culture poses, above all, its relevance as an operational tool in the service of a public action capable of reconciling or even regulating the often conflicting interests of development and of security. This work is based on original data on the Meuse Basin, produced by several field questionnaires.*
Keywords. — *Vulnerability, Flood Risk, Risk Culture, Questionnaire survey.*

Introduction

Le risque d'inondation est le premier risque naturel en France, tant par l'importance des dommages qu'il provoque que par l'étendue des zones inondables et des populations résidant dans ces zones. La réduction des vulnérabilités sociales liées à l'inondation est au cœur de nos recherches. Par l'approche de la culture du risque, nous cherchons à montrer qu'il est possible de réduire les impacts des inondations par le développement de ce nouveau concept.
Caractérisé par une vulnérabilité aux crues lentes de la Meuse, le bassin mosan est choisi pour mener ces travaux. Il sera question de définir les éléments qui composent la culture du risque et d'en évaluer le niveau auprès des résidents et des acteurs du territoire mosan. Pour cela, nous nous appuierons sur l'analyse statistique de résultats issus de plusieurs enquêtes par questionnaires réalisés auprès de différents acteurs du territoire, dans le but d'obtenir une évaluation globale de la prise en compte des risques sur le bassin-versant français de la Meuse, avec un diagnostic de la culture du risque. Il sera notamment question de comparer les mesures de prévention des risques déployées sur le territoire et les aménagements de protection créés pour contrer les crues, à la culture du risque diagnostiquée auprès des individus.

Problématique : la culture du risque, un concept qui se précise

Les premières définitions sont basées sur les études sociologiques : « La culture du risque correspond à une connaissance et une perception de la menace commune à un groupe » (Veyret *et al.*, 2003), « un savoir, un bagage collectif commun à tous ceux qui appartiennent à une société » (Glatron, 2003). Vont alors se distinguer plusieurs « cultures du risque » car, d'une société à l'autre, elles ne peuvent pas toutes être similaires. La variation est influencée par le contexte politique, social, religieux et leur degré d'exposition aux aléas (Glatron, 2003 ; Beck 2006). La définition proposée permet de poser une constante autour de la notion : « La culture du risque est le résultat d'une construction collective, elle repose sur des perceptions et un savoir, inné ou acquis. Ce savoir peut porter sur les risques eux-mêmes, d'une manière générale et/ou être ramené à un contexte local, mais également sur les consignes à suivre en cas de catastrophe » (Beck, 2006). En élargissant les champs de la définition, des domaines d'études variés peuvent être liés à la culture du risque. Chaque auteur

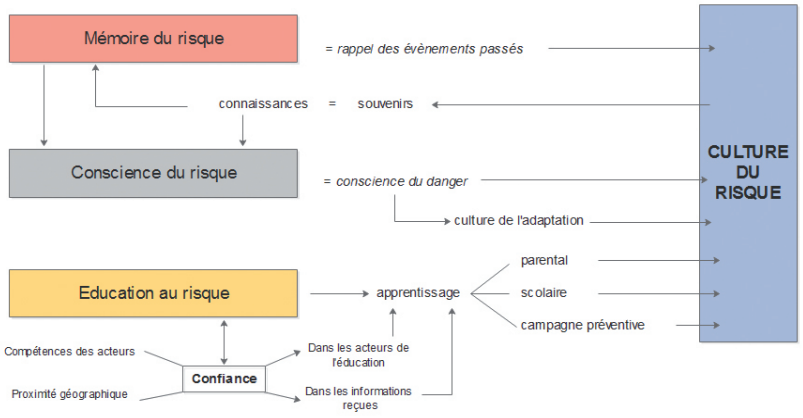


Fig. 1 — Composition de la culture du risque.

y intègre ses spécificités : culture de l'adaptation (Carrega, 2016), conscience du risque (Blesius, 2013 ; Peretti-Watel, 2010), éducation aux risques (Blesius, 2013 ; Lesquel 2010 ; Donze 2003, 2004), mémoire du risque (Blesius, 2013 ; Leblanc, 2010 ; Acerra, Suzeau, 2012 ; Labour, 2013) ou encore « vivre avec » le risque (Augendre, 2008). Autant de caractéristiques de la culture du risque qui permettent de préciser sa composition (figure 1).

En somme, nous définissons la culture du risque comme l'ensemble des solutions non-structurelles de réduction de la vulnérabilité des individus lors d'un risque naturel. Elle comprend l'ensemble des savoirs et savoir-faire relatif au domaine du risque. Les connaissances acquises et transmises par un individu ou un groupe, tout au long de sa vie et de ses expériences, conditionnent les comportements individuels face à la manifestation du risque. C'est un bagage collectif commun à s'approprier : chaque individu construit sa propre culture du risque. Elle est en continuel développement et s'enrichit à travers les trois éléments qui la composent : la mémoire du risque, la conscience du risque et l'éducation au risque.

La mémoire du risque semble constituer un élément important de la culture du risque, nécessaire à son développement. En rappelant les événements passés et les réponses adoptées, le souvenir devient une connaissance. Enrichit ensuite par l'expérience, cette dernière permet des rappels à la mémoire. Des auteurs tels que C. Labeur (2013) ou M. Acerra et T. Sauzeau (2012) montrent l'importance de la mémoire pour le partage et l'entretien des expériences vécues. Ils observent des fractures dans la transmission de ces savoirs, ce qui semble être le cas pour une partie des habitants du bassin mosan. De même, les sociétés qui entretiennent la mémoire des événements passées sont plus sensibilisées et plus réceptives aux campagnes de prévention. La préparation à une future catastrophe est alors améliorée (Beck 2006).

De plus, une mémoire active du risque permet de conserver la conscience du risque auquel chacun est exposé. Les textes réglementaires de limitation des droits d'occupation des sols, comme le Plan local d'urbanisme (PLU) ou le Plan de prévention des risques (PPR), peuvent s'avérer défaillants si la population n'a pas conscience du danger auquel elle est exposée. En effet, des citoyens peuvent chercher à contrer les règles, les transgresser et/ou faire pression sur les élus locaux pour une révision des droits du sol en leur faveur. Maintenir une conscience du risque, à travers des rappels et des événements (bulletins municipaux, concours photos, animation scolaire, etc.), permet d'intégrer des automatismes au panel des connaissances, dans le but d'apprendre le « bien réagir » face à une situation d'urgence (Blesius 2013).

L'éducation aux risques constitue le troisième élément de la culture du risque. L'apprentissage permet d'acquérir les connaissances sur le système de l'eau, du bassin-versant, la compréhension de l'information diffusée et permet à l'individu d'observer son propre niveau d'exposition au risque. L'éducation à la prévention des inondations relève d'une éducation aux risques majeurs, elle-même intégrée à la formation au développement durable. Les apprentissages à l'école permettent d'apporter les notions utiles et les progrès techniques liés à la compréhension des phénomènes, ils ouvrent la voie d'une généralisation à l'éducation au risque. Toutefois l'apprentissage ne peut se limiter au temps scolaire, l'éducation parentale joue un rôle majeur, notamment dans la mémoire des risques, transmise entre générations (Allain 2010). Puis, des campagnes d'information et des exercices de simulation permettent de fixer l'ensemble des données acquises pour que les résidents puissent les mettre en pratique et les intégrer pleinement. L'éducation aux risques permet à long terme le renforcement de la résilience (Dauphiné et Provitolo 2007), car le citoyen ne se positionne plus en victime mais cherche à appliquer ses connaissances et devenir acteur de sa sécurité.

Compte tenu de sa composition, la culture du risque devrait donc permettre une meilleure résilience des populations et des territoires face au risque d'inondation. La conscience et la culture du risque, lorsqu'elles sont intégrées par les populations, facilitent la préparation et la résilience : B. Barroca, M. DiNardo et I. Mboumoua précisaient en 2013 que « la résilience ne devrait pas se réduire à un ensemble de règles de conduites ou encore à une liste de réflexes à acquérir pour réduire sa vulnérabilité lors de la survenance des événements » ; pour améliorer les capacités de résilience globale d'une société, il est important de créer une « dynamique du risque » et de « chercher dans les pratiques, dans les positionnements, dans la compréhension des enjeux et des organisations, ce qui pourrait améliorer la gestion du risque ». La résilience pourrait ainsi se consolider dans l'évolution des pratiques d'aménagement du territoire qui intègre la gestion des risques.

Nous pouvons ainsi nous interroger sur le rapport entre ces notions : une culture du risque efficace permet-elle une meilleure gestion des risques d'inondations ? À travers une

Fig. 2 — Principaux cours d'eau du district hydrographique international de la Meuse (Commission Internationale de la Meuse 2004).

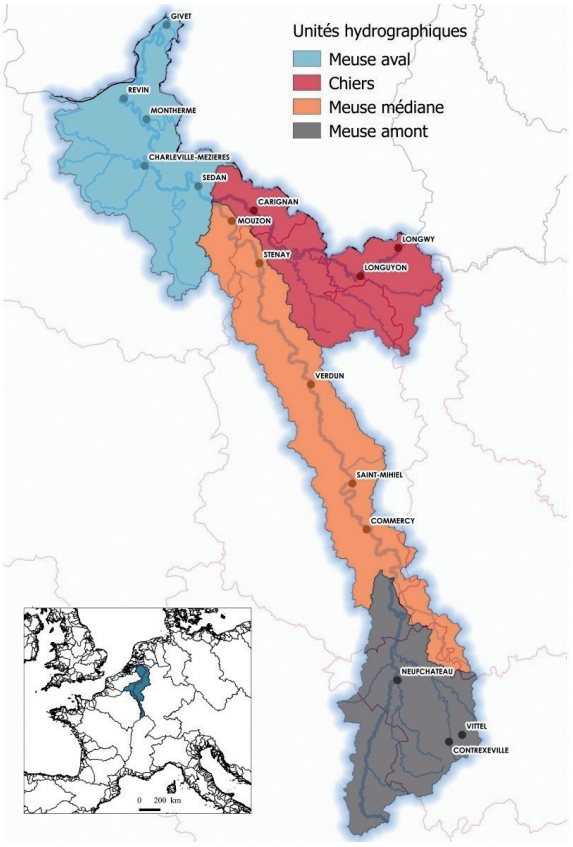


Fig. 3 — Présentation des unités hydrographiques de la Meuse et villes principales (EPAMA, 2017).

série d'enquêtes par questionnaire réalisée sur le bassin versant français de la Meuse, nous cherchons à établir un diagnostic de la culture du risque auprès des habitants et des acteurs du territoire. Nous les confronterons à la réalité terrain concernant les aménagements réalisés pour déterminer un lien possible entre réduction des risques d'inondations, culture du risque et aménagement des territoires.

1.1 Méthodologie

1.1.1 Caractéristiques de la zone d'étude : un bassin étendu et hétérogène

♦ Contexte hydrographique du bassin mosan

La Meuse est un fleuve international qui prend sa source au pied du plateau de Langres, dans le département de Haute-Marne, à 410 mètres d'altitude. Il se constitue en fleuve international, qui draine les territoires de la France, de la Belgique, de l'Allemagne, du Luxembourg et des Pays-Bas, sur un parcours total de plus de 900 km (figure 2).

Le district hydrographique international compte près de neuf millions d'habitants ; son bassin-versant est relativement étroit avec une taille de près de 36 000 km^2, dont environ un tiers se situe en France (9 000 km[1]). Le linéaire français compte 490 km (55 % du linéaire total pour 22 % du bassin-versant) marqué par de nombreux méandres de faible amplitude. Le réseau hydrographique principal (Meuse et affluents principaux) du bassin-versant regroupe un linéaire de près de 1 320 km. Le linéaire de toutes les masses d'eau de type rivières du bassin s'élève quant à lui à plus de 3 200 km. L'orientation géographique est clairement polarisée selon l'axe Nord-Sud avec 250 km de longueur à vol d'oiseau entre la source en Haute-Marne et l'exutoire français à Givet contre une largeur variant d'un maximum de 85 km, à un minimum de 10 km à l'exutoire. Notons que dans la vallée médiane de la Meuse, la largeur du bassin-versant ne dépasse que très rarement les 20 km. De par son profil allongé, le bassin touche en totalité 33 EPCI[2] inscrits dans les Schémas départementaux de coopération intercommunale (SDCI). De ces découpages découlent des méthodes de gestion et de gouvernance multiples. En effet, de nombreux acteurs agissent pour la gestion du fleuve, pour l'aménagement, pour la gestion de crise et pour chacune des composantes du territoire.

La Meuse reçoit peu d'affluents sur la partie française de son territoire. Ses principaux affluents sont le Mouzon, le Flambart, le Vair, la Saônelle et l'Aroffe en tête de bassin, la Chiers et ses tributaires dans la partie aval, et aux environs de Charleville-Mézières la Meuse reçoit la Bar, la Vence et la Sormonne, puis la Semoy, le Virion et la Houille dans la partie du massif Ardennais. Son débit moyen à l'embouchure

1. 13 950 km^2 en Belgique et 11 650 km^2 aux Pays-Bas (d'après le PGRI Rhin-Meuse 2015).

2. Établissement public de coopération intercommunale.

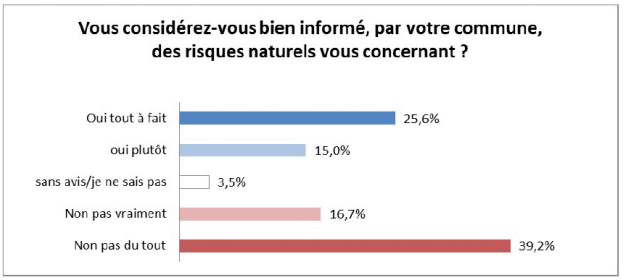
est de 330 m³/s, alors qu'il est déjà de 150 m³/s à la frontière franco-belge. La Meuse compte parmi les dernières rivières sauvages du bassin Rhin-Meuse. Du fait de la disponibilité des données, la partie du fleuve qui est mise à l'étude dans ces travaux, est la partie française hors Sambre. Une subdivision en unités hydrographiques est utilisée pour distinguer les quatre secteurs du bassin : amont, Chiers (du nom de son affluent), médiane et aval (figure 3).

♦ Vulnérabilité liée aux crues sur l'ensemble du bassin

Le profil hydrographique du bassin mosan est propice à des crues régulières. Toutefois, la vulnérabilité semble s'être accrue ces dernières décennies du fait de l'évolution des pratiques agricoles et du développement de l'urbanisation (DREAL Grand Est, 2016). De nombreuses zones humides qui permettaient d'écrêter les crues, de stocker les trop-pleins d'eau et de réguler le débit des fleuves ont été asséchées. De plus, globalement, les surfaces drainées ont augmenté (35 % entre 1988 et 2000 par exemple). Le risque d'inondation dans les parties médianes et inférieures des plaines alluviales se caractérise par une montée lente des eaux et d'importantes surfaces immergées. En tête de bassin, les montées sont plus rapides mais les territoires concernés sont moins étendus.

Le bassin mosan a été soumis à des inondations dévastatrices à de nombreuses reprises (tableau 1). Les dernières crues les plus fortes se sont produites dans les Ardennes en janvier 1991, décembre 1993 et surtout janvier 1995 ; dans la Meuse et les Vosges en décembre 1947, avril et mai 1983, janvier 1995, mars 1999, décembre 2001 et octobre 2006 ; sur la Chiers en janvier 1995. Dans le cadre de l'Évaluation préliminaire des risques d'inondation (EPRI) réalisé sur le bassin pour la Directive inondation, des événements historiques de référence ont été recensés et étudiés dans le but d'illustrer les principales inondations survenues dans le passé sur le district Meuse.

Tabl. 1 — Événements historiques retenus et dommages connus (l'EPRI District Meuse 2011)



En dehors de ces événements retenus pour l'EPRI, la population mosane doit régulièrement faire face à des crues importantes : en 2011 en Meuse médiane, 2015 en Meuse amont, 2016 en Meuse amont et médiane. De plus, certaines communes sont habituées à vivre avec des crues de saisons engendrant chaque année des inondations plus ou moins importantes.

♦ Diagnostic théorique préalable de culture du risque sur le bassin mosan

Un diagnostic préalable aux enquêtes a permis de distinguer des tendances différentes selon les secteurs du bassin. Plusieurs échelons de culture du risque se distinguent (tableau 2). La partie amont du bassin se rapproche d'une culture du risque en pleine expansion. Les actions menées y sont nombreuses, et la conscience du risque y semble moins défaillante qu'ailleurs. Le risque est mieux accepté, il semble se forger une place dans le territoire et son acceptation est en continuel développement.

Tabl. 2 — Éléments de diagnostic de culture du risque sur le bassin mosan

Culture du risque	Risque	Dernière crue	Mémoire du risque	Territoire	Diagnostic par secteur	Diagnostic global
Absente	Rejeté	Lointaine ou inconnue	Absente	Nouvellement vulnérable	/	**Ensemble du territoire du bassin versant de la Meuse**
Modérée	Contour-né	1993, 1995	Déficiente	Vulnérable (inondations passées)	Meuse médiane, aval et Chiers	
En développe-ment	Accepté	2001-2002, 2006	Très présente	Très vulnérable (inondations récurrentes)	Meuse amont	

Sur la partie aval, les acteurs du territoire commencent à oublier le risque et cherchent des moyens de le contourner. Des re-négociations territoriales ont été observées (révision de PPRi et de PLU), répondant à un doute sur la réalité du risque sur des espaces connus pourtant comme dangereux. Il s'agit de secteur où la fréquence des inondations est suffisamment faible pour favoriser l'oubli, le temps de la réalisation d'un projet d'aménagement par exemple. La concurrence entre les territoires (au niveau des aménagements et des installations d'entreprises) semble conduire les acteurs décisionnaires à s'engager dans des infrastructures qui négligent les risques. Des actions de prévention ont été entreprises par l'EPTB-Meuse (Établissement public territorial de bassin) en partenariat avec des villes volontaires. Ces actions pourraient être renforcées par les acteurs du territoire car les EPTB ne représentent pas l'autorité de régulation de l'équilibre entre aménagement et gestion du risque à l'échelon des territoires de projet.

1.1.2 Les acteurs du bassin de la Meuse

♦ Une gouvernance de l'eau sauvegardée

Avec une population d'un peu plus de 515 000 habitants et une répartition sur 845 communes pour une surface totale de plus de 7 900 km² partagée entre cinq départements, la densité de population du bassin français de la Meuse est de 65 habitants/km², ce qui est inférieur à la moyenne nationale (118 habitants/km² en France métropolitaine). Plus de la moitié des communes (77 %) sont de petites tailles avec une population de moins de 500 habitants et 16 communes concentrent 30 % de la population du bassin. L'activité industrielle a été marquée par une forte reconversion au cours des dernières décennies ; l'activité agricole est principalement basée sur les grandes cultures (céréales, herbe) et sur l'élevage. Le réseau de voies fluviales est dense, avec 330 km de voies navigables : le canal de la Meuse (entre Givet et la frontière belge, de grand gabarit), et les canaux de la Meuse, de la Marne au Rhin et des Ardennes (de gabarits Freycinet).

Les collectivités membres de l'EPTB[3] Meuse rassemblent le Conseil régional Grand-Est (anciennement les conseils régionaux de Champagne-Ardenne et de Lorraine), les Conseils départementaux des Ardennes, de la Haute-Marne, de la Meuse et des Vosges, dix structures intercommunales (après fusion au 1er janvier 2017) et deux communes. Ces caractéristiques posent le contexte problématique de la gouvernance

3. Établissement Public Territorial de Bassin.

partagée des systèmes liés à l'eau. La multitude d'acteurs et de décideurs issus de structures différentes (ayant des tailles et des possibilités d'influences différentes) rend complexe la nécessaire prise de décision commune pour l'ensemble du bassin par l'EPTB Meuse.

- Détermination des acteurs dans les enquêtes par questionnaire

À partir des travaux de J.-Y. Toussaint, S. Vareilles et M. Zimmermann en 2004, nous avons expérimenté une typologie adaptée aux acteurs du bassin mosan. L'adaptation réalisée regroupe les travaux de nombreux auteurs (Moreau 2013 ; Subra 2014 ; Brullot, Maillefert, et Joubert 2014 ; Piot 2007 ; Pumain 2001). Ainsi, pour ce secteur spécifique, deux types d'acteurs se distinguent : les acteurs traditionnels (nommés les « destinateurs » selon Toussaint, Vareilles, et Zimmermann 2004) et les destinataires.

Les acteurs traditionnels sont généralement ceux prescrits par la loi. Ils sont mobilisés dans les projets, de la conception à la réalisation, et participent aux démarches, et aux analyses des démarches entreprises. Leur participation est obligatoire ou souhaitée. Ils peuvent être divisés en trois catégories : les élus, les non-élus et les acteurs économiques (non traités dans cet article).

L'acteur élu possède une place importante dans la stratégie du territoire car il représente les citoyens devant les projets, est intégré aux collectivités territoriales, et participe au vote sur l'ancrage territorial des acteurs économiques. Il peut disposer d'un mandat local ou national, dans une structure régionale, départementale, municipale ou intercommunale, et suivant tous les mandats disponibles (maire, conseiller, adjoint, président, vice-président, suppléants…). Il peut représenter plusieurs structures à la fois (cumul des mandats).

Les acteurs non-élus rassemblent les professionnels, fonctionnaires ou non, personnels administratifs et techniques, les services des institutions publiques, les concepteurs et aménageurs (maîtrise d'œuvre et d'ouvrage) qui interviennent tout au long d'un projet ou lors de certaines décisions pour émettre des avis, des conseils ou évaluer la faisabilité juridique, réglementaire et technique. Dans certains cas, ils représentent l'État (approbation de PPR, SCOT, PLU par exemple).

Les destinataires rassemblent de manière générale, la société civile. Il s'agit du citoyen, de l'électeur, de l'usager qui participe à l'aménagement de son territoire, par le processus de la démocratie locale : il est électeur de la politique locale à travers les représentants élus. Les destinataires peuvent se rassembler en groupe d'opinion et élire leurs représentants. On y retrouve donc les associations d'usagers, de victimes (de la route, des inondations…), des commerçants mais aussi les syndicats de mairie, les conseils de quartiers, etc. Les résultats concernant les associations ne sont pas traités dans cet article. Les enquêtes ont été menées auprès de chacun de ces types d'individus, avec des questionnaires adaptés pour la détermination des éléments principaux constituant la culture du risque.

1.1.3 Méthodes d'enquêtes pour l'évaluation de la culture du risque

Les résultats choisis pour être présentés ici sont ceux correspondant à la population du bassin mosan et aux acteurs territoriaux. La méthode utilisée pour la population est celle du sondage, car elle permet d'interroger un échantillon et de transposer les résultats à l'ensemble du territoire. Ce procédé est admis lorsque la représentativité de l'échantillon observé est respectée. Toutefois, nous admettons la possibilité d'une erreur d'échantillonnage relative à la petite taille de l'échantillon (250 enquêtés sur 515 000 habitants) face à la grandeur de la zone d'étude (7 900 km^2). Les enquêtes réalisées sont de type quantitatives, avec entretiens par rencontres inopinées (dans la rue), réalisées en quatre parties de déplacements, d'août 2015 à décembre 2015 sur le bassin-versant français de la Meuse. (…) Le recueil des données sur le terrain a permis le recensement d'un certain nombre de communes, correspondant au lieu de résidence des interrogés. On comptabilise 246 enquêtes réalisées dont 227 exploitables, car situées sur les communes du bassin de la Meuse française. Elles permettent l'exploitation et l'analyse des résultats pour la population.

La méthode cartographique des transects a été adaptée et utilisée pour sélectionner les acteurs élus du territoire afin d'obtenir un échantillon de communes, représentatif de l'ensemble du bassin. Après la constitution d'une base de données contenant les contacts mails des communes, le questionnaire a été transmis en ligne. L'enquête a été envoyée à 399 adresses mails. Les acteurs non élus du territoire ont été contactés de la même manière avec une invitation à répondre à une enquête en ligne : 377 adresses mails ont pu être recensées pour effectuer ces contacts.

Toutefois, tout sondage fait intervenir des erreurs liées à sa base ou aux réponses, présentes ou absentes, formulées ou non. Dans le cadre de nos travaux, nous avons relevé trois familles d'erreurs liées à l'existence d'une base de sondage incomplète et à la non-réponse de certains individus aux questions posées. Une base de sondage incomplète donne lieu à un défaut de couverture de la population, c'est-à-dire que la population n'est pas complètement couverte par la base : nous admettons un premier biais de l'estimateur non mesurable. En ce sens, nous distinguons deux autres erreurs possibles dans nos méthodes : le défaut d'une base comprenant des doubles comptes et le défaut de couverture. Dans le premier cas, toute l'information est disponible dans le fichier mais elle est mal utilisée. Dans le deuxième cas, l'information n'existe pas et il faut formuler des hypothèses sur le comportement des absents pour faire comme si cette information existait. La solution passe par un modèle de comportement. L'utilisateur final des données ne voit pas le défaut de couverture, mais il n'en demeure pas moins que pour pouvoir réaliser des estimations correctes, nous avons dû corriger au préalable cette amputation grâce à des procédures de redressement.

1.2 Résultats obtenus sur le territoire mosan

Mémoire et conscience du risque sont intimement liées dans ces questions posées aux habitants du bassin mosan (figure 4). La question « avez-vous déjà vécu une inondation ? » fait appel au souvenir, tandis que les trois autres questions mêlent mémoire et conscience du risque. Il est difficile de savoir si la personne répond en faisant appel à sa mémoire des événements passés et des documents d'urbanisme, ou à sa conscience des risques via un « sentiment » de non-exposition des biens face aux inondations.

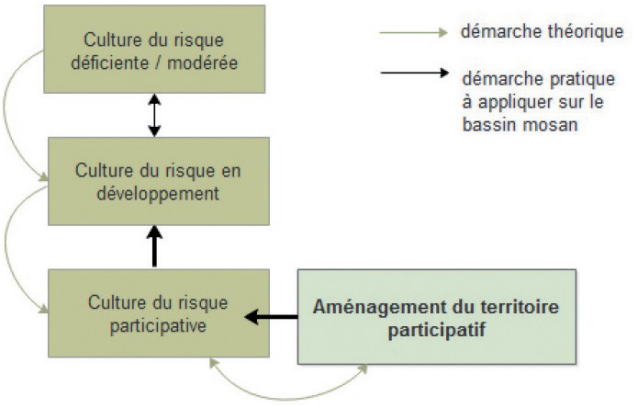


Fig. 4 — Une minimisation voire un déni du risque d'inondation pour la population du bassin.

Les analyses menées dans la Meuse aval conduisent au bilan d'une mémoire réduite des risques dans ce secteur, à l'inverse de la Meuse amont dont les inondations récurrentes forcent la prise de conscience des risques présents. Le risque d'inondation semble minimisé voir oublié pour un certain nombre de répondants : si 24 % des personnes enquêtées sur l'ensemble du bassin ont été frappées par une inondation, seulement 9 % ont pris conscience du risque de celle-ci pour leur habitation. Toutefois, nous manquons de l'appréciation de l'interrogé quant à sa définition d'un risque et celle d'une inondation. L'ampleur de la catastrophe, sa proximité géographique, sa durée ou encore les dégâts provoqués influencent la réponse de l'interrogé.

Les habitants interrogés sont 56 % à considérer qu'ils ne sont pas bien informés par leur commune, au sujet des risques naturels les concernant (figure 5). L'apprentissage des risques ne semble pas suffisant du point de vue de la population, alors que la quasi-totalité (plus de 90 %) des communes de bords de Meuse ont adopté un PPR inondation et un Document d'information communale sur les risques majeurs (DICRIM). Ces lacunes contribuent aujourd'hui à limiter la diffusion de la culture du risque au sein du bassin de la Meuse. Le défaut de sensibilisation, provient en premier lieu des acteurs des territoires eux-mêmes, notamment les élus, qui sont les plus proches de la population. Sur 776 questionnaires envoyés aux acteurs des territoires, seuls 212 ont été retournés à l'enquêteur pour un taux de réponse de 27 %. Parmi ces 212 réponses, seuls 30 élus ont répondu au questionnaire en ligne. Ce manque de représentation peut montrer un désintéressement de la thématique des risques par les interrogés ou bien un refus de répondre. Un contraste se crée entre les acteurs élus (maires et conseillers municipaux principalement) dont le taux de réponse est de 7 %, et les spécialistes non élus (représentés à 52 % par la fonction publique — DDT, DREAL et Préfectures) qui sont 49 % à avoir répondu. L'aspect politique peut jouer un rôle sur la volonté de répondre à des thématiques complexes. Toutefois, le format du questionnaire (en ligne avec invitation par mail) a pu également faciliter les problèmes techniques : non-réception du mail d'invitation, mauvaise adresse mail, mauvais interlocuteur, etc.

De plus, l'insuffisante éducation au risque, dans un contexte où la mémoire des risques n'est que trop peu entretenue, n'aide pas les citoyens à prendre en compte le risque dans leur quotidien. De même, les missions d'éducation au risque des acteurs de l'eau, comme l'EPTB Meuse, se situent à distance de la population. Ces missions pourraient être mieux relayées par les collectivités. En effet, le rôle de l'EPTB est de sensibiliser les élus locaux afin qu'à leur tour, ces derniers amorcent des initiatives d'éducation et de prévention des risques dans leur commune. Cette sensibilisation demande à être amplifiée pour que le processus atteigne la population du bassin. Afin de fournir une communication efficace sur les risques, des formations spécifiques peuvent être envisagées. Ciblée sur les élus, sur le monde de l'entreprise, et sur celui de l'école, la prévention des risques intégrerait le langage commun permettant un apprentissage continu pendant la vie de l'individu.

Ainsi, nos observations et inférences statistiques nous permettent de valider notre diagnostic théorique qui estimait une culture du risque modéré sur l'ensemble du bassin français de la Meuse. La différence amont-aval est effectivement bien présente et met en cause principalement les actions de prévention déployées et les aménagements de réduction des

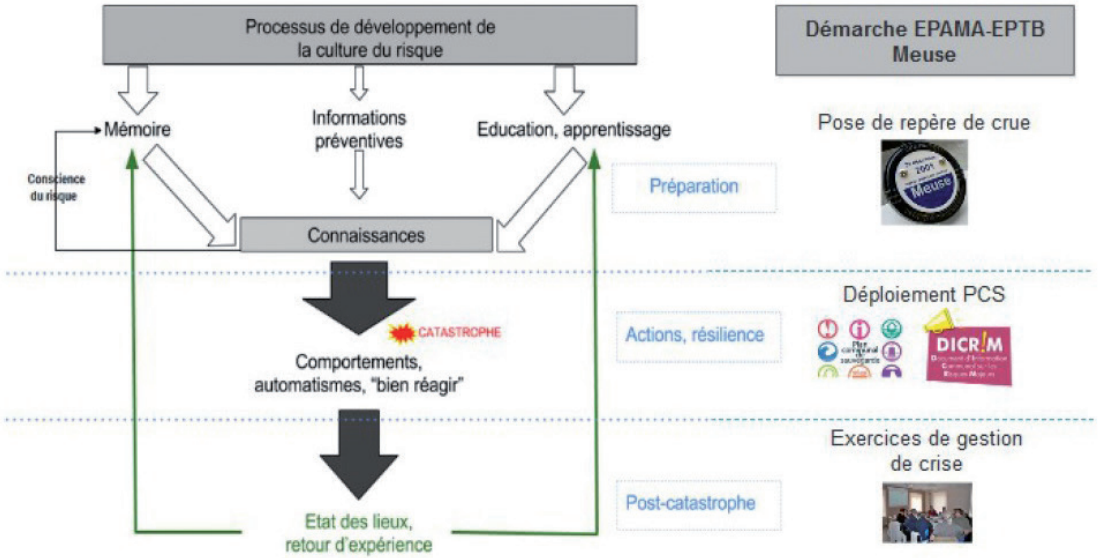


Fig. 5 — Une éducation au risque traduite par un manque d'information préventive.

risques réalisés. Les questions construites dans les enquêtes permettent également de valider les éléments qui composent la culture du risque, au sens d'une construction collective et individuelle reposant sur des savoirs, des expériences et des apprentissages.

Votre commune a-t-elle déjà participé à un exercice de simulation de crise ?	
Plutôt oui	7,5 %
Plutôt non	56,4 %
Ne sais pas	36,1 %

Conclusion

Nous avons pu réaliser une évaluation de la culture du risque à travers l'interrogation de ses trois éléments de composition. Pour le bassin de la Meuse, les enquêtes menées auprès de la population et des acteurs du territoire révèlent une culture du risque limitée, qui peine à se développer du fait d'un manque d'information relative à la prévention des inondations. De même, celle-ci n'est pas homogène sur l'ensemble du secteur étudié. En fonction des aménagements réalisés et de la récurrence plus ou moins importante des crues sur les secteurs du bassin, la culture du risque évolue de manière différente.
Les recommandations envisageables pour le bassin mosan considèrent le renforcement des éléments qui constituent la culture du risque. La mémoire est l'élément qui permet de construire une culture solide du risque. C'est elle qui peut poser les fondations nécessaires à son édification. Pour assurer la stabilité de l'ensemble, les retours d'expériences sont importants et doivent être pris en considération autant du côté des acteurs territoriaux que des habitants. Chaque apprentissage, expérience et information reçue alimente le processus général et permet d'amplifier la culture du risque. Les projections futures peuvent tendre vers une amélioration de cette culture dans tout le bassin mosan, via une culture du risque participative, sollicitant également un aménagement du territoire plus participatif vis-à-vis de la population.

Bibliographie

Acerra M., sauzeau T., « Zones construites, zones désertes sur le littoral atlantique. Les leçons du passé », *Norois*, n° 222, 2012, p. 103-114.

Allain E., www.georisques.gouv.fr/articles/eduquer-la-prevention-du-risque-dinondation-les-conclusions-de-latelier-8-du-salon, IFO-RME, 2010.

Augendre M., « Vivre avec le volcan », *Une géographie du risque volcanique au japon*, univ. Lyon, thèse de doctorat, 2008, 289 p.

Barroca B., Dinardo M. et Mboumoua I., « De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? », *Echogéo*, n° 24. doi : 10.4000/echogeo.13439, 2013.

Beck E., *Approche multi-risques en milieu urbain : le cas des risques sismiques et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse (Haut-Rhin)*, univ. Strasbourg, thèse de doctorat, 2006, 283 p.

Blesius J.-C., « Discours sur la culture du risque, entre approches négative et positive. Vers une éducation aux risques ? Étude comparée du Québec et de la France », *Géographie et Cultures*, n° 88, décembre 2013, p. 289-265.

Carrega P., « Les inondations azuréennes du 3 octobre 2015 : un lourd bilan lié à un risque composite », *Pollution atmosphérique [en ligne]*, n° 228, 2016 http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=5475.

Dauphine A., Provitolo D., « La résilience : un concept pour la gestion des risques », *Annales de géographie*, 2007/2, n° 654, p. 115-125. doi : 10.3917/ag.654.0115. url : www.cairn.info/revue-annales-de-geographie-2007-2-page-115.htm.

Donze J., « Les risques technologiques », in Wackermann G. (dir.), *La géographie des risques dans le monde*, Paris, Ellipses, 2004, p. 443-466.

Donze J., Calberac Y., « Bhopal, Toulouse, couloir de la chimie : Faut-il avoir peur de l'industrie chimique ? », *Les cafés géographiques*, 2003, 5 p.

EPAMA-EPTB MEUSE, « État des lieux de la gouvernance sur le grand cycle de l'eau à l'échelle du bassin-versant de la Meuse », 2017.

Glatron S., « Culture des risques », in Moriniaux V. (dir.), *Questions de géographie : les risques*, Éditions du temps, 2003, p. 71-87.

Labeur C., « Raconter l'inondation : quand les récits de catastrophes se font mémoire du risque », *Géocarrefour*, n° 1 (juin), 2013, p. 45-54. doi : 10.4000/geocarrefour.8937.

Leblanc A., « La conservation des ruines traumatiques, un marqueur ambigu de l'histoire urbaine », *L'espace géographique*, tome 39 (3), 2010, p. 253-266.

Peretti-watel P., *La société du risque*, Paris, La Découverte, coll. « Repères », 2010, 128 p.

PGRI RHIN-MEUSE, 2015, Plan de gestion des risques d'inondation du bassin Rhin-Meuse. Directive inondation. www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/img/pdf/pgri_meuse_approuve_30112015.pdf.

SLGRI MEUSE, « Stratégies locales de gestion des risques d'inondation du bassin de la Meuse (SLGRI Meuse) », 2017.

Veyret Y., Meschinet de Richemond N., *Géographie des risques naturels en France : de l'aléa à la gestion*, Paris, Hatier, 2003, 251 p.

Veyret-Mekdjian Y. (dir.), *les risques*, Paris, Sedes, 2003, 255 p.

2 Les RETEX dans l'histoire : une pratique ancienne dans la gestion des risques

Jérémy Desarthe
Caisse centrale de Réassurance
CCR, 157, Boulevard Haussmann 75008 Paris
jdesarthe@ccr.fr

Résumé. — À partir des données historiques collectées dans les archives, cet article se propose d'analyser les formes de retour d'expérience mis en œuvre par les sociétés anciennes. À travers l'exemple des ouragans dans les départements français des Antilles, il s'agit d'analyser la manière dont ces retours d'expériences ont été menés et les acteurs qui y ont pris part. De plus, une analyse sur le long terme permet de suivre comment ils ont été intégrés aux politiques de gestion des risques mais également leurs effets sur l'évolution de la vulnérabilité. Enfin, cette manne d'information offre aujourd'hui des données importantes pour reconstruire ces événements à la fois dans une perspective chronologique mais également pour estimer le montant des dommages s'ils survenaient aujourd'hui.
Mots-clefs. — histoire des risques, Antilles françaises, ouragans, Modélisation.

Title. *— The Feedback Experience in the History : a Long-term Practice in Risk Management Processes*
Abstract. *— The historical data collected in archives allows to study the form of experience feedback implemented by ancient societies after natural disaster occurred. With the example of hurricanes in French Antilles, it's possible to understand how the experience feedback are conduct and which actors take part in them. Furthermore, a historic analysis makes it possible to follow how they have been integrated into the risk management policies and their consequences on the evolution of the vulnerability. Finally, the information offer important data to reconstruct chronology of events and to estimate the cost of damage if ancient event occurred today.*
Keyword. *— Risk History, French Antilles, Hurricanes, Modeling.*

Introduction

Menés aux lendemains des catastrophes, les retours d'expérience cherchent tout d'abord à inventorier l'ensemble des dommages et des dysfonctionnements et à proposer des pistes de réflexion pour réduire la vulnérabilité des sociétés[1]. Communément, ils participent à la gestion des risques en tentant de tirer profit de l'expérience du passé pour mieux maîtriser l'avenir[2]. Dans cette perspective, l'acquisition d'informations et des connaissances sur les événements passés apparaît alors comme un enjeu essentiel des politiques futures[3]. Cependant, un récent rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement durable rappelait que les retours d'expérience se focalisent pour l'essentiel sur la gestion de crise et non sur l'ensemble des axes relevant de la gestion du risque (connaissance du risque, surveillance, culture du risque, aménagement du territoire[4]…).
Cette difficulté à embrasser l'ensemble des thèmes conduit à s'interroger sur la manière dont les sociétés anciennes ont tiré des leçons de l'expérience de la catastrophe. Le terme de risque est présent dans les dictionnaires de Furetière avec la définition de « *hazard qui peut causer de la perte*[5] ». Cette idée de perte et de dommages apparaît également dans les archives administratives dès la fin du XVII^e^ siècle[6]. Si une gestion des risques s'esquisse précocement dans les sociétés, on peut s'interroger sur la manière avec laquelle elles ont capitalisé l'expérience de la catastrophe. La mise en place de retour d'expérience au sens actuel se développe essentiellement à la fin du XX^e^ siècle. Toutefois, cette pratique n'est pas totalement inconnue des périodes antérieures[7]. Ainsi, au lendemain des grandes catastrophes, comme les inondations du Rhône en 1840 ou de la Seine en 1910 pour ne citer que celles-ci, des commissions sont mises en place pour saisir l'ampleur du désastre et permettre également « *d'envisager l'avenir [et de] rechercher toutes les mesures propres à prévenir le retour de pareils fléaux*[8] ». Toutefois, en retenant uniquement l'échelle nationale ou macro-régionale, on met de côté une analyse des différentes pratiques des retours d'expérience

1. Yvette Veyret (dir.), *Dictionnaire de l'environnement*, Paris, Armand Collin, 2007, p. 313.

2. Yves Mortureux, *Le retour d'expérience en questions*, Techniques de l'Ingénieur, traité L'Entreprise Industrielle, AG 4608.
3. Chloé Vallette, Stéphane Cartier, « Dénombrer pour maîtriser les dommages des catastrophes naturelles », *VertigO — la revue électronique en sciences de l'environnement*, volume 12, n° 1, mai 2012, DOI : 10.4000/vertigo.12138.
4. Thierry Galibert, Thérèse Perrin, Gilles Pipien, *Pour des retours d'expérience au service de la stratégie nationale de gestion du risque inondation. Synthèse du collège prévention des risques naturels et technologiques*, rapport n° 010890-01, Paris, Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, février 2017, 42 p.
5. Antoine Furetière, *Dictionnaire universel contenant tous les mots françois tant vieux que modernes et les termes de toutes les sciences et des arts*, tome troisième, La Haye, A. et R. Leers, 1690,
6. Jérémy Desarthe, *Le temps des saisons. Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'ouest de la France*¸ Paris, Hermann, 2013, 338 p.
7. Jérémy Desarthe, *Le temps des saisons. op. cit.* ; Jérémy Desarthe, « Ouragans et submersions dans les Antilles françaises (XVII^e^-XIX^e^ siècle) », *Études Caribéennes*, n° 29, décembre 2014, DOI : 10.4000/etudescaribeennes.7176
8. *Lettre en date du 9 février 1910 du président du Conseil Aristide Briand au Président de la République* cité dans *Commission des inondations. Rapports et document divers*, Paris, Imprimerie nationale, 1910 p. v.

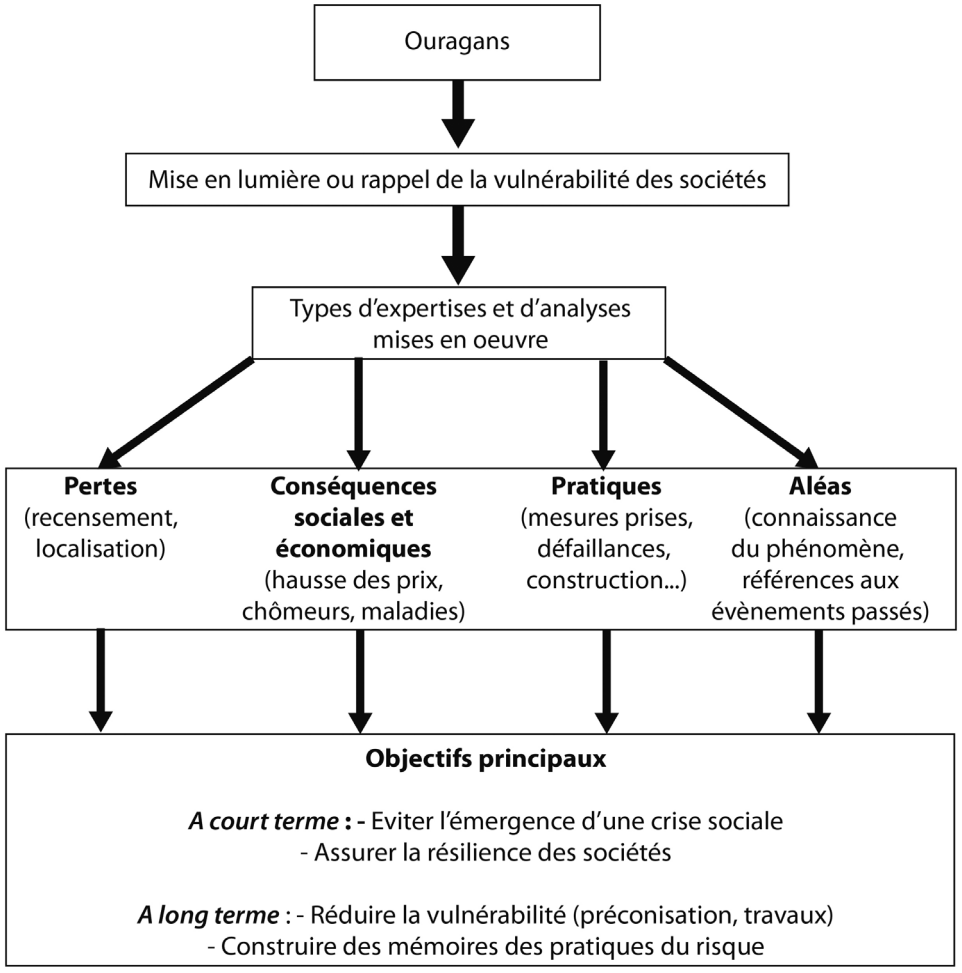


Fig. 1 — Initiatives et objectifs des RETEX.

à l'échelle locale. Cette contribution vise à montrer tout l'intérêt à explorer les archives administratives afin d'accéder aux nombreux rapports, enquêtes et expertises mis en œuvre pour recenser les dommages, les dysfonctionnements et procéder aux aménagements nécessaires.
En donnant une épaisseur historique significative à l'étude des retours expériences, cette contribution vise alors à analyser sur le long terme la manière dont ceux-ci ont contribué ou non à améliorer la gestion des risques. Il s'agira d'appréhender les pratiques mises en œuvre et les différents acteurs qui y ont pris part. Ensuite, à partir de l'exemple des sociétés des Antilles françaises, il sera question d'analyser les thématiques mises en lumière afin d'observer une éventuelle intégration des mesures proposées. Enfin, ces retours d'expériences regroupent des informations qu'il est possible d'exploiter pour reconstituer l'ampleur et la nature de l'aléa et proposer une estimation des dommages qu'un événement passé pourrait causer s'il se reproduisait aujourd'hui.

2.1 Du retour d'expérience à l'archive

Le dépouillement des archives administratives pour les Antilles françaises conservées aux archives de l'outre-mer à Aix-en-Provence ou dans les fonds des départements de Guadeloupe et de Martinique met en lumière la volonté qu'ont eues les sociétés de conduire des expertises à l'échelle locale pour améliorer la gestion du risque.
La pratique ancienne de collectes d'informations de toutes sortes est attestée par la richesse des fonds archivistiques qui en sont aujourd'hui les héritiers. Comme le rappelle Arlette Farge, l'événement *crée de la lumière*. Il met en exergue des rouages et des actions qui sans cela seraient restés dans l'ombre[9]. En étant à l'origine de dommages et de dysfonctionnements, la catastrophe permet de repérer les pratiques d'expertise mises en place par les différents acteurs (figure 1). Celles-ci s'inscrivent dans le contexte du renforcement du pouvoir central à la fin du XVII[e] siècle mené par Louis XIV et Colbert et dont les Antilles françaises ne font pas exception. Directement impliquées, les autorités locales vont être les premières à réagir en diligentant des études auprès de leurs subordonnés ou bien d'experts. Parmi les documents d'archives consultés comme les inventaires de dommages ou les correspondances entre les acteurs, quatre types d'expertises ressortent. La première consiste au recensement des dommages aux biens et aux infrastructures et à leur localisation. En l'absence d'ingénieurs, les autorités font fréquemment appel à des artisans et des entrepreneurs spécialisés puisque l'étude des dommages précède généralement l'établissement

9. Arlette Farge, « Penser et définir l'événement en histoire. Approche des situations et des acteurs sociaux », *Terrain. Anthropologie et sciences humaines*, n° 38, 2002, p. 67-68.

d'un devis. Les dommages aux biens vont prendre la forme de tableaux d'inventaire avec pour chaque sinistré un niveau de sévérité. Cette destruction des différentes infrastructures va altérer le fonctionnement des sociétés. Ainsi, il convient pour les autorités de rapidement cerner les besoins des sinistrés pour ainsi limiter les conséquences de la catastrophe et éviter l'émergence d'une profonde crise sociale pouvant se caractériser par des problèmes frumentaires. Dans les Antilles françaises, cette question des stocks demeure prégnante jusqu'à la seconde moitié du XXe siècle. En effet, le passage d'un ouragan isole les territoires durablement et malgré les relations de solidarité inter-îles, la distance avec la métropole ne permet d'obtenir des secours matériels rapides. Ainsi en 1776 devant le risque de famine, le pouvoir royal a autorisé les îles britanniques des Antilles à commercer avec les îles françaises[10].

La connaissance de l'aléa à savoir les hauteurs d'eau pour les inondations ou la trajectoire et la direction des vents pour les ouragans fait également partie des études menées *a posteriori*. L'objectif est dans un premier temps d'améliorer la connaissance des phénomènes, à l'image des travaux de Chanvalon sur les ouragans antillais du XVIIIe siècle[11]. En outre, dans un second temps, ces informations sur les caractéristiques de l'aléa visent à comprendre l'origine et la sévérité des dommages et l'existence de possibles négligences de la part des différents acteurs.

Ces types d'expertises s'inscrivent dans des temporalités différentes. Au temps de l'immédiat qu'impose le recensement des dommages pour éviter que la crise sociale ne succède à la catastrophe succède un temps plus long dévolu à une approche que l'on pourrait qualifier de réflexive avec des recherches sur les responsabilités et une interrogation sur les pratiques. Ce faisant, si la forme des retours d'expérience diffère en fonction des acteurs qui en sont à l'initiative, elles poursuivent le même objectif : améliorer la gestion du risque.

2.2 Enseignements et intégrations des RETEX

L'analyse des différentes formes de RETEX permet de mettre à jour des dysfonctionnements et des questionnements qui rejaillissent au lendemain d'une catastrophe naturelle. En menant une étude sur plusieurs siècles, il est possible d'appréhender la manière dont ces questionnements vont être intégrés dans les politiques de gestion du risque. À plusieurs reprises tout au long de la période, les sociétés antillaises vont s'interroger sur l'exposition du bâti ou encore l'amélioration de la prévision des phénomènes[12]. Ce faisant, on peut s'interroger sur la place qu'a pu avoir l'aménagement du territoire dans la réduction de la vulnérabilité ?

2.2.1 La vulnérabilité des bâtiments

La part du bâti pouvant être considéré comme particulièrement vulnérable tend aujourd'hui à diminuer dans les départements d'outre-mer. Ainsi, selon l'INSEE, le recensement de 2012 a permis d'estimer que les habitats de fortunes et les cases traditionnelles ne constituent plus que 3 % en Guadeloupe et 2 % en Martinique des résidences principales[13]. Cette préoccupation sur la résistance des biens aux tremblements de terre comme aux ouragans jalonne la période depuis l'ouragan de 1713 jusqu'à Hugo en 1989[14]. En effet, le 4 septembre 1713, le violent ouragan qui s'abat sur la Martinique frappe durement les différentes infrastructures[15]. L'analyse de l'ensemble des dommages sur le bâti, sur l'agriculture ou sur la végétation a permis de classer cet ouragan au niveau 5 de l'échelle Saffir-Simpson[16]. Le château du Fort Royal est touché et les 30 000 ardoises qui composent sa toiture sont emportées. Dans un courrier adressé aux autorités royales et daté du 10 septembre, le Gouverneur général Phélyppeaux écrit que la nature même de l'édifice, s'il convient aux territoires de la métropole, ne répond pas aux besoins spécifiques propres à la Martinique[17]. Terminée en 1710 après avoir débutée en 1638, la construction du Fort Royal s'inscrit dans le contexte de consolidation des défenses des îles françaises des Antilles. Ainsi, l'édification d'une place forte sur le modèle de celle de Vauban s'est rapidement imposée. À la fin du XVIIIe siècle, c'est l'autre fort de la Martinique qui est victime d'un ouragan. À Saint-Pierre, le fort construit dès le début de la présence française est endommagé par l'ouragan du 11 octobre 1780 et la submersion qui l'accompagne. Là aussi, les travaux d'entretien réalisés les précédentes années ne suffisent pas à limiter les dommages et d'échapper à la critique du mode de construction choisit.

À côté des dommages causés aux bâtiments officiels par les ouragans, la question de l'habitat traditionnel a été également soulevée. Au XVIIe comme au XXe siècle, les rapports pointent, par exemple, les effets de l'absence de contrevents dans l'origine des dommages[18]. En effet, en s'engouffrant dans les habitations, le vent exerce une pression sur différentes parties de l'édifice (toiture, mûrs…) et va provoquer leur endommagement ou leur destruction selon leur force. Les matériaux composant l'habitation se révèlent alors déterminants. L'habitation typique des départements des Antilles françaises est la case créole[19]. Si les matériaux utilisés peuvent varier localement, la case mesure en moyenne entre 3 et 4 mètres sur 4 à 5 mètres. Elle se compose généralement de deux pièces et se caractérise par un toit à deux pans dont l'inclinaison de 45 degrés est adaptée aux pluies tropicales de la région[20].

Tout au long de la période, la forme de l'habitat va peu évoluer et seuls les matériaux utilisés vont connaître des changements. Ainsi, l'usage du bois va se répandre de plus en plus au XIXe siècle aussi bien pour le bardage que pour la toiture. Cette diffusion va avoir pour incidence d'accentuer

10. Archives Nationales de l'Outre-Mer à Aix-en-Provence (noté par la suite Arch. Nat. Outre-Mer), 209 MIOM/31.
11. Jean-Baptiste Chanvalon, *Voyage à la Martinique contenant diverses observations sur la physique, l'histoire naturelle, l'agriculture, les Mœurs et les usages de cette Isle faites en 1751 et dans les années suivantes*, Paris, Bauche, 1761, 334 p.
12. Jérémy Desarthe, « Ouragans et submersions dans les Antilles françaises », *Études caribéennes*, nº 29, 2014.
13. D'après les données du recensement de l'INSEE de 2012 www.insee.fr/fr/statistiques/2046304.
14. Françoise Pagney, « La prévention des risques cycloniques dans les Antilles françaises : constats et propositions », dans *Les Antilles, terres à risques*, Paris, Karthala, 1999.
15. Arch. Nat. Outre-Mer, Col 8A.
16. Jérémy Desarthe, David Moncoulon, « Quatre siècles de cyclones tropicaux dans les départements d'outre-mer », *La Météorologie*, nº 99, 2017, p. 52-58.
17. Arch. Nat. Outre-Mer, col 8A.
18. Arch. Nat. Outre-Mer, 209 MIOM 55.
19. Christophe Denise, « Une histoire évolutive de l'habitat martiniquais », *In Situ. Revue des patrimoines*, nº 5, 2004.
20. Jean-Baptiste Delawarde, *La vie paysanne à la Martinique. Essai de géographie humaine*, Fort-de-France, Imprimerie officielle, 1937, 227 p.

le risque d'incendie en milieu urbain. Ainsi en 1843, le tremblement de terre qui frappe la Guadeloupe a été à l'origine de l'incendie qui a ravagé Pointe-à-Pitre[21]. Après un nouvel incendie qui détruisit une grande partie de Fort-de-France en 1890, la municipalité a décidé de prescrire l'usage de la maçonnerie pour éviter qu'une telle catastrophe ne survienne de nouveau. La question refait surface au début du XX^e siècle à la suite de l'ouragan du 9 août 1903 et du tremblement de terre du 16 février 1906[22]. Face aux nombreux dommages observés, il est proposé d'intégrer des structures métalliques et du béton armé pour améliorer la résistance des bâtiments. La question de ce procédé de construction va se retrouver au cœur des débats en 1928. Les inventaires dressés au lendemain de l'ouragan soulignent en effet que les bâtiments fabriqués en ciment armé ont été les seuls à résister au vent[23]. Rapidement, un plan de reconstruction va être proposé par l'ingénieur principal des Travaux publics des Colonies nommé Hayem. À partir de la comparaison entre une reconstruction reposant sur l'utilisation du bois et une autre privilégiant le ciment armé, il estime que le surcoût serait compris entre 13 et 22 % en fonction du type de maison retenu. Si le gouverneur et le Conseil général de la Guadeloupe approuvent le principe de ce programme de reconstruction, plusieurs difficultés vont émerger et empêcher la réalisation du projet.

En effet, pour estimer le coût de la reconstruction en ciment armé, l'ingénieur principal des travaux publics s'est appuyé sur celui d'une maison individuelle composée de plusieurs pièces ce qui ne correspond pas forcément à la réalité des besoins des populations mais surtout à leurs capacités financières. En conditionnant l'aide à la reconstruction aux seules personnes s'engageant à rebâtir une maison en ciment armé, le processus exclut une grande partie des sinistrés. Dès lors, ce premier projet de reconstruction est rapidement abandonné au profit d'une approche reposant sur l'allocation d'une prime versée. Celle-ci fournit une aide au plus grand nombre mais empêche d'impulser une reconstruction en faveur du ciment armé. De surcroît, le projet va se heurter à des difficultés financières et logistiques. À l'origine, un fonds de 66 millions avait été alloué pour la reconstruction du bâti dédié aux habitations mais une partie de cette somme va se retrouver allouée à l'aide aux victimes de l'éruption de la montagne Pelée en 1929[24]. Enfin, selon les ingénieurs, la dernière contrainte est l'absence d'une main-d'œuvre qualifiée en nombre suffisant pour assurer la réussite du chantier de construction sur une période relativement courte. Ce faisant, l'exemple de 1928 illustre les difficultés que les sociétés ont rencontrées pour traduire concrètement les différentes réflexions liées à l'amélioration du bâti émises dans les différents rapports post-événements. La principale difficulté semble bien être de concilier l'urgence du moment à l'impératif d'une réduction de la vulnérabilité souhaitée dans les retex. La planification nécessaire à ce type de projet s'inscrit dans une perspective temporelle qui n'est pas celui du temps de crise et des contraintes financières.

Le dernier élément du bâti mis en exergue dans les rapports à partir du début du XX^e siècle est l'utilisation de la tôle ondulée. Au lendemain de l'ouragan Ugo en 1989, plusieurs dispositions sont prises pour assurer la consolidation des toitures et lutter contre l'utilisation de tôle ondulée[25]. L'usage de ce type de matériau apparaît à la fin du XIX^e siècle. Il se caractérise par une bonne isolation contre les pluies, une grande disponibilité et un coût relativement modeste. Si la tôle ondulée est aujourd'hui considérée comme dangereuse lors des ouragans, ce sont pourtant ces événements qui ont participé à sa diffusion dans les Antilles françaises. Après l'ouragan de 1891, une bonne partie des toitures de la Martinique nécessite une réparation d'urgence. Pour faire face à la pénurie de bois, le gouverneur encourage les navires américains et britanniques à approvisionner l'île en matériaux de construction. L'usage de la tôle se répandant alors depuis les îles voisines[26]. De nouveau en 1903, le défaut de bois impose de recourir massivement à la tôle ondulée pour réparer les toitures[27]. Ce faisant, on observe dans le cas de la tôle que la nécessité de retrouver un fonctionnement normal va conduire les sociétés à agir dans l'urgence sans nécessairement prendre conscience que leurs actions vont accroître l'exposition des populations.

2.2.2 Comment améliorer la prévention des risques

Cherchant à comprendre l'étendue des dommages, les autorités vont s'interroger sur les mesures de prévention et d'alertes. Les Antilles françaises disposent dès le XVIII^e siècle au moins d'une politique de prévention des risques cycloniques. Celle-ci repose sur une connaissance de la période cyclonique. Ainsi Du Tertre écrit que les ouragans surviennent « *presque toujours sur la fin de l'hyver, c'est-à-dire depuis la fin de juillet jusques à la my-septembre*[28] ». Cette connaissance du rythme des saisons s'est traduite dès le début du XVIII^e siècle par la promulgation annuellement d'une série de prescriptions destinées aux marins. L'objectif est principalement de limiter les dommages aux navires, éléments essentiels pour le commerce et pour l'approvisionnement des îles. Tout au long de la période, ces prescriptions vont être amendées mais restent circonscrites au monde des marins. Les défaillances observées sont généralement imputées aux marins accusés de ne pas respecter les consignes édictées au début de la saison cyclonique mais aucun document n'a permis d'analyser les suites qui ont été données par les autorités à ces négligences. La dimension sociale de la prévention n'est pas pour autant négligée et s'inscrit surtout dans la volonté de prévenir les difficultés annonaires. À partir de 1723 et à la suite de l'ouragan qui a détruit une grande partie des récoltes de manioc, le Roi promulgue une ordonnance pour enjoindre annuellement les populations de planter du manioc en quantité suffisante pour assurer leur subsistance toute l'année[29]. De même, la gestion de crise proprement dite et la question de l'alerte en particulier ont été jusqu'au XIX^e siècle principalement orientées pour avertir les marins de l'imminence de l'ouragan. Ainsi, au moment où la chute du baromètre est suffisamment brusque pour être annonciatrice de l'arrivée

21. Arch. Nat. Outre-Mer, FM, SG, Carton 118.
22. *Journal Officiel de la Martinique*, Mardi 29 janvier 1907.
23. Arch. Nat. Outre-Mer, Guadeloupe, TP, Carton 1157, dossier 2.
24. Arch. Nat. Outre-Mer, Guadeloupe, TP, Carton 1157, dossier 2.
25. Françoise PAGNEY, « La prévention des risques cycloniques dans les Antilles françaises : constats et propositions », dans GEODE Caraïbe, *Les Antilles, terres à risques*, Paris, Karthala, 1999, p. 43.
26. Archives Départementales (notées par la suite Arch. Dép.) Martinique, 1 M 9891.
27. Arch. Dép. Martinique, 6 S 18081.
28. Jean-Baptiste DU TERTRE, *Histoire générale des Antilles habitées par les François. Tome II contenant l'histoire naturelle,* Paris, Thomas Jolly, 1667, p. 71.
29. *Code de la Martinique*, Saint-Pierre, Pierre Richard, 1767, p. 426.

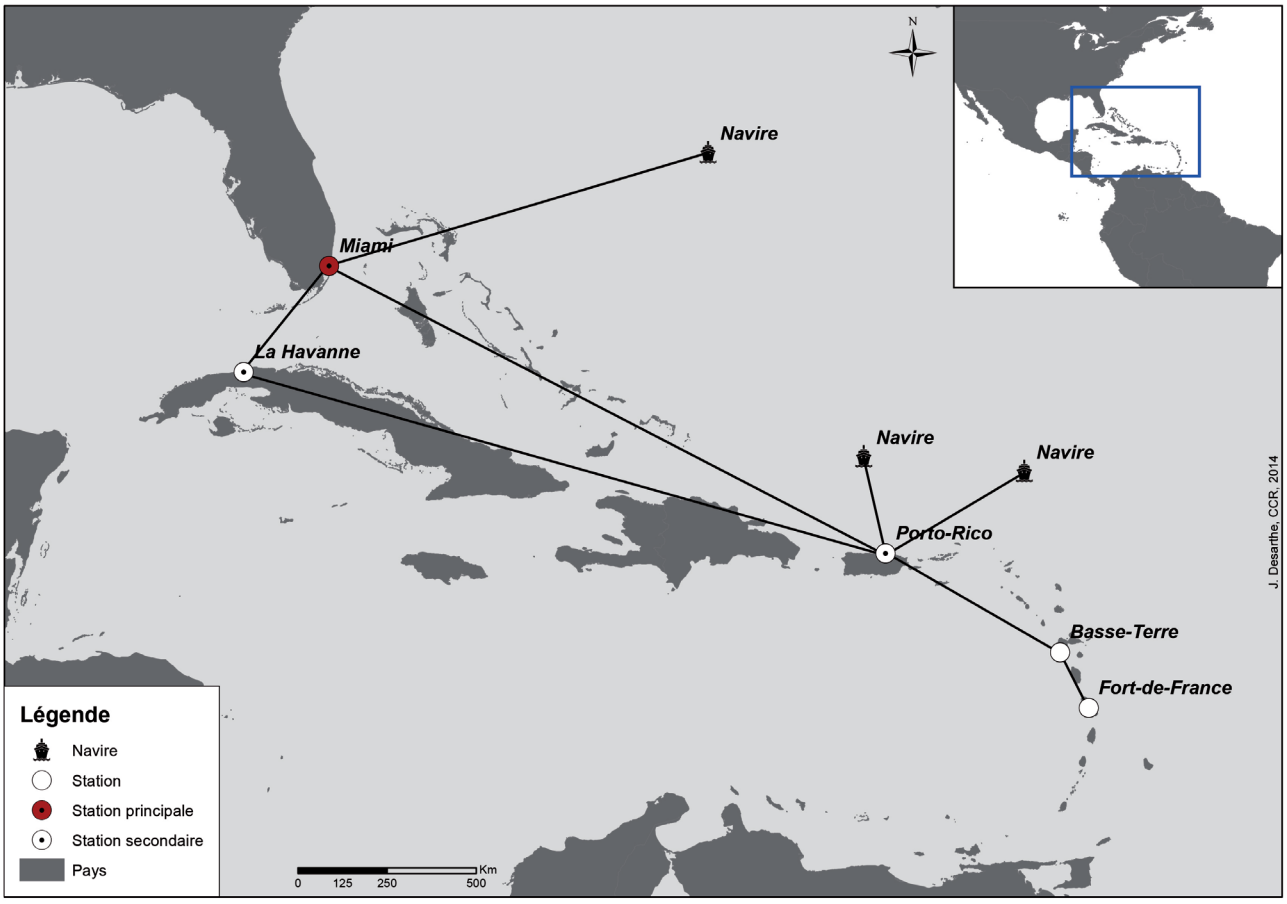


Fig. 2 — Réseau d'observation météorologique au début du xx^e siècle.

de l'ouragan, les capitaines du port alertent les navires en hissant un pavillon. L'essor de moyens de communication au xix^e siècle va donc profondément changer la prévention et l'alerte des populations. Ainsi, un premier réseau télégraphique est mis en place dans les îles. À ce premier réseau local vient s'ajouter la perspective d'un réseau à l'échelle des Antilles dont la nécessité semble avoir été renforcée par la signature démographique de l'ouragan de 1865 en Guadeloupe. S'il est difficile d'établir un lien direct, les discussions qui se font jour à partir de 1868 sur la mise en place du câble télégraphique vont dans ce sens. Pour autant, en raison des difficultés rencontrées, ce réseau télégraphique ne verra le jour qu'à la fin du xix^e siècle (figure 2).

Avec pour station principale Miami, ce réseau va améliorer significativement l'alerte cyclonique et ainsi assurer les sociétés d'avoir plus de temps pour préparer la survenue de l'événement. Malgré l'existence de ce réseau et la diffusion de dépêches télégraphiques, l'ouragan de 1928 va mettre en avant la nécessité d'un plan de prévision et d'alerte plus complet et en intégrant l'ensemble des pratiques déjà existantes. Face à l'étendue des dommages et au traumatisme du bilan humain, les autorités vont réagir avec la mise en place d'une commission visant à « *déterminer les mesures de sécurité et les autres mesures d'ordre à prendre en cas de cyclone*[30] ». Loin de faire table rase du passé, l'organisation va reprendre des mesures existantes comme la mise en place de pavillon pour les marins et intégrer d'autres dispositions. L'alerte cyclonique se fait en deux étapes. La première vise à signaler la présence d'un ouragan en approche et consiste à envoyer un télégramme avec la mention Avis n° 1. Ce premier niveau ne concerne pas les populations qui ne sont informées qu'en cas de confirmation de la survenance prochaine d'un ouragan sur l'île. En effet, c'est l'avis n° 2 qui entraîne la mobilisation de tous les acteurs (maires, capitaine du port, responsables des travaux publics, gendarmerie, service de santé…). Chacun d'entre eux doit organiser dans les limites de leurs compétences, la gestion de crise. Ainsi les maires doivent informer les curés qui devront faire sonner le tocsin, les directeurs d'écoles, les différentes entreprises situées sur leur territoire. Ensuite, ils doivent prendre les différentes mesures de sécurité (localisation des abris, fournitures de stocks alimentaires…). La sensibilisation des particuliers aux risques cycloniques va également être prise en compte avec la publication dans le *Journal Officiel* de la Martinique et de la Guadeloupe tout au long de l'hivernage d'une série de conseils et de mesures à mettre en œuvre lors des ouragans. Par la suite, un message de sensibilisation sera publié dans différentes revues.

Ce projet va s'appuyer sur le service météorologique colonial créé en 1929 qui va entraîner une restructuration des observatoires locaux. Ainsi, l'observatoire de la Martinique créé en 1902 au lendemain de l'éruption du Mont Pelé et la station météorologique du Morne-des-Cadets vont être réunis en 1932 au sein du service Météorologique et de Physique

30. Arch. Nat. Outre-Mer, Guadeloupe, dossier 244, carton 1486.

du Globe[31]. Cet organisme va centraliser les observations météorologiques et prendre peu à peu une plus grande importance. Ainsi, après les inondations de 1942, le visa du service météorologique martiniquais sera obligatoire pour les travaux concernant les ouvrages d'art comme l'aménagement agricole[32]. Les ouragans qui vont survenir après sa mise en place vont permettre d'amender ce projet qui servira de base au plan d'Organisation des secours (ORSEC) en 1952[33]. Enfin, tout laisse à penser que ce projet d'alerte cyclonique a dépassé les frontières du bassin antillais puisque dans les mêmes années un dispositif similaire est mis en place à La Réunion[34].

S'il est difficile d'évaluer concrètement l'efficacité de ces améliorations, l'analyse de la mortalité lors des ouragans de la seconde moitié du XXe siècle peut fournir quelques indications (tableau 1).

Tabl. 1 — Ouragans et mortalités dans les Antilles françaises

Année de l'ouragan	Classe Saffir-Simpson	Morts
1713	5	30
1766	5	440
1780	5	5 000
1825	5	150
1891	5	420
1903	3	32
1928	4	1 200
1956	3	6
1963	2	10
1966	3	27
1970	-1	44
1979	4	19
1989	4	7

Si ce tableau ne prétend pas à être exhaustif et si d'autres facteurs sont à prendre en considération (évolution du bâti, construction en zone exposée), on remarque que les plus fortes mortalités sont liées aux ouragans les plus importants. Pour autant, après 1928, cette relation ne s'affirme plus. Des phénomènes de moindre ampleur comme en 1970 peuvent être à l'origine d'une forte mortalité. Sans détail sur la cause du décès, il est difficile de savoir si le décès est lié à l'aléa ou bien à une négligence de la victime.

2.2.3 L'aménagement du territoire

Plus ponctuellement, en mettant en exergue l'exposition de certaines portions du territoire, la catastrophe donne lieu à une réflexion sur l'aménagement du territoire. Ainsi, les récentes tempêtes qui ont affecté le littoral ces dernières années ont mis en avant la question du repli stratégique ou de la relocalisation des enjeux[35]. Ces questions ont également été soulevées par le passé dans les Antilles françaises. En 1780, la surcote qui accompagne l'ouragan du 11 octobre provoque l'inondation d'une grande partie du littoral de la côte ouest de la Martinique (Desarthe, 2015). Avec une mer dont le niveau est estimé être supérieur de 4 mètres par rapport à la normale, plus de 150 maisons vont être détruites. Dans un rapport du gouverneur général des îles du vent, les bourgs du Prêcheur et du Carbet « n'existent plus » et les habitants surtout des pêcheurs sont alors sans ressources[36]. Devant l'ampleur du désastre, la décision est alors prise de relocaliser la totalité des sinistrés à l'Anse l'Abîmes située dans la zone des cinquante pas géométriques. Cette portion du littoral large d'environ 82 mètres relève sous l'Ancien Régime du domaine royal. En théorie, elle ne peut pas être aliénée et cédée à des particuliers. Pour autant, dès 1674, le gouverneur de Baas dans une correspondance avec le secrétariat d'État à la Marine précise que sur cette zone « sont logés les pêcheurs, les maçons, les charpentiers et autres personnes nécessaires au maintien de la Colonie[37] ». Ainsi en 1782, après la résolution d'un conflit d'usage opposant les autorités à un propriétaire de pêcheries, une ordonnance entérine l'établissement d'un bourg à l'Anse l'Abîmes comme paroisse du Prêcheur pour accueillir les sinistrés de la submersion de 1780[38].

Le XXe siècle va offrir un nouvel exemple de relocalisation. En 1956, après le passage de l'ouragan Betsy en août, une tempête tropicale le 5 novembre se caractérise par une violente submersion sur la côte guadeloupéenne. Au total, si l'événement ne fait pas de victime, 71 familles sont sinistrées et 593 personnes sont évacuées. 231 maisons sont endommagées par la violence de la mer. La côte de Basse-Terre a été la plus touchée avec des pertes significatives dans les communes de Bouillante, Baillif et Vieux-Habitants. Les ingénieurs dénoncent des constructions situées à proximité du bord de mer et exposées aux houles et vagues lors de la saison cyclonique[39]. Ils vont alors proposer d'interdire les constructions en front de mer et de relocaliser les habitations dans la zone des cinquante pas géométriques. En effet, passés dans le domaine privé de l'État en 1955, les terrains peuvent alors être concédés aux populations. Au total, ce sont près de 50 constructions qui vont être édifiées sur ces différentes communes. Dans le secteur de Marigot dans la commune de Vieux-Habitants où de nombreuses cases ont été détruites, une analyse des photos aériennes disponibles pour 1955 et 1963 sur le Géoportail de l'IGN atteste d'une relocalisation de certains enjeux au lendemain de la submersion (figure 3[40]). Ainsi les bâtiments en bleu marine présent en 1955 n'apparaissent plus 8 ans plus tard et parmi eux probablement plusieurs habitations touchées par la submersion. Malgré le souhait des ingénieurs de ne plus construire en front de mer, plusieurs habitations relativement importantes apparaissent (couleur verte) en 1963. Enfin, des bâtiments (en rouge) n'ont pas été détruits et ont même subi pour certains d'entre eux une extension. Cette présence continue dans une des zones les plus touchées lors de la submersion peut s'expliquer par le fait qu'ils n'ont pas été touchés. Tout laisse à penser que

31. *Le service météorologique et de physique du globe de la Martinique*, Paris, Larose, 1938, 48 p.
32. Arch. Dép. Martinique, 6 S 10617.
33. Arch. Dép. Martinique, 1042 W 115.
34. Arch. Dép. La Réunion, 1 M 4085.
35. *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Programmes d'actions 2017-2019,* ministère de l'Environnement de l'Énergie et de la mer, 2016, 28 p.
36. Arch. Nat. Outre-Mer, Col C8A, fo 220.
37. Louis-Élie MOREAU DE SAINT-MÉRY, *Loix et constitutions des colonies françoises de l'Amérique sous le vent*, Tome 1, Paris, Quillau, 1784, p. 272-273.
38. Arch. Nat. Outre-Mer, Col C8A, fo 220.
39. Arch. Dép. Guadeloupe, Série continue 1736.
40. Photographies aériennes disponibles sur le site de l'IGN : `https://remonterletemps.ign.fr/`.

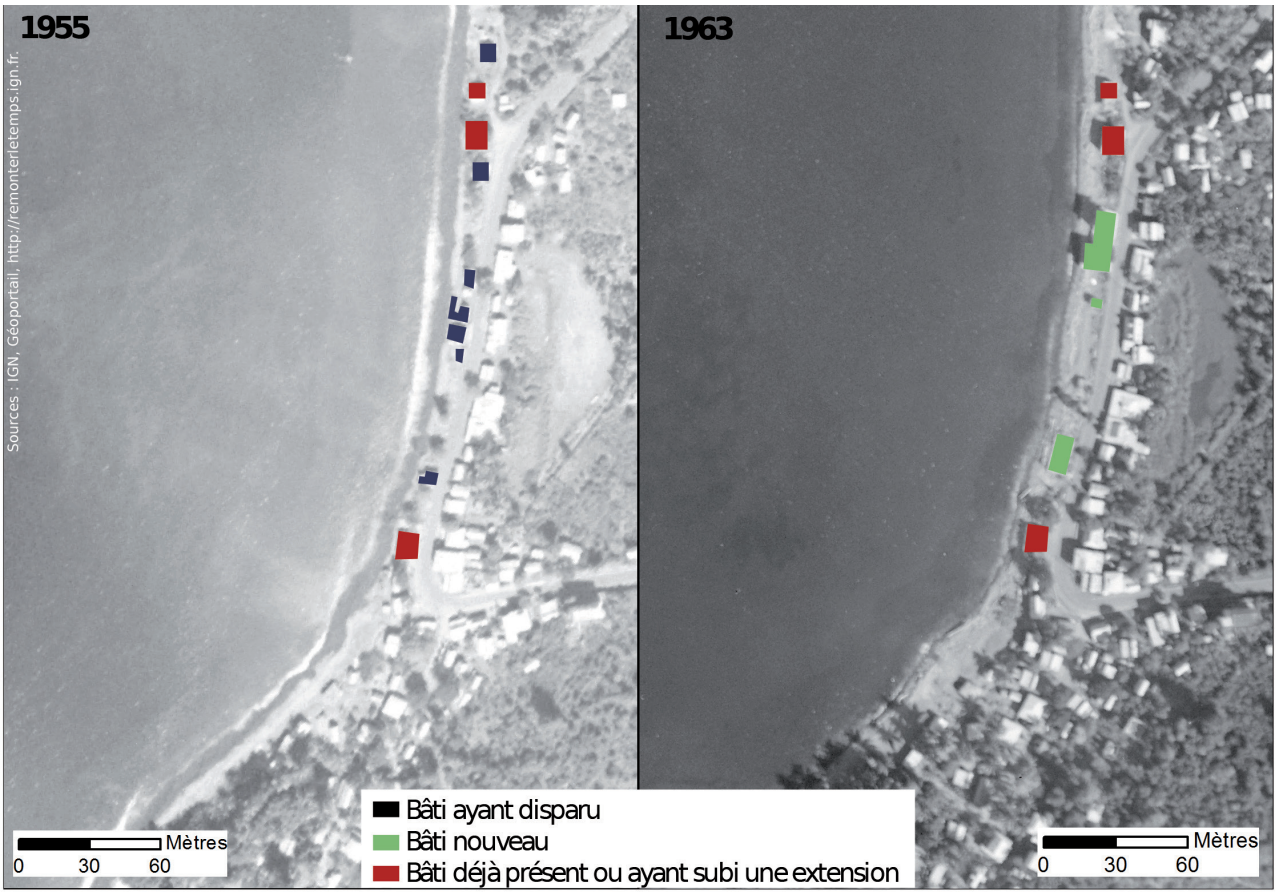


Fig. 3 — Relocalisation après la submersion de 1956 : comparaison entre 1955 et 1963 dans la commune de Vieux-Habitants (Guadeloupe).

les directives émises au lendemain de l'événement ont pu se traduire par une relocalisation sans pour autant inscrire durablement l'événement dans la mémoire collective.

2.3 L'apport de ces RETEX historiques pour l'analyse de l'exposition actuelle

2.3.1 Connaissance et caractérisation des événements passés

Outre la contribution à l'analyse de la place de la catastrophe dans l'évolution des réflexions sur le risque, ces retours d'expérience constituent aujourd'hui des documents précieux pour améliorer la connaissance des catastrophes passées. En effet, si dans le cas des ouragans aux Antilles, de nombreuses chronologies ont été proposées, il importe de pouvoir disposer d'une caractérisation de la sévérité des phénomènes[41]. En raison de l'absence de séries instrumentales historiques, la démarche vise à s'appuyer sur les informations contenues dans les retex mais également dans les autres filons d'archives pour proposer une qualification des événements extrêmes. Cette démarche mise en œuvre en métropole pour les inondations, sécheresses ou encore les tempêtes a été étendue aux Antilles et aux ouragans en utilisant l'échelle Saffir-Simpson (figure 4). La sévérité s'y échelonne de la catégorie 1 pour les ouragans mineurs à la catégorie 5 pour les phénomènes catastrophiques. Pour analyser le corpus documentaire, l'échelle détaillée publiée par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a été utilisée car elle présente l'intérêt de s'attacher non seulement aux dommages aux biens mais également aux conséquences sociales de ces phénomènes. Les événements de classe 1 ont peu de conséquences sur les bâtis solides comme les maisons de bois ou pierre. En revanche, les cases construites pour l'essentiel en paille ou en bardeaux sont en grande partie endommagées ou du moins découvertes. À partir de la classe 3, les ouragans sont considérés comme majeurs avec des vents estimés entre 178 et 208 km/h. Ils se singularisent par l'ampleur des dommages occasionnés et les conséquences sanitaires et annonaires. Afin de prendre en compte les dépressions et tempêtes tropicales dans l'étude de l'exposition des départements d'outre-mer, la catégorie -1 a été ajoutée à cette échelle initiale.

Enfin, les données instrumentales disponibles servent à valider cette reconstruction. Ainsi il est possible de proposer une reconstruction de la sévérité des ouragans survenus dans les Antilles françaises depuis le début de la présence française tout en prenant en compte la vulnérabilité des biens au moment du passage de l'ouragan grâce aux informations contenues dans les retex (type de construction, état de vétusté…) (figure 5).

41. Andrés Poey, « Chronological Table of Cyclonic Hurricanes », *Journal of the Royal Geographical Society*, nº 25, 1856, p. 291-328 ; Pascal Saffache, Jean-Valéry Marc, Olivier Cospar, *Les cyclones en Martinique : quatre siècles cataclysmiques,* Ibis Rouge, Paris, 2002, 197 p. ; Pascal Saffache, Jean-Valéry Marc, Vincent Huyghues-Blerose, *Les cyclones en Guadeloupe : quatre siècles de cataclysmes*, Ibis rouge, Paris, 2003, 276 p.

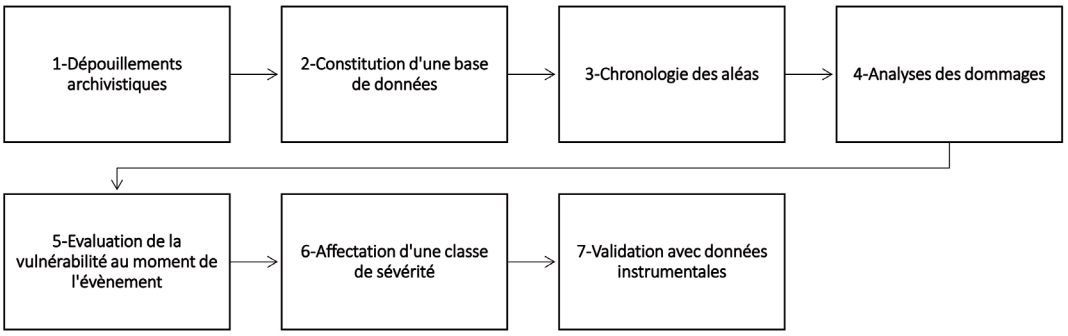


Fig. 4 — Caractérisation de la sévérité des ouragans dans les départements des Antilles françaises.

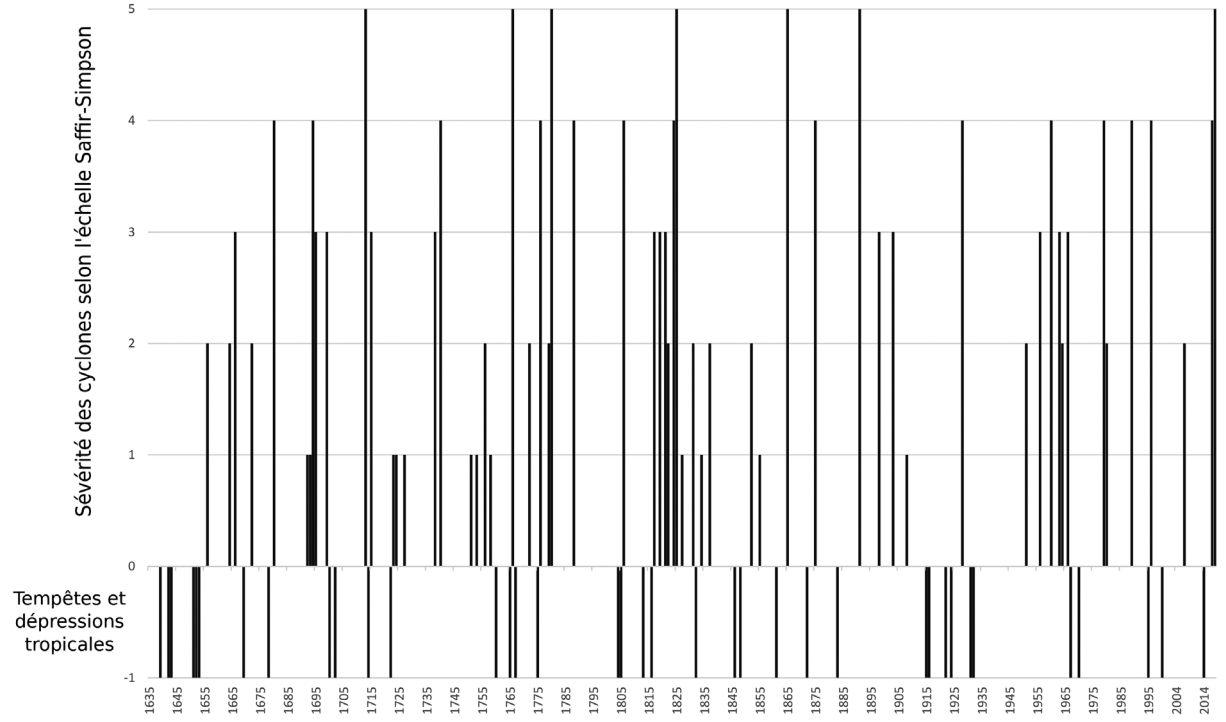


Fig. 5 — Les ouragans dans les Antilles françaises (1635-2017).

Ce type de reconstruction permet d'isoler les périodes marquées par une recrudescence des ouragans générateurs de dommages. Elle offre également le moyen de donner une épaisseur historique aux périodes de retour (tableau 2). Ce faisant, si l'on considère la chronologie reconstruite comme exhaustive, la période de retour de la survenance d'un système dépressionnaire (catégorie ≥ -1) est en moyenne de 7 ans en Guadeloupe et à la Martinique et de 22 ans pour Saint-Martin et Saint-Barthélemy (tableau 2). Pour les ouragans majeurs (catégorie ≥ 3), la période de retour est de 24 ans pour la Martinique et 20 ans pour la Guadeloupe.

Tabl. 2 — Période de retour des tempêtes tropicales et des ouragans dans les Antilles Françaises de 1635 à 2017

	Cat. 5	Cat. 4	Cat. 3	Cat. 2	Cat. 1	Cat. -1
Martinique	96	35	24	15	11	7
Guadeloupe	127	32	20	15	12	7
Saint-Martin/ Saint-Barthélemy	382	127	76	55	48	22

2.3.2 De l'archive à la modélisation

À cette approche statistique et quantitative, vient s'ajouter une seconde reposant sur une utilisation des données permettant de reconstruire les emprises d'aléa de certains événements passés. Ainsi pour la submersion de 1780, les données extraites des RETEX comme la hauteur des vagues observées ou les hauteurs d'eau dans les terres sont alors mobilisées pour reconstruire l'emprise de l'aléa. Cette reconstruction est ensuite validée à l'aide des données collectées sur les dommages (figure 6).

La même démarche a été mise en œuvre pour l'ouragan de 1928. Les informations collectées dans les archives ont permis de reconstituer l'aléa, à savoir les vitesses de vent, les hauteurs de précipitations et la surcote atmosphérique. Ainsi après la modélisation des différents aléas, il est possible d'estimer le coût que pourrait avoir cet événement s'il se reproduisait aujourd'hui en croisant le modèle d'aléa au modèle de vulnérabilité construit avec les données internes de CCR et regroupant l'ensemble des enjeux exposés[42].

42. James Thornton J. *et alii*, *Estimating hypothetical present-day insured*

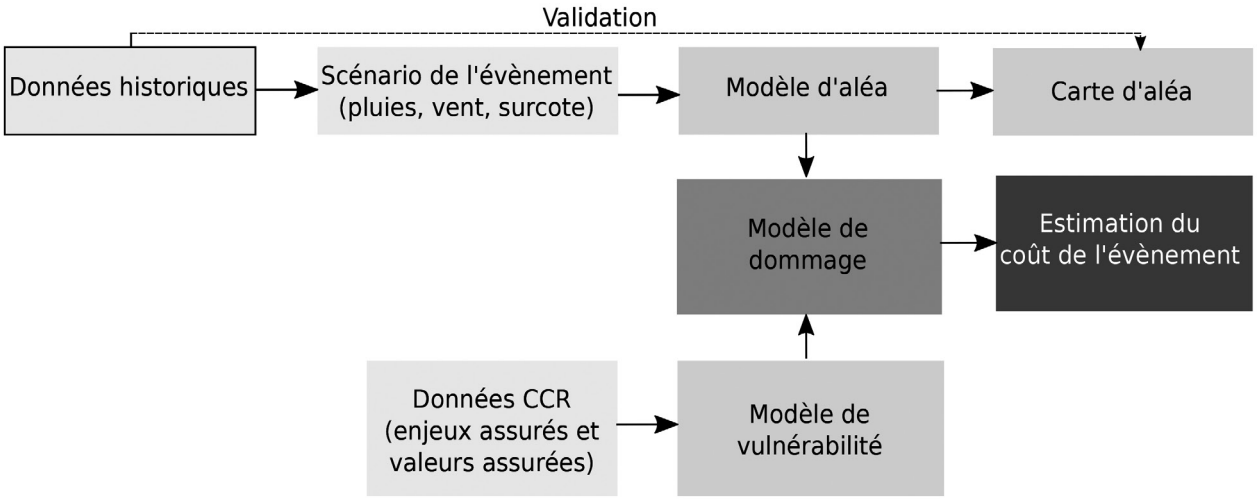


Fig. 6 — Utilisation des données historiques et modélisations à CCR.

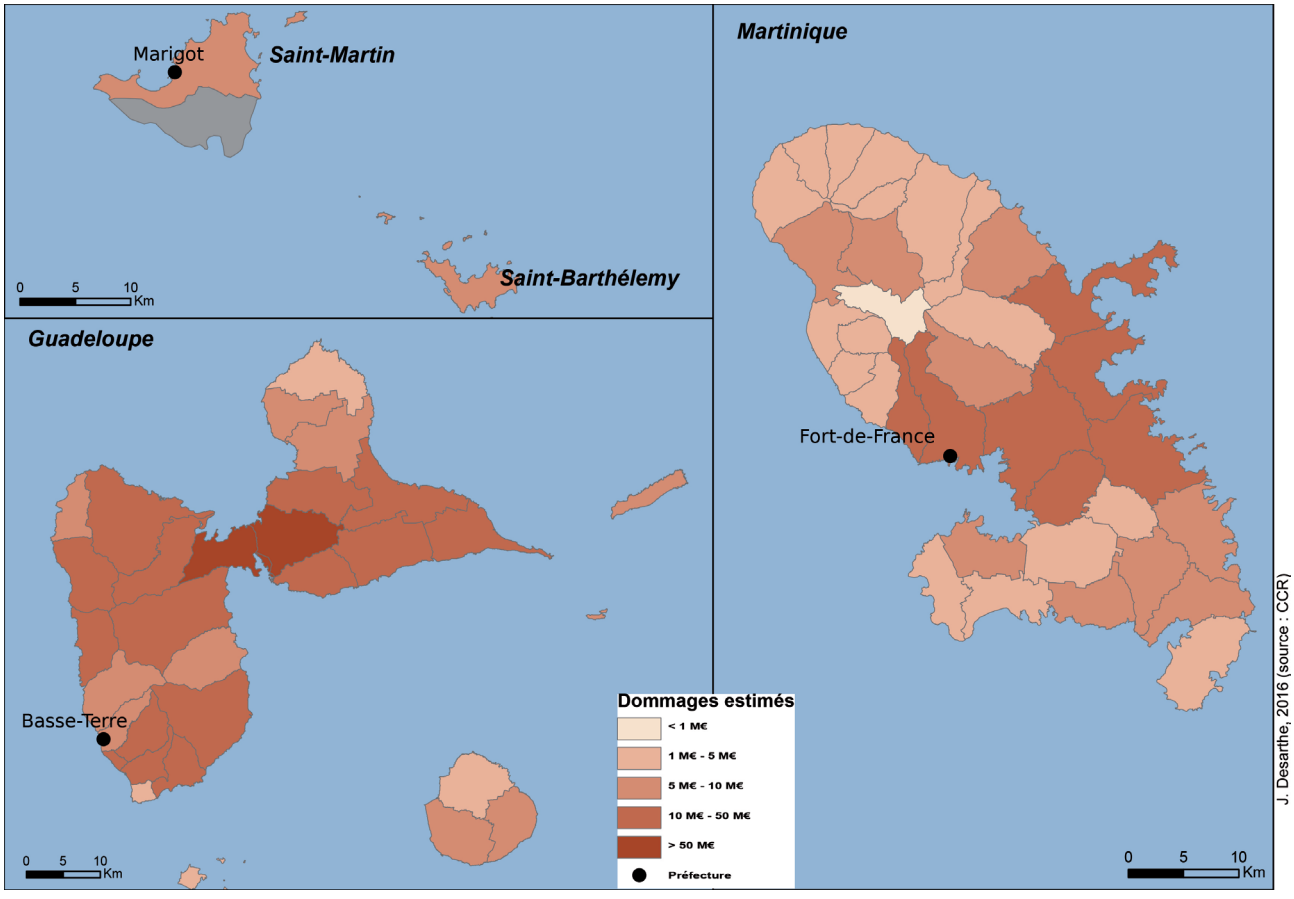


Fig. 7 — Coût estimé de l'ouragan de 1928 dans les départements des Antilles françaises.

Sur l'ensemble des départements des Antilles françaises, les pertes seraient alors d'environ 970 M€ et se concentreraient pour 70 % sur la Guadeloupe. Les pertes en Martinique correspondraient à 25 % du montant total en raison des dommages causés par la submersion aux communes de Fort-de-France et du Lamentin. Situées en périphérie de la trajectoire de l'ouragan, les îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy seraient touchées dans une proportion plus faible et ne regrouperaient que 5 % du total des dommages (figure 7). Ce faisant, les résultats de la simulation montrent que le vent serait responsable de 50 % des dommages, les inondations pour 24 % et les submersions pour 26 %.

losses for past intense hurricanes in the French Antilles, EGU General Assembly 2015, Vienna. Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-4882.

Conclusion

L'épaisseur historique donnée à cette contribution sur l'étude des RETEX a mis en exergue l'ancienneté de la pratique. Si la formalisation intervient dans la seconde moitié du XX^e siècle, les contenus des RETEX actuels sont déjà présents sous différentes formes au XVIII^e siècle et la démarche réflexive mise en œuvre au lendemain de la catastrophe atteste de la volonté de capitaliser à partir de l'expérience. Leur conservation dans les archives fait de ces RETEX du passé une manne importante d'informations pour comprendre l'exposition de ces départements domiens et pour analyser la manière dont les catastrophes sont prises en compte dans la gestion des risques.

L'analyse au long cours de ces documents a permis de relevés les nombreuses contraintes rencontrées par les sociétés anciennes pour traduire concrètement les différentes mesures ou propositions émises dans les rapports. La première contrainte est liée au temps et plus précisément à l'urgence du moment. En effet, dans le cas de l'usage de la tôle, la nécessité pour les sociétés de retrouver un fonctionnement normal et d'éviter l'émergence d'une crise sanitaire pousse les autorités à agir au plus vite et de recourir aux matériaux disponibles sans prendre en compte ou sans avoir conscience d'aggraver la vulnérabilité des populations.

La seconde est d'ordre financière. En effet, les fonds ne sont pas disponibles dès le lendemain de la catastrophe malgré les quelques fonds spéciaux du ministère des colonies. En 1928, si un décret alloue dès le 28 septembre un fonds de secours de 100 millions, celui-ci ne sera réellement disponible qu'en février 1929. De plus, la répartition de ce fonds en postes de financement précis empêche de privilégier des pistes innovantes de reconstruction qui auraient ainsi permis de réduire la vulnérabilité des sociétés sur le long terme.

La dernière contrainte qui émane de l'analyse des RETEX historiques résulte des savoirs et techniques accessibles au moment de l'événement. *A posteriori*, les politiques de prévention peuvent apparaître relativement archaïques. S'il faut attendre le début du XX^e siècle pour voir la création d'un réseau d'observation à l'échelle régionale, celui-ci ne gage pas pour autant que sa création a permis de réduire les dommages. De plus, le développement de réseaux de communications participe également à l'accroissement de la vulnérabilité des sociétés.

À une époque où l'idée de progrès reste relativement antinomique de celle de contraintes, la relecture des RETEX et leur recontextualisation (territoriale, économique et politique) permettraient d'appréhender les trajectoires de vulnérabilité et ainsi mieux comprendre l'exposition des enjeux actuels. L'approche historique ne se réduirait donc plus seulement à fournir une chronologie des événements dans laquelle elle se trouve encore trop souvent enfermée.

Bibliographie

André J.-C., Royer J.-F., Chauvin Fabrice, « Les ouragans tropicaux et le changement climatique », *C.R. Géoscience*, vol. 340, 2008, p. 575-583.

Blong R., « A review of damage intensity scales », *Natural Hazards*, vol. 29, 2003, p. 57-76.

Butel P., *Histoire des Antilles Françaises*, Tempus, Paris, 2012, 576 p.

Caviedes C., « Five Hundred Years of Hurricanes in the Carribean : Their Relationship with Global Climatic Variabilities », *GeoJournal*, n° 23, 1991, p. 301-310.

David G. (dir.), *Espaces tropicaux et risques. Du local au global*, Actes de la X^e journée de géographie tropicale, Presses universitaires d'Orléans, Collection du CEDETE, Orléans, 2004, 449 p.

Delawarde J.-B., *La vie paysanne à la Martinique. Essai de géographie humaine*, Fort-de-France, Imprimerie officielle, 1937, 227 p.

Denise C., « Une histoire évolutive de l'habitat martiniquais », *In Situ. Revue des patrimoines*, n° 5, 2004.

Desarthe J., « Ouragans et submersions dans les Antilles françaises (XVII^e-XIX^e siècle) », *Études caribéennes*, n° 29, décembre 2014, DOI : 10.4000/etudescaribeennes.7176.

Desarthe J., *Le temps des saisons. Climat, événements extrêmes et sociétés dans l'ouest de la France*¸ Paris, Hermann, 2013, 338 p.

Desarthe J., Moncoulon D., « Quatre siècles de cyclones tropicaux dans les départements d'outre-mer », *La Météorologie*, n° 99, p. 52.

Dessalles P., *La vie d'un colon de la Martinique*, Fort-de-France, Désormeaux, 1987, 381 p.

Du Tertre J.-B., *Histoire générale des Antilles habitées par les françois*, tome II, Paris, Thomas Jolly, 1667, 574 p.

Farge A., « Penser et définir l'événement en histoire. Approche des situations et des acteurs sociaux », *Terrain. Anthropologie et sciences humaines*, n° 38, 2002, p. 67-68.

Galibert T., Perrin T., Pipien G., *Pour des retours d'expérience au service de la stratégie nationale de gestion du risque inondation. Synthèse du collège prévention des risques naturels et technologiques*, rapport n° 010890-01, Paris, Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, février 2017, 42 p.

Géode Caraïbe, *La Caraïbe : données environnementales*, Karthala, Paris, 2006, 458 p.

Géode Caraïbe, *Les Antilles, terres à risques*, Paris, Karthala, 1999, 311 p.

Koussoula-Bonneton A., « Le passage dévastateur d'un ouragan : conséquences socio-économiques. Le cas du cyclone Hugo en Guadeloupe », *La Météorologie*, n° 7, 1994, p. 25-37.

Le service météorologique et de physique du globe de la Martinique, Paris, Larose, 1938, 48 p.

Leone F., *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes naturelles : contribution à une évaluation géographique multirisque*, Habilitation à diriger les recherches, université Paul-Valéry, Montpellier III, 2007, 332 p.

Magnan A., Duvat V., « Trajectoires de vulnérabilité et adaptation au changement climatique à La Réunion », Police Briefs IDDRI, n° 08, 2016, 4 p.

Magnan A., « La vulnérabilité des territoires littoraux au changement climatique : Mise au point conceptuelle », *IDDRI Analyses*, n° 01, 2009, 29 p.

Mann M., Woodruff J., Donnelly J., Zhang Z., « Atlantic hurricanes and climate over the past 1500 years », *Nature*, vol. 460, 2009, p. 880-883.

Meschinet de Richemond N., Reghezza M., « La gestion du risque en France : contre ou avec le territoire ? », *Annales de Géographie*, n° 673, 2010, p. 248-267.

Meschinet de Richemond N., « Histoire et vulnérabilité : d'une perception empirique et globale à une approche théorique et sectorielle », *Revue du Nord,* Hors-Série, n° 16, 2011, p. 19-26.

Mortureux Y., *Le retour d'expérience en questions,* Techniques de l'Ingénieur, traité L'Entreprise industrielle, AG 4608.

ONERC, « Les outre-mer face au défi du changement climatique. Rapport au Premier ministre et au Parlement », *La Documentation française*, Paris, 2012.

Poey A., « Chronological Table of Cyclonic Hurricanes, *Journal of the Royal Geographical Society* », n° 25, 1856, p. 291-328.

Saffache P., Marc J.-V., Cospar O., *Les cyclones en Martinique : quatre siècles cataclysmiques*, Ibis Rouge, Paris, 2002, 197 p.

Saffache P., Marc J.-V., Huyghues-Blerose V., *Les cyclones en Guadeloupe : quatre siècles de cataclysmes*, Ibis rouge, Paris, 2003, 276 p.

Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Programmes d'actions 2017-2019, ministère de l'Environnement de l'Énergie et de la mer, 2016, 28 p.

Thornton J., Desarthe J. *et alii*, *Estimating hypothetical present-day insured losses for past intense hurricanes in the French Antilles*, EGU General Assembly 2015, Vienna. Geophysical Research Abstracts, vol. 17, EGU2015-4882.

Thouret J.-C., D'Ercole R., « Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales », *Cahier des sciences humaines*, n° 32, 1996, p. 407-422.

Vallette C., Cartier S., « Dénombrer pour maîtriser les dommages des catastrophes naturelles », *VertigO — la revue électronique en sciences de l'environnement*, volume 12, n° 1, mai 2012, DOI : 10.4000/vertigo.12138.

Veyret Y. (dir.), *Dictionnaire de l'environnement*, Paris, Armand Collin, 2007.

3 The Use of Citizen Information in Post-event Analysis of Flash Floods in Catalonia

Montserrat Llasat-Botija, Maria Cortès, Maria Carmen Llasat
GAMA (Meteorological Hazards Analysis Team), Dept. of Applied Physics, University of Barcelona, Spain
mllasat@meteo.ub.edu

Abstract.—The application of citizen science to three catastrophic flash flood events in Catalonia have been analysed: 25 September 1962 (815 deaths and 526 million $€_{2016}$ in losses), 10 June 2000 (5 deaths and 91 million $€_{2016}$) and 12–14 October 2016 (1 death and more than 7.4 million $€_{2016}$). The comparison of these three events allows illustrating the changes in the information availability and social participation in the information generation, as well as to show the exposure and vulnerability changes in the territory. Another key aspect clearly observable is the improvement of the protection and security of the population thanks to the advances in meteorological forecasting and civil protection measures. The availability of information has also played an important role. Over the years there has been an increase in the events information, especially the last years with Internet and social networks. The data and observations of citizens (citizen science) are an opportunity to improve the post-event analysis and, also, knowledge and awareness of the population.
Keywords.—Floods, Exposure, Vulnerability, Emergency Management, Internet, Social Networks, Citizen Science.

Titre.—*L'application de la science citoyenne dans l'analyse post-événement des crues éclairs en Catalogne*
Résumé.—*L'application de la science citoyenne à trois inondations catastrophiques en Catalogne ont été analysées: 25 septembre 1962 (815 décès et 526 millions $€_{2016}$ de pertes), 10 juin 2000 (5 décès et 91 millions $€_{2016}$) et 12-14 octobre 2016 (1 décès et plus de 7,4 millions $€_{2016}$). La comparaison de ces trois événements permet de montrer les changements de disponibilité d'information et la participation sociale dans la génération d'information ainsi que de présenter les changements d'exposition et de vulnérabilité du territoire. Un autre aspect clé clairement observable est l'amélioration de la protection et de la sécurité de la population grâce aux progrès de la connaissance météorologique et des mesures de protection civile. La disponibilité de l'information a également joué un rôle important. Au fil des ans, il y a eu une augmentation de l'information sur les événements, en particulier ces dernières années avec Internet et les réseaux sociaux. Les données et les observations des citoyens (science citoyenne) sont une occasion pour améliorer l'analyse post-événement et, aussi, la connaissance et la sensibilisation de la population.*

Mots-clés.—*Inondations, exposition, vulnérabilité, gestion des urgences, Internet, réseaux sociaux, science citoyenne.*

Introduction

Between 2005 and 2015 more than 1,500 million people worldwide have been affected by natural disasters. Only in 2015 they caused economic damages of more than US$66.5 billion (EMDAT, 2016). In Spain, floods are the most important natural hazards, for their social and economic impact and the loss of human lives. Between 1971 and 2015 the Consorcio de Compensación de Seguros (Insurance Compensation Consortium) paid more than 5,000 million EUR in compensation for damages by floods (61.3% of the total) (Figure 1).
The Fifth Report of the IPCC and other international climate change reports emphasize a very likely increase in intensity and frequency of natural hazards. The problem is aggravated if we consider the increase of population and property at risk, especially in cities. In this context, the improvement of mitigation and prevention strategies becomes a priority. The improvement of civil protection, of observation and prevention systems has been crucial in reducing the impact caused by natural hazards.
The development of post-event studies can also help to improve the running of these systems and the resilience of the community. Thanks to these studies, "lessons learnt" are extracted and subsequently applied to improve protection and prevention against flooding. To carry out this type of studies, it is necessary to have information about the episode in question. However, in general, is not easy to have the specific and detailed information of all the impacts that have occurred, or which has been the role played by the public response. For this reason, there is a need to identify new sources of information that enable an estimation of the local impact of these adverse events.
The aim of this paper is, on the one hand, to analyse the role that changes in vulnerability and emergency management have had in the population's safety under risk situations. On the other hand, the role of citizen information in post-event analysis and in improving awareness of the risk of flooding will be analysed. All this will be developed through the analysis of three episodes of catastrophic floods by paying attention to the changes that have taken place in the vulnerability and exposure and the emergency management together with the available information.

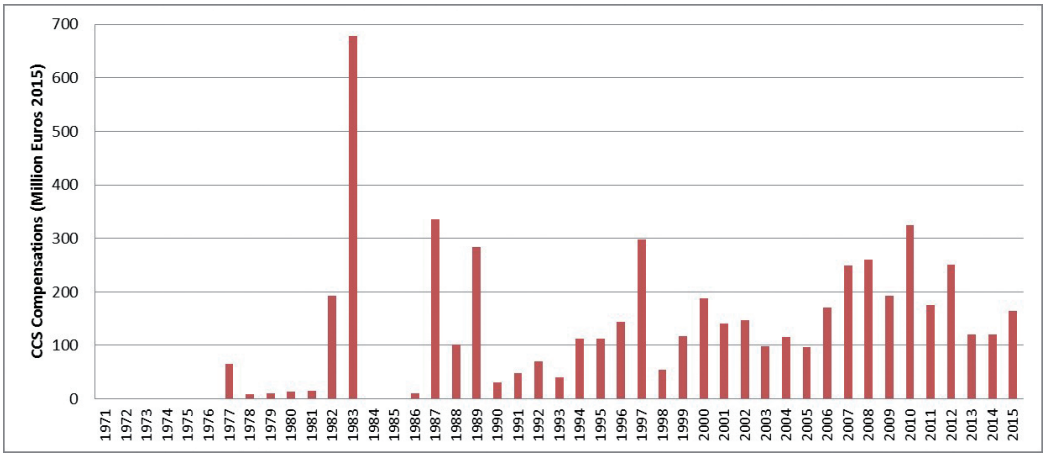


Fig. 1—Compensations paid between 1971 and 2015 by Insurance Compensation Consortium in Spain for floods (Source: Consorcio de Compensación de Seguros).

3.1 Study Area, Data and Methodology

3.1.1 Study Area

Catalonia has a surface area of 31,930 km^2 and it is located in the Northeast part of the Iberian Peninsula. It is bordered to the East by the Mediterranean Sea, to the North by the Pyrenees and to the West, by the Ebro river valley. The most relevant topographic features are the Pyrenees, which rise to over 3,000 m, the Littoral range and the Pre-littoral system, both located parallel to the coast, reaching higher than 700 m and 1,700 m respectively. The hydrographical network covers the tributary waters of the Ebro basin and the Internal Basins of Catalonia (IBC), which include rivers that rise in Catalonia and flow into the Mediterranean Sea (Figure 2). From an administrative point of view, the region is divided in 41 counties and 947 municipalities which usually are grouped into three main regions: the Pyrenees, the coastal region, and the inland region (Figure 2a). Annual precipitation overpasses 1,200 mm in the North of the region, but does not arrive to 400 mm in the Southern part. The Maresme is a county located in littoral range of Catalonia (Figure 2b). This county, of 398.5 km^2, is traversed by numerous torrential streams around which the settlements of the county are constructed. Most of these streams are temporal. The county has a population density of 1,107.8 inhab/Km^2, one of the highest in Catalonia (Llasat *et al.*, 2010).

According to INUNCAT (the Civil Protection Plan on the Risk of Floods in Catalonia, DGPC, 2012), more than 40% of municipalities in Catalonia have a high or very high flood risk. The coastal fringe, where the majority of the population is concentrated, is the most affected area due to the presence of numerous delta plains and river and stream outlets. More than 250 flood events (including flash-floods) were recorded during the period 1981–2015 in Catalonia. The geographic distribution emphasizes the high concentration of these events along the coast, due to the presence of torrential streams, a higher frequency of intense convective and highly localized rainfall events, and greater vulnerability and exposure, since this area has the highest concentration of population, industry, and services. Thus, considering the areas shown in Figure 2, the Littoral is affected by 71% of events, compared to 19% in the inland region and 10% in the Pyrenees (Llasat *et al.*, 2014). 48% of the population of Catalonia is concentrated in the counties of the Baix Llobregat, Barcelonès and Maresme, where the maximum number of flood events has been recorded in the last century. Barcelona lies between the Llobregat River, at the South, and the Besòs River, at the North (Table 1). Both rivers are important not only because they supply water and energy resources for industries, agriculture and urban use, but because they have experienced catastrophic floods in the past affecting the most populated area of the country.

Tabl. 1—Main Features of the Besòs and Llobregat Rivers

	Besòs basin	Llobregat basin
Area (km^2)	1,020.01	4,956.92
Average annual rainfall (hm^3)	674	3,331
Average annual contribution (hm^3)	129.86	700.01
Gauging station	Sant Adrià del Besòs	Martorell
Average daily flow (m^3/s)	3.9	20.77
Peak flow 1962 (m^3/s)	1,870	1,550
Peak flow 2000 (m^3/s)	-	1,400

3.1.2 Data and Methodology

INUNGAMA (Barnolas and Llasat, 2007; Llasat *et al.*, 2014) developed by the GAMA group, is an Access database associated to a GIS that includes the episodes of floods that have affected Catalonia between 1900 and 2015 (Llasat *et al.*, 2013). In total there are 414 events, out of which 258 occurred between 1981 and 2015. This base compiles information on the start and end dates of the episode, precipitation, location (affected municipalities, counties and watersheds) as well as economic damages and fatalities, among other information. The events are classified into three categories according to their impact (Barriendos *et al.*, 2003; Llasat *et al.*, 2005, 2013):

- Ordinary rise in stage or small flood: The rise in stage does not usually involve the river channel overflowing. No serious damage or destruction is caused, but minor damage to hydraulic installations such as mills or irrigation channels cannot be ruled out.
- Extraordinary to intermediate flooding: The discharge is sufficient to exceed channel capacity. Floodwater is present in urban areas or in the reaches under study, although the level reached in them can be variable. Minor damage to urban infrastructure, but the impact on hydraulic installations adjacent to or in the channel,

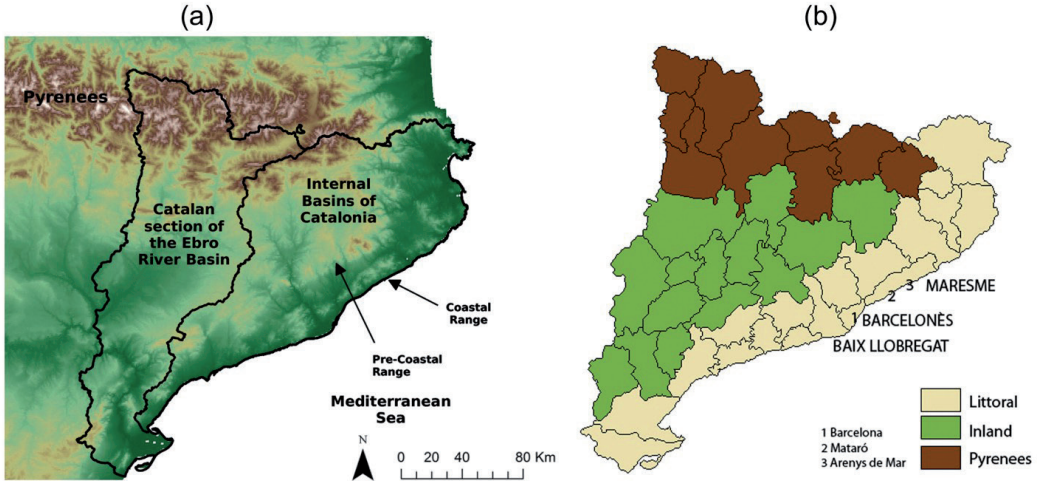


Fig. 2—(a) Map of Catalonia showing the orography and main river basins; (b) Map showing the counties that have been grouped in three regions: Littoral, Inland and Pyrenees (from Llasat *et al.*, 2014).

such as mills, irrigation channels, dams, or footbridges can be severe, with partial destruction.

- Catastrophic flooding or large flood: The levels reached can be the same as or exceed those of an extraordinary flooding episode. The difference lies in the strength or capacity of the out of channel flows to cause severe damage or complete destruction of infrastructure close to the river. Furthermore, the floodwaters can affect zones away from the channels and with destructive effects. Dwellings may collapse, sections of roads may be destroyed, crops may be lost, and shrub and tree species may be uprooted and swept away.

PRESSGAMA is a database developed by the GAMA group, which contains more than 15,000 news articles on natural hazards and climate change published in La Vanguardia newspaper since 1981 (Llasat et al, 2009a). This information has been compiled by means of the systematic review in newspapers library funds as well as digital newspaper archive (`www.lavanguardia.com/hemeroteca`). La Vanguardia was the newspaper selected as it is one of the most important ones in Catalonia and in Spain too (in 2010 had a circulation of more than 200,000 daily copies). News (articles, reports, columns, opinion articles,) connected to natural hazards and climate change as well as general aspects like natural hazard prevention and its legislation have been collected.

The meteorological information comes from the **State Meteorological Agency** (*Agencia Estatal de Meteorología*, AEMET), the **Meteorological Service of Catalonia** (Servei Meteorològic de Catalunya**,** SMC) and the stations of the **meteorological network of the Regional Council of Maresme** (*Consell Comarcal del Maresme,* CCM). The *Consell Comarcal del Maresme* is a public supra-municipal entity, at the service of the municipalities of the county. The CCM meteorological network is composed of 13 automatic meteorological stations and is in charge of the regional meteorological service. There have also been available data from weather stations managed by *amateurs*. The information of Civil Protection Emergencies comes from the **Directorate General of Civil Protection of the Generalitat de Catalunya** (*Direcció General de Protecció Civil de la Generalitat de Catalunya*).

Information regarding economic damages can be completed through reports from the "**Insurance Compensation Consortium** (*Consorcio de Compensación de Seguros*, CCS)", a Spanish national reinsurance company that covers losses due to significant risks through economic compensations. The purpose of the Consortium is the financial compensation due to losses caused by extraordinary phenomena in Spain affecting assets located anywhere in the country. The decision to regard the event as an extraordinary one is established by the CCS. In order to be entitled to compensation, property must be insured and be up-dated payment wise and the phenomenon that caused the damages should be considered as something extraordinary.

The information has been completed with information from the **Internet and social networks** and the **FLOODUP** platform. The most popular social networks have been selected (Twitter, Facebook, YouTube and Instagram). FLOODUP is a citizen science platform dedicated to improve the knowledge of the impact of the floods (`www.floodup.ub.edu`). A mobile APP (floodup) has been developed (Android, iOS) to collect geo-located observations of floods and other phenomena effects.

3.1.3 Study Cases

The study has been focused in three main catastrophic events (table 2). First one is the event of 25 September 1962, when heavy flash floods were produced in the Llobregat and Besòs rivers and their tributaries. More than 800 people died. The financial losses were estimated to be about 526 million $Euros_{2016}$. A similar meteorological event occured during the early hours of 10 June 2000, giving place to over 91 million $Euros_{2016}$ of damage and five fatalities. The worst affected zones were the medium and low reaches of the Llobregat catchment and many of the coastal watercourses (Francés, 2000). A third event has been considered to illustrate the changes in the information availability and social participation in the information generation. This is the flash flood event of 12-14 October 2016 that especially affected the Maresme county. The floods caused, at first evaluation, 7.4 million $Euros_{2016}$ in damages and one victim. Thereafter the study is presented and comparison of the key aspects of hazard, vulnerability and emergency management. Next, the analysis of the role of citizen information and post-event studies will be duly presented.

Tabl. 2—Main data of the three selected study cases (Fat: fatalities; N. municip: number of affected municipalities)

Event	Precipitation	N. municip	Early warning	Civil Protection	Fat.	Economic damage
1962	P_{24h} max.: 250 mm (25/9)	27	No Early warning system No Meteorological Radar	No	815	526 M €$_{2016}$
2000	P_{24h} max.: 224 mm (10/6)	112	Early warning system and Meteorological Radar	Civil Protection Specific Emergency Plan for floods (INUNCAT)	5	91 M €$_{2016}$
2016	P_{24h} max.: 220.9 mm (12/10)	10	3 warnings (SMC)	INUNCAT activated in alert phase.	1	First evaluation (Maresme town councils): 7.4 M €$_{2016}$

3.2 Hazard Analysis

On 25 September 1962 maximum rainfall achieved 250 mm in less than 6 hours in Martorelles near Sant Llorenç de Munt (Prelittoral Mountain Range) (Figure 2a). The Llobregat River recorded a peak flow of 1,550 m^3/s in Martorell gauging station, being about 20 m^3/s the average daily discharge (Table 1).

The most marked hydrometeorological feature of the 2000 flood was the considerable intensity of sustained precipitation, with accumulated hourly quantities of over 100 mm and 6 h maxima of over 220 mm in Montserrat (Prelittoral Mountain Range, near Sant Llorenç de Munt) (Figure 2b). In 2000 the highest increase in Llobregat River was recorded at Castellbell i el Vilar (the nearest by upper stream of Martorell, the gauging station at Martorell was actually swept away by the freshet) around 00:09 UTC, with over 4.5 m and a peak flow of some 1,100 m^3/s (Table 1).

During the episode of October 2016 220.9 mm was recorded in 24h, a similar quantity that those recorded on the 1962 and 2000 events (Figure 3c). A major part of this precipitation was concentrated in a few hours only. In Cabrils rained 85 mm in 30 minutes, being a record figure since we have available data. There were tornadoes in some areas and a wave storm with waves of up to 4 meters. A large part of the streams were overflooded. Although the area most affected was the Maresme, a major storm of hail and rain affected several municipalities in the province of Girona.

These flood events were characterized as Type 2b related to episodes of heavy rain sustained for several hours that can produce catastrophic floods due to the higher than normal daily rainfall amount (usually more than 200 mm in less than 6 hours) (Llasat *et al.*, 2016). They are "strongly convective events" and can produce catastrophic flash floods in rivers with upland headwaters with intermediate-sized catchments (50–2,000 km^2) and flows and short littoral and ephemeral water courses with small catchments (5–50 km^2) and steep channels. This kind of event requires convective instability with abundant feeding of warm and wet air from low levels, and a mechanism to force air ascent to release the potential instability or to destabilize the air column. Convective rainfall is generally produced by "multicells" or "mesoscale convective systems".

3.3 Vulnerability and Exposure

The flash floods recorded in 25 September 1962 produced enormous damages and more than 815 deaths (dead and missing people), although the most affected area was less than 500 km^2 and less than 30 municipalities (Figure 4). A lot of homes, roads, rail network, bridges and other hydraulic infrastructure were destroyed. Damages were also serious in industries, only in Sabadell municipality, 50 textile factories were destroyed. In the same village more than 200 homes and more than 80 cars were also destroyed. The floods caused the total loss of crops. More than 4,000 people lost their home and many people, their jobs. A key aspect of the impact of the event was the sudden increase of population on this year and the previous ones in the affected region: every day emigrant people from other parts of Spain arrived to these cities where the textile industry demanded day by day more people. Some of them lived in infrahuman conditions, sharing little flats; other ones built their houses in flood prone zones. A quartier completely disappeared carried out by the water. Besides this, other robust houses and infrastructures built near the river were also destroyed due to all the debris carried by the river (including some parts of destroyed bridges).

In the 10 June 2000 event, the floods affected a total of 112 municipalities (5,037 km^2) (Figure 5). The partial destruction of infrastructure at Montserrat Monastery (720 m a.s.l.), was one of the most important damages. 500 people had to be evacuated by Civil Protection after the rainfall as a consequence of the destruction of some roads leading up the mountain, the total destruction of many bridges and sections of roadways, and the flooding of built-up and residential zones with the attendant destruction of some dwellings. There were five fatalities (only three directly affected by the sudden flood). Although the average population increased, this episode affected a lesser populated area with fewer number of factories than in the case of the 1962 event (Table 3).

Tabl. 3—Total population in selected counties and Barcelona province (Source: *Centre d'Estudis Demogràfics* and *IDESCAT*)

County/province	Total population 1960	Total population 2000
Bages (Llobregat)	127,718	153,776
Baix Llobregat	166,044	678,724
Barcelonès	1,821,324	2,096,571
Vallès Occidental (Besòs)	268,386	717,181
Anoia (Llobregat)	48,695	89,876
Maresme	125,660	345,423
Barcelona province	2,877,966	4,736,277

In the event recorded between 14 and 16 October 2016 the water went down by the streams in the Maresme area, the majority of which are streets that are just in the core of the

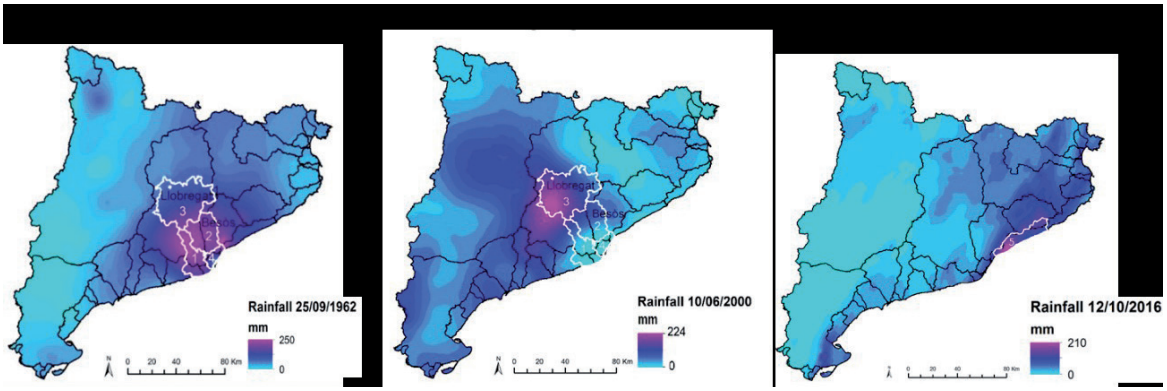


Fig. 3—(a) Daily rainfall field recorded on 25 September 1962; (b) 10 June 2000 (source: AEMET) and (c) 12 October 2016 (Source: SMC). Main counties affected marked with a white line (1: Baix Llobregat, 2: Vallès Occidental, 3: Bages, 4: Barcelonès, 5: Maresme).

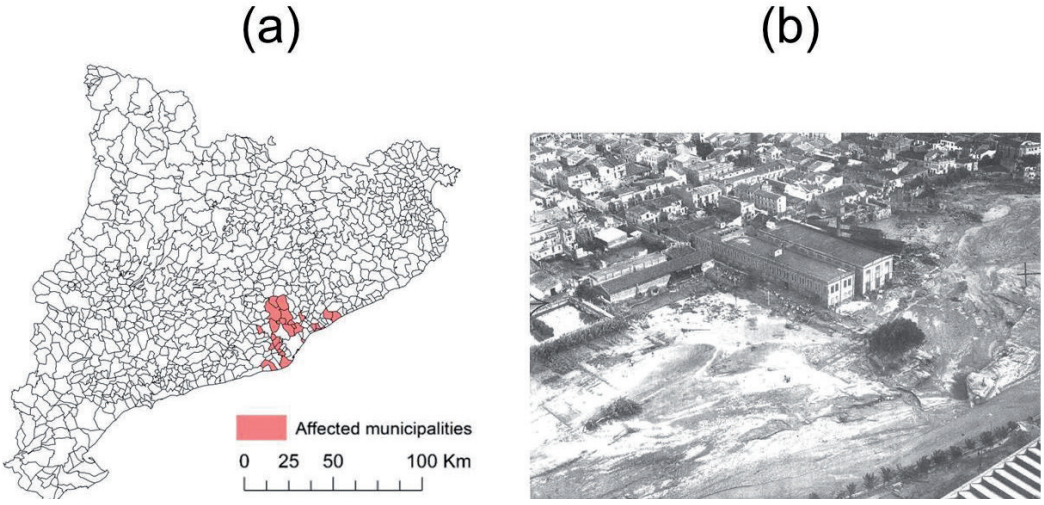


Fig. 4—(a) Map of the most affected municipalities in the flash flood event of 25/9/1962; (b) A great number of houses and factories disappeared like these in Rubí (Source: La Vanguardia).

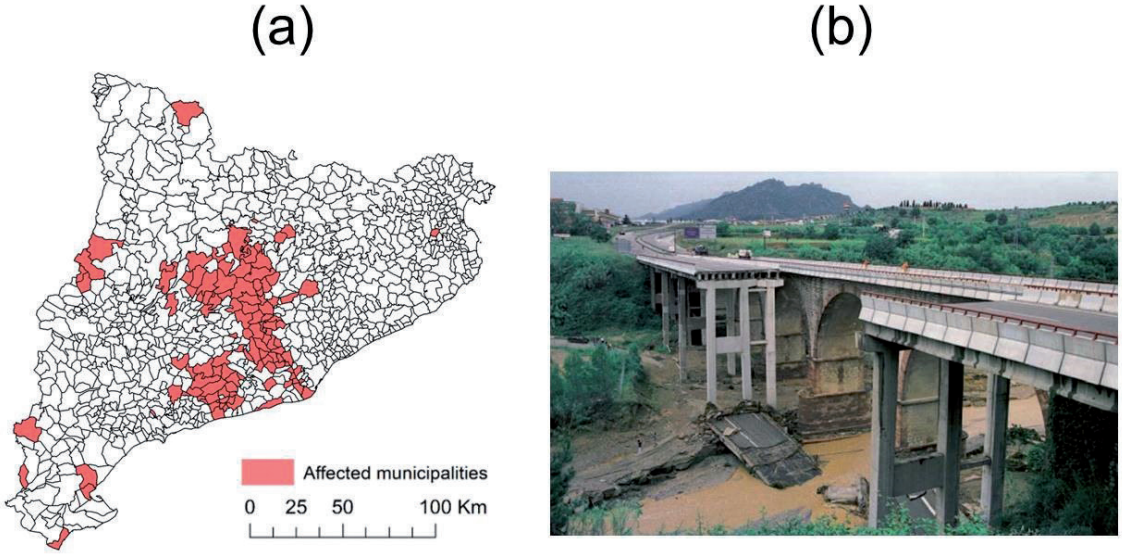


Fig. 5—(a) Map of affected municipalities in 10/6/2000 event; (b) The bridge of the highway was destroyed (Source: La Vanguardia).

Fig. 6—Photo of a flooded area in Vilassar de Mar. The railway and the main road are parallel to the coast line and perpendicular to the stream ("riera") that crosses the city (source: Twitter).

city. Maresme is one of the counties with more flood events in Catalonia between 1981 and 2015, 114 episodes have been registered in the aforementioned period, which is equivalent to about 3 episodes per year. However, this time the water speed was a lot worse than in previous episodes of this nature and in some places the sewer system collapsed (Figure 6). This caused that several cars were dragged and important damages occurred in the beaches and subterranean passages as well as public infrastructures. The circulation of trains as well as the traffic in roads and highways in the area got interrupted. There were some power blackouts. The Municipal Council of Maresme evaluated the damages in the region in more than 7 million €. Vilassar was the most affected municipality with over 3 million € followed by Cabrils with about 2 million € (Figure 6). A fatality occurred when crossing by car a stream, in spite of the prohibition made by the police.

The main explanation for the enormous magnitude of the episode of 1962 resides mainly in the high exposure and vulnerability that had the region most affected by heavy rainfalls. It was a phenomenon of high hazard, but not a unique phenomenon in history. In fact, the flood that occurred in 2000 recorded similar quantities of rainfall causing much less damage. In the case of 1962, the concentration of factories and dwellings in flooded areas was decisive, as well as the great amount of solid drag carried by the streams. In June 2000, since it affected a less populated area, the damage was not that bad after all. The greatest number of victims was produced in 1962, when the population was near a half of the population in 2000 (Table 3). In the case of 2016, the high population density and urbanisation were key factors. A great part of the streams of the county are either covered or turned into streets. With streets being urbanised and the stream channel canalised losing its natural bed, the water reaches greater speed so that its damaging power is even worse. This fact, together with the high population density, favours a greater exposure of assets and, consequently, a greater volume of losses.

3.4 Alert and Emergency Management

In 1962, the weather forecast was based mainly on the maps developed by the German Weather Service, before the creation of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in 1975. Neither, there was operational Meteosat satellite nor much less meteorological radars in Europe (Figure 7). In fact, the forecasting of the *Instituto Nacional de Meteorología* (the current AEMET) for the day of the floods (25th) was similar as those that took place in the rest of Spain, which weren't heavy rains, and for this reason no action was taken. The most affected region, the Vallès County, was declared internationally as a Catastrophic Zone and all kinds of public and private organizations came to help the victims. The recovery tasks were in charge of the army, with the help of many volunteers.

In 2000 there were early warning system as well as radar network and special Emergency Plan for floods in Catalonia. In 2000's event the level 1 of INUNCAT Plan (Emergency Protection Civil Plan for floods) was activated and the emergency management worked out well. In total, 200 inhabitants were evacuated in Sant Vicenç Castellet, and other 500 ones in Montserrat (operation Noria). The human damages could have been much worse if the event had occurred only a few hours later, as the affected zones were prominent for their tourist activity. Fortunately, the people that habited the destroyed part of the Monastery were evacuated by a monk some time before the rocks, mud and water destroyed the rooms. Furthermore, some villages had to activate their Municipal Emergency Plans, like the Vendrell and Martorell municipalities. In particular, in Vendrell more than 50 forces, 24 fire engines, local police, Civil Guard and Mossos d'Esquadra (autonomic security agents) were mobilized. The recovery works lasted more than one month.

In the case of October 2016, the Meteorological Service of Catalonia released three consecutive warnings (precipitation intensity, precipitation accumulation and sea conditions) and it was activated the INUNCAT plan in the alert phase and PROCICAT by heavy waves. 112 emergency phone number received more than 1,200 calls, mostly from the Maresme area. Among the operations carried out it stands out the rescue of more than 10 people who got trapped by the floods in their vehicles. This suggests that there are victims due to inappropriate behaviour towards risk, such as crossing a stream carrying a great deal of water. Since the event occurred in the afternoon of a holiday, many problems were avoided that would have occurred had it happened on a working day (schools with children coming and going, returning home from work…).

As can be seen in Figure 7, a remarkable progress has been made between the 1962 and 2000 episodes in terms of Civil Protection and meteorological surveillance. Especially after the catastrophic floods of the 1980's like those that occurred in the Valencia Community in October 1982 and caused about 40 casualties. Among these changes, the first network of the Automatic Hydrological Information System (SAIH) was developed in 1983 in the Júcar river basin. In terms of Civil Protection, the approval of the Basic Regulation of Civil Protection in 1985 meant the birth of Civil Protection in Spain. On the other hand, concerning meteorological surveillance, in 1987 the PREVIMET (Weather forecast and monitoring Plan of the State Meteorological Agency) was approved. In 1995, the Basic Guideline for Civil Protection Planning for the prevention of risk of floods (*Directriz Básica de Planificacion de Proteccion Civil ante el riesgo de inundaciones*) was approved. That very year it was approved in Catalonia the first Civil Protection Plan (PROCICAT) and the following

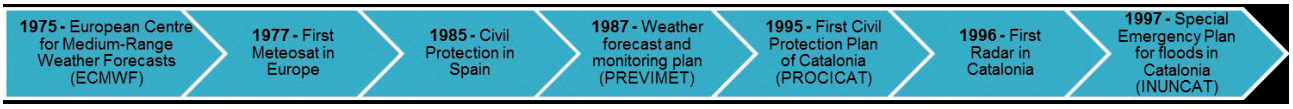


Fig. 7—Evolution of the early warning and civil protection systems.

year, 1996, the first radar was installed in Catalonia. The Special Emergency Plan for floods in Catalonia (INUNCAT) got approved in Catalonia in year 1997.

However, approaches to flood management have recently changed since the approval in 2007 of the European Flood Framework Directive 2007/60. This Directive was transferred into Spanish law by means of Royal Decree 903/2010 of 9th July of assessment and management of flood risks. These new flood policies mean a change in flood risk management in the sense of "making space for water" policy (Defra, 2005; Nakamura and Llasat, 2017). This Directive recognize the importance of non-structural measures like land-use regulation or improvement of population awareness or early warning systems (Hall and Penning-Rowsell, 2011; Faulkner *et al.*, 2011). In this context, the population awareness of the potential risk involved, recovery of historical memory together with citizen participation (in some phases of the implementation of the Directive the public participation is required) become key adaptation strategies in the face of floods.

3.5 Citizen Information in Post-event Studies

3.5.1 Post-event Studies and the Press

In some countries, such as France, after a flood event, a study should be carried out. In this country they are known as RETEX (RETour d'Experience). They aim to learn lessons to improve the response to floods or similar catastrophic episodes. These studies are in line with the philosophy of the Floods Directive. In addition, they may also be useful to increase public awareness. In order to carry out these studies, the availability of information and citizen participation is crucial. However, in Spain these studies are not usually performed. In this case it is necessary to obtain information from the press, scientific articles or technical reports among other sources.

As far as the press is concerned, it can be used as a source of information on the impact of natural hazards (Llasat *et al.*, 2009b). It can also be an indicator of the social perception of said impact (Llasat *et al.*, 2009a) or to analyse how the communication of these concepts is done (Miles and Morse, 2007; Cerrillo, 2008). As a source of information it is very useful for the reconstruction of episodes and for the completion of series of episodes (Petrucci, 2012; Bayés Bruñol *et al.*, 2003). Furthermore, as from the press and other sources such as insurance companies or official reports, relevant data are extracted that supplement the information of an event that occurred when there is not enough instrumental information (for example, the height reached by the water at a given point in case of a flood) or to confront the information and to have a greater detail of the impact of the damage as well as to have images of the episode (Llasat-Botija *et al.*, 2016; Petrucci, 2012; Bayés Bruñol *et al.*, 2003). All this is particularly important when there are no after-event studies.

In the case of the 1962 floods, although some hydraulic prevention measures were applied after the event, there was not post-event analysis, and the only information available in those days was the news published in the press. Fifty years afterwards, on 2012, thanks to a campaign developed to awake the historic memory of the event, hundreds of pictures and numerous testimonies were collected and published in different books and journals promoted by local or regional associations (Aulet *et al.*, 2013; Ajuntament de Terrassa, 2012; Vilageliu, 2012). This "post-event" information recovered 50 years afterwards has allowed reanalyzing the event (Martín Vide, 2013; Llasat, 2012). As for the press is concerned, in the case of 1962, some 184 news items were published in La Vanguardia, far more than the 59 published in the case of June 2000 or the 5 in the case of 2016 (Table 4). Number of front headlines was also very high in 1962 with 6 of them on consecutive days. In relation to contents, in the case of 1962 a lot of news was related to solidarity and political aspects such as the visits by the authorities to the affected area. The high number of news of this episode is frequent when it comes to major catastrophes, for instance, in the case of the November 1982 floods generated more than 180 news inputs.

Tabl. 4—Analysis of Information in *La Vanguardia* newspaper

	1962	2000	2016
N. news	184	59	5
N. pages (including covers)	61	47	5
N. cover pages	6	3	1
N. photos damages	14	21	5
N. photos authorities	33	6	0
N. photos recovery works	2	11	0
N. photos other aspects	5	12	0
N. infograhics, maps	1	6	0

In the 2000 case, the post-event analysis was mainly carried out going to the affected places to see the damages, as well as scientific studies (this event was analysed in the framework of HYDROPTIMET, SPHERE, RINAMED and AMPHORE international projects). This episode is the one that has given rise to more scientific articles such as Llasat *et al.*, 2003; Mariani *et al.*, 2005; Milelli *et al.*, 2006; Rigo and Llasat, 2005. All these analyses were focused on the meteorological and hydrological modeling. As for news reports on the 2000 case, much of the news focused on the consequences, such as the collapse of the highway bridge (which produced 2 of the 5 casualties) and the political consequences of the event. In this case, scientific explanations of the episode are included, analysis and more presence of experts (scientists, engineers) too.

In the case of 2016, 5 news items were published occupying a variable space of the pages. All images showed the consequences and even the water in the moment of the flood (Figure 8).

Although in the case of September of 1962 a major part of the photographs is of public figures, mainly politicians, in

DIJOUS, 13 OCTUBRE 2016 VIURE LA VANGUARDIA 3

MEDI AMBIENT

Una gran tempesta causa un mort i inunda el Maresme

Una pluja monsònica deixa més de 200 litres per metre quadrat en tot just quatre hores en poblacions com ara Vilassar de Mar

Inundació a Vilassar de Mar, on es van batre records de precipitacions

Un vehicle arrossegats per les aigües al municipi d'Argentona

Al sud de la comarca les fortes precipitacions van aturar la circulació a l'N-II i la via ferrta

Fig. 8—News about the October 2016 event in print edition of *La Vanguardia*. The images, which occupy an important surface, show the flood in the most intense moment (Source: *La Vanguardia*).

the case of 2000 and 2016 images of the damages already were predominant. The moment of the image has also varied, although in the case of 1962 all the images are after the flood, with the elapse of time and the technological progress, more pictures taken at the time of the event or close to it are included. It is also observed how the *ratio images/pages* has increased since the society is becoming increasingly "visual". Over time, there has been an increase in the presence of explanatory infographics of the phenomenon and its causes. Further analysis of the causes is currently included and the presence of expert opinions is bigger. However, it is rare that once the episode has passed, attention is devoted to its analysis and its reflection regarding the aspects that need to be improved. As for the number of news, it gradually decreases in the written press. It is a trend that can be explained by the irruption of the mass media on the Internet.

3.5.2 Internet and Social Networks

The Internet has meant a revolution in communication in general and particularly in the instant communication of natural hazards. The social networks and the generalisation of smartphones have meant a significant increase in Internet contents. Social networks like Facebook or Twitter have become one of the information channels in case of emergencies. Nowadays, Twitter is the most important network used in emergency cases, followed by Facebook (Muller *et al.*, 2015). Monitoring the behaviour of these social networks is increasingly being used to improve scientific knowledge (Simon *et al.*, 2015).

It is not possible to analyze social networks of the events of September 1962 and June 2000 since at that time there was no Internet or social networks. However, there are contents on social networks Facebook and YouTube published from official sources or citizens in recent years (Figure 9). In many cases they are historical graphic documents that have been recovered due to anniversaries of said catastrophes as in the case of 1962. In the case of Twitter, its presence is testimonial and is limited to announcements of activities such as exhibitions or lectures.

In the October 2016 floods, when the use of social networks and the Internet was widespread, Twitter was the channel with greater quantity of information; on 12/10/2016 the hashtag #Maresme became "Trending Topic" (Figure 10). Concepts related to the situation were also used but more diversified (floods, flood, rainfall, rains…—in Spanish: inundaciones, riada, crecida, riera, lluvias, temporal—). As can be seen in Figure 9 on Instagram there are very few images related to events. It is a network hardly used in case of emergencies and natural disasters.

On a comparative basis, there are a somewhat higher number of posts on Facebook in the case of 1962 than on that of 2016, same is applicable for videos from YouTube. The dissemination speed is very fast so that errors may occur. Current challenge is to be able to control these errors that are sometimes intentional and can cause problems. Hence, groups of volunteers are devoted to control these false rumours or false images over the Internet. On the other hand, thanks to the immediacy of social networks it is possible to have information throughout the episode in real time. The amount of information, however, is linked to the concentration of population living in the place where the episode is taking place.

3.5.3 Citizen Science

As shown in Figure 9, thanks to the celebration of historical memory recovery campaigns, a large volume of information on these historical episodes has been published on the Internet. Nevertheless there may be certain information gaps either because the event occurs in a remote place, or because it does not generate interest or because of the actual time when it happens. That is why citizen collaboration is so necessary. This is what is known as crowdsourcing. Crowdsourcing is defined as data collection aimed at collective level that responds to an issue; this crowdsourcing can be done by gathering and analysing information from the internet such as social networks or through automatic sensors such as automatic weather stations or through citizen scientific projects (Muller *et al.*, 2015). Citizen science is one in which citizens can actively participate at some stage in the research process. In the case of meteorology, there is a long history in citizen science thanks to the large volume of meteorological fans. Citizen science can be very useful for the development of post-event studies. It allows having information that would not be otherwise available such as data from very local impacts that do not always go public. On the other hand, they are projects that through participation foster social commitment and the empowerment of the population in relation to their self-protection against natural hazards.

In recent years, a number of citizen science initiatives have emerged connected to research in floods such as Flood Chasers, FloodScale, RiskScape (Le Coz *et al.*, 216). One of these, developed by the GAMA group, is **FLOODUP**. This project aims to improve the resilience of the population through awareness as well as improve the information available to researchers on the impact of floods. The aim is to create,

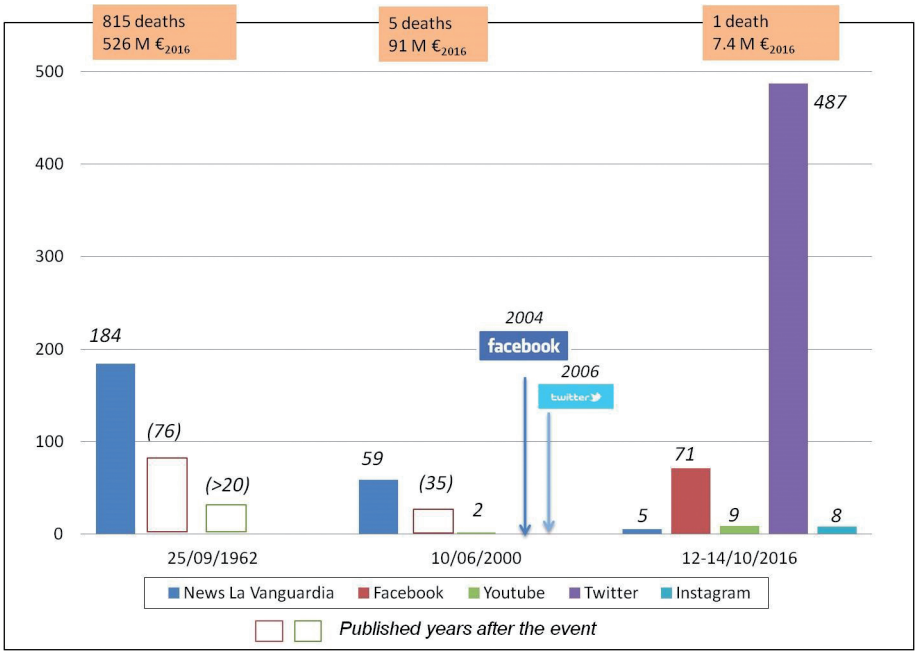


Fig. 9—Number of news items in La Vanguardia, publications on Facebook, videos on YouTube, Tweets and images in Instagram on the episodes of September of 1962, June of 2000 and October of 2016.

Fig. 10—Two of the numerous tweets published during the episode with images of the floods (source: Marc Grau, Oriol Rodríguez, Twitter).

in a collaborative way, a map of the impacts of floods in a given territory. Within the framework of this project an online platform and a Mobile Application were developed allowing geo-localised photographs to be uploaded with a brief description (Figure 11). More than 60 observations were collected on the October 2016 Maresme event on the FLOODUP platform. Contributors sent their contents through social networks and through mobile app. After the event, a questionnaire (post-event survey) was announced and distributed on the FLOODUP website. Most people who participated in the survey are amateur meteorologists, 75% were at home because October 12th was a holiday. Everyone knew about the television alert and the Meteorological Service of Catalonia followed by social networks and the Internet.

The Network of Meteorological Observers (XOM) of Meteorological Service of Catalonia (SMC) could be considered in part as a citizen science project. This is a network formed by meteorological fans that collaborate with the SMC sending observations and meteorological data. The network has 230 observers. Throughout the episode of October 2016 about 50 warnings were received from the XOM regarding intensity of rain, bad sea conditions or storm, among others. The map of figure 12 shows the cumulative precipitation values recorded by various amateur stations and official meteorological services (the origin of the data is indicated by symbols). Thanks to the XOM it can be corroborated that more than 200 mm fell in 24 hours in various stations and that the episode started at 16:08 hours in the vicinity and at 17:53 in the Maresme (Premià de Mar) as warned by the observers. The map shows the utility of having stations distributed in the territory since when it comes to concentrated rainfall in space and time can produce important variations from one point to another nearby. They also serve to confront and confirm observations.

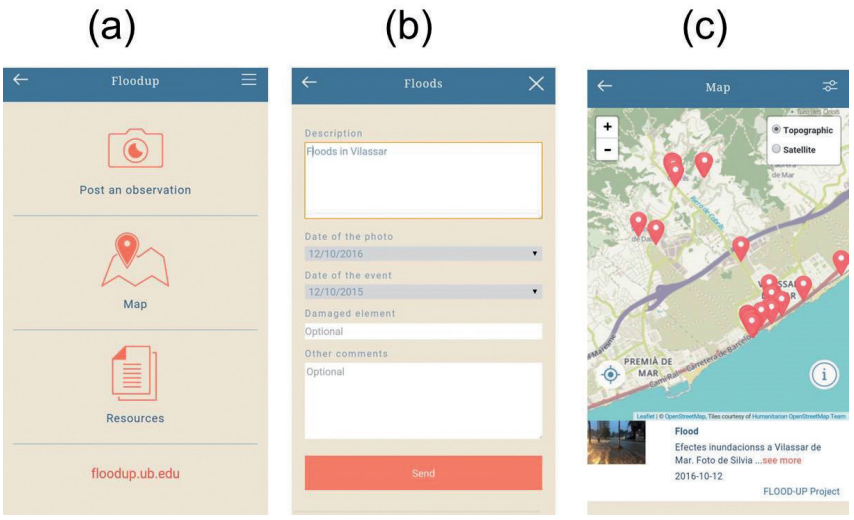


Fig. 11—FLOODUP APP screens: (a) The HOME screen; (b) the form that has to be filled when sending an observation and (c) the map with some of the validated contributions for the 2016 Maresme event.

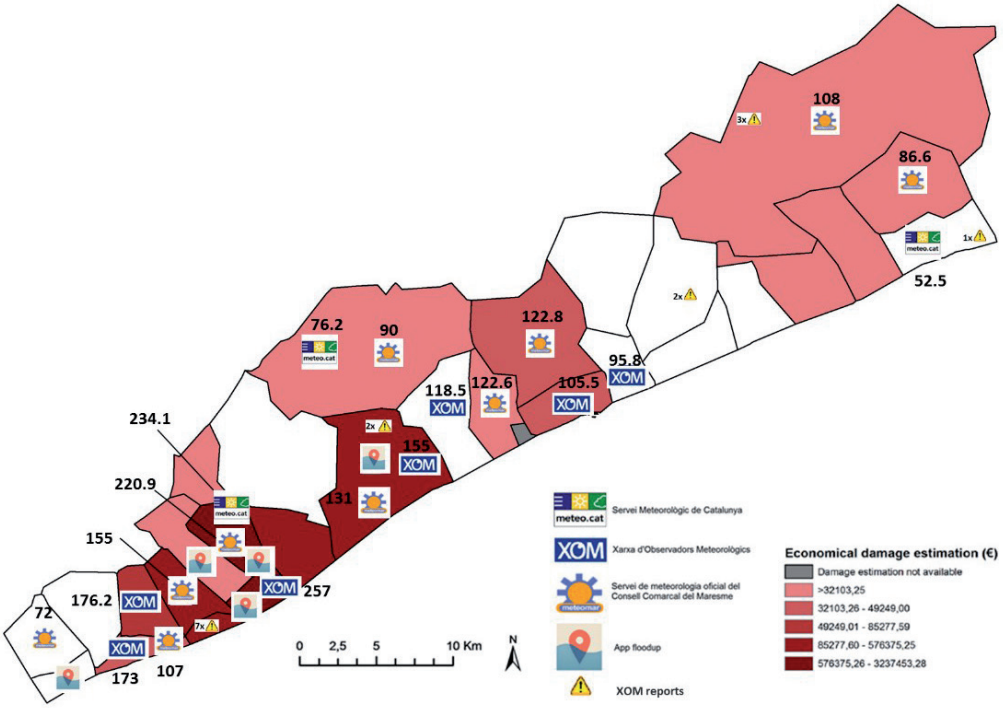


Fig. 12—Map of the Maresme event available information. The municipalities are colored according to their economic losses estimated by the respective Town Councils. The data from meteorological service of Maresme county is for the 12 October, the other precipitation data is from 7:00 UTC 12/10 to 7:00 UTC 13/10.

Conclusions

As of two remarkable cases, major changes that took part have been analysed connected to floods risk management. The first issue to be taken into account is the meteorological knowledge of the episodes. In 1962 there were not early warning systems to hand. There were no hydrological or automatic weather stations and communication was slow, apart from not having Internet at the time. The second major difference is marked by Civil Protection. This organisation was created in 1985 in Spain. Therefore, there was not, an emergency plan as INUNCAT that operated in the year 2000 episode, when alert plans of some municipalities were activated and Civil Protection was launched. The third and last point is the vulnerability and exposure, especially regarding land use and preventive measures. In 1962 the vulnerability and exposure were much higher than in year 2000. In 1962 the massive arrival of immigrants that triggered a great speculation in housing and land, some buildings of very poor quality areas without infrastructure and equipment, use of high flood zones, etc., were factors that determined the magnitude of the disaster.

Advances in meteorological and civil protection aspects have improved the protection and security of the population as a

whole. But all this knowledge seems not being linked with a greater individual culture of risk. In fact, in cases like the one in October 2016 it is observed that inappropriate behaviours still occur, such as crossing streams where water runs through. It is necessary to improve the awareness of the population against the risk of floods. On the other hand, structural measures are sometimes insufficient and require applying other measures which are more respectful towards the natural environment, as proposed by the implementation of the European Flood Directive. In this context, post-event scientific studies and analysis can be an effective tool to improve awareness of these risks by the population. On the other hand, their results should be of use to improve decision-making and efficient management of flood risk.

Another change in recent years is the role of the citizenship concerning the generation of knowledge connected to natural hazard. These days, the traditional mass media is not the only source of information and their role in the social perception construction is lesser than it was in the past, as social networks have increased their influence. Citizens have moved from being passive information consumers to become active information agents. Social networks and internet have turned to new communication channels on natural emergency events. Henceforth, large amount of information from citizens is available virtually in real time through social networks and citizen science projects. They provide new sources of information with a lot of potential. Thanks to these crowdsourcing projects is possible to measure the impact and the location of the damages of an event in a specific and detailed way, as well as the response of the population. In the 2016 October case, Twitter was the most used communication channel. In the mass media, information was released virtually on real time. Nevertheless, even though the population interest rapidly increases, then all of a sudden it drastically drops, in the same way as the presence of the event in the breaking news. It is why that it is advisable to develop initiatives that generate reflective spaces and dialogue, such as the collaborative projects of those of citizen science. These projects, FLOODUP for instance, are a great opportunity to improve scientific knowledge and the post-event analysis as well as how to improve the people's resilience by empowering in their self-protection.

Acknowledgments

This work has been developed in the framework of the Spanish project HOPE (CGL2014-52571-R) supported by the Ministry of Economy Industry and Competitiveness. The authors thank Servei Meteorològic de Catalunya, AEMET, Consell Comarcal del Maresme, CCS, La Vanguardia, TV3, Facebook, Twitter, Instagram, Youtube and Google for the data provided, as well as to the FLOODUP collaborators.

References

Ajuntament de Terrassa, *La riuada del 62 a Terrassa. L'abans i el després de la ciutat*. Guia de l'exposició. Museu de Terrassa, 2012.

Aulet J., Cabezas S., Clua, F., Fernández A., Ferrer M., Frigola E., Llasat MC., Màrquez M., Masó A., Masó O., Mauri F., Plans L., Pont F., Puig Ll., *L'aiguat del 1962, 50 anys després*. Col. 50 anys riada Terrassa, Ed. Àmfora. ISBN: 978-84-939105-4-9, 2013.

Barnolas M., Llasat M.C., "A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 7, 2007, p. 271–281.

Barriendos M., Coeur D., Lang M., Llasat M.C, Naulet R., Lemaitre F., Barrera A., "Stationarity analysis of historical flood series in France and Spain (14th-20th Centuries)". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, 2003, p. 583–592.

Bayés Bruñol C., Ribas A., Saurí D., "Sequías y prensa regional en la cuenca del río Muga (Girona)". *Geographicalia*, 44, 2003, p. 123–144.

Cerrillo A. (Coord.), *El periodismo ambiental. Análisis de un cambio cultural en España*. Fundación Gas Natural, 2008.

Defra, *Making space for water: taking forward a new Government strategy for flood and coastal erosion risk management,* in "England: first Government response to the autumn 2004 'Making space for water' consultation exercise". Defra, London, 2005.

Direcció General de Protecció Civil de Catalunya (DGPC). "Pla Especial d'emergències per inundacions" (INUNCAT), 2012.

EMDAT, "Disaster Data: A Balanced Perspective", Issue No. 41 February 2016.

Faulkner H., McCarthy S., Tunstall S., "Flood risk communication", in Pender G., Faulkner H. (eds), *Flood risk science and management*. Blackwell, Oxford, 2011, p. 386–406.

Francés F., *Consecuencia de la lluvia del 10 Junio 2000 sobre el comportamiento hidrológico de la Riera de Magarola y sus afluentes*. In Proceedings of the "VI Jornades de Meteorologia Eduard Fontseré", Barcelona, 25 November, 2000, p. 129–140.

Hall J.W., Penning-Rowsell E.C., *Setting the scene for flood risk management*. In Faulkner H., Pender G. (eds), Flood risk science and management. Blackwell, Oxford, 2011, p. 3–16.

Le Coz J., Patalano A., Collins D., Federico Guillén N., Marcelo García C., Smart G. M., Bind J., Chiaverini A., Le Boursicaud R., Dramais G., Braud I., "Lessons learnt from recent citizen science initiatives to document floods in France, Argentina and New Zealand". E3S Web Conf. 7 16001, DOI: 10.1051/e3sconf/20160716001, 2016.

Llasat M.C., Una aproximació a l'estudi dels aiguats des d'una perspectiva hidrometeorològica, XVIII Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè. Els efectes dels aiguat amb inundacions més importants d'aquests darrers cinquanta anys. ACAM, pp. 29-41, D.L.: B-32166-2012, ISBN: 978-84-9342017-7-2, 2012.

Llasat M.C., Barriendos M., Barrera A., Rigo T., "Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th Century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records". *Journal of Hydrology*, 313, 2005, p. 32–47.

Llasat M.C., Llasat-Botija M., Petrucci O., Pasqua A. A., Rosselló J., Vinet F., Boissier L., "Towards a database on societal impact of Mediterranean-floods within the framework of the HYMEX project". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, p. 1337–1350, [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1337/2013/, doi:10.5194/nhess-13-1337-2013], 2013.

Llasat M.C., Marcos R., Llasat-Botija M., Gilabert J., Turco M., Quintana P., "Flash flood evolution in North-Western Mediterranean". *Atmospheric Research,* 149, 2014, p. 230–243.

Llasat M.C., Llasat-Botija M., López L., "A press database on natural risks and its application in the study of floods in Northeastern Spain", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, p. 2049–2061, [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/2049/2009/], 2009a.

Llasat M.C., Llasat-Botija M., Barnolas M., López L., Altava-Ortiz V., "An analysis of the evolution of hydrometeorological extremes in newspapers: the case of Catalonia", 1982-2006, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, p. 1201–1212, [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/1201/2009/], 2009b.

Llasat M.C., Llasat-Botija M., Rodríguez A., Lindbergh S., "Flash floods in Catalonia: a recurrent situation". *Adv. Geosci.*, 26, 2010, p. 105–111.

Llasat M.C., Marcos R., Turco M., Gilabert J., Llasat-Botija M., "Trends in flash flood events versus convective precipitation in the Mediterranean region: The case of Catalonia", *Journal of Hydrology*, 541, 2016, p. 24–37.

Llasat-Botija M., Llasat M.C., Cortès M., "De la prensa a las apps. Un recorrido por la Comunicación de los riesgos naturales en la Prensa escrita y el papel de las nuevas Tecnologías", En: *Actas del I Congreso Internacional Comunicación y Pensamiento. Comunicracia y Desarrollo Social*, p. 784–806, ISBN 978-84-945243-2-5, 2016.

Llasat M.C., Rigo T., Barriendos M., "The 'Montserrat-2000' flash-flood event: a comparison with the floods that have occurred in the northeastern Iberian Peninsula since the 14th Century", *International Journal of Climatology*, 23, 4, 2003, p. 453–469.

Mariani S., Casaioli M., Accadia C., Llasat M.C., Pasi F., Davolio S., Elementi M., Ficca G., Romero R., "A limited area model intercomparison on the 'Montserrat-2000' flash-flood event using statistical and deterministic methods", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 2005, p. 565–581.

Martín Vide J.P., "El papel de la carga sólida en la inundabilidad: las avenidas de 1962, Resums de la Jornada 'La gestió de les inundacions'", 27–28 novembre 2013, Dept. Territori i Sostenibilitat, ACA, IGC, 2013, p. 45–50.

Milelli M., Llasat M.C., Ducroq V., "The cases of June 2000, November 2002 and September 2002 as examples of Mediterranean floods", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 2006, p. 271–284.

Miles B., Morse S., "The role of news media in natural disaster risk and recovery", *Ecological Economics*, 63, 2007, p. 365–373.

Muller C. L., Chapman L., Johnston S., Kidd C., Illingworth S., Foody G., Leigh R., "Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: Current status and future potential". *International Journal of Climatology*, 35(11), p. 3185–3203. http://doi.org/10.1002/joc.4210, 2015.

Nakamura, I., Llasat M.C., "Policy and systems of flood risk management: a comparative study between Japan and Spain", *Natural Hazards*, DOI 10.1007/s11069-017-2802-x, https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-017-2802-x, 2017.

Petrucci O., "Assessment of the impact caused by natural disasters: simplified procedures and open problems". In: *Managing Disasters—assessing hazards, emergencies and disaster impacts*, edited by: Tiefenbacher J. P., ISBN 979-953-307-006-2, 2012, p. 109–132.

Rigo T., Llasat M.C., "Radar analysis of the life cycle of mesoscale convective systems during the 10 June 2000 event", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 2005, p. 1–12.

Simon T., Goldberg A., Adini B., "Socializing in emergencies—A review of the use of the social media in emergency situations", *International Journal of Information Management*, 35, 2015, p. 609–619.

Vilageliu R., *La riuada del 1962. Vallesos, Monogràfic, num. 3*, Primavera-estiu 2012 D.L.: B-19.943/2011, ISSN: 2014-1882, 2012.

4 La cartographie des zones inondables : de l'événement prévu à l'événement réel. Retour d'expérience sur les inondations à Lamalou-les-Bains (sept. 2014)

Freddy Vinet[1], Stéphanie Defossez[1], Johnny Douvinet[2], Jean-Philippe Cherel[1], Antonin Montane[2], Sylvain Chave[3]

1. Univ. Paul-Valéry Montpellier 3, IRD, U.M.R. GRED 220, F34000, Montpellier, France

2. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, U.M.R. ESPACE 7300 C.N.R.S., 74 rue Louis Pasteur, Case 19, 84021 Avignon Cedex

2. Mayane, 173 chemin de Fescau, 34980, Montferrier-sur-Lez

3. Ingénieur de recherche

freddy.vinet@univ-montp3.fr
stephanie.defossez@univ-montp3.fr
jean-philippe.cherel@univ-montp3.fr
johnny.douvinet@univ-avignon.fr
antonin.montane@mayane.eu
sylvain.chave@free.fr

Résumé. — La commune de Lamalou-les-Bains (Hérault) a été touchée par une crue remarquable d'un petit cours d'eau, le Bitoulet, suite à des pluies intenses le 17 septembre 2014. On déplore 4 victimes, toutes occupantes d'un camping situé en zone inondable. La carte de l'inondation de 2014 a été comparée à l'atlas des zones inondables (AZI) établi en 2005 et au Plan de Prévention des Risques (PPR). La concordance entre la zone inondée et l'AZI, établi par l'approche hydrogéomorphologique, est bonne. En revanche, le PPR couvre seulement 42 % de la zone inondée en 2014. Le zonage du PPR a délibérément sous-estimé l'emprise spatiale de l'aléa hydrologique pour poursuivre l'urbanisation dans des zones à risque, en particulier au niveau du camping.
Mots-clés. — cartographie, crue éclair, hydrogéomorphologie, plan de prévention des risques.

Title. *— Flood-prone Areas Mapping. Confronting Existing Flood Maps with Real Events: The Example of Lamalou-les-Bains Flood (France, sept. 2014)*

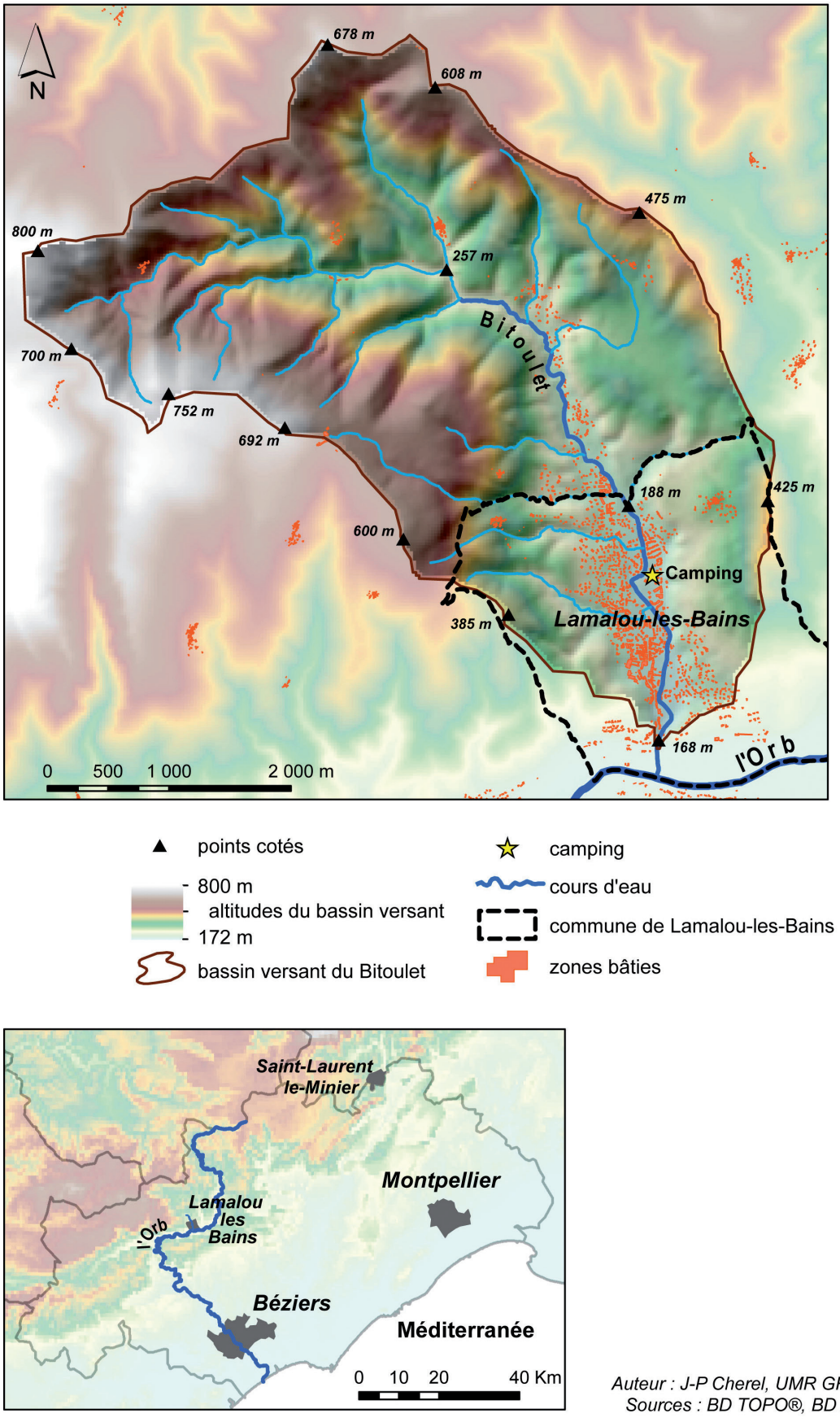
Abstract. *— The town of Lamalou-les-Bains (Hérault) suffered a huge flash flood in September 17, 2014. One must deplore 4 fatalities, all occupants of the campsite. The Map of the flood of 2014 is compared to the Atlas of Flood drawn in 2005 and to the Risk Prevention Plan. The correlation between the flooded zone and the existing Flood Atlas is good. On the other hand, the Risk Prevention Plan only covers 42% of the area flooded in 2014. Inconsistencies prove that the latter did not account for the reality of the hydrological risk e.g. excluding campsite.*
Keywords. *— Risk Mapping, Flash Flood, Hydrogeomorphic Analysis, Flood Prevention Plan.*

Título *— Cartografía de zonas inundables, del evento previsto al real. El caso de las inundaciones en Lamalou-les-Bains (Francia, sept. 2014)*

Resumen *— La peque a ciudad de Lamalou-les-Bains (Hérault) sufrió inundaciones torrenciales el 17 de septiembre de 2014. Se deplora las 4 víctimas, todas ocupantes del camping. El artículo compara la inundación de 2014 con el Atlas de las Zonas de Inundaciónes elaborado en 2005 y con el Plan de Prevención de Riesgos. La correlación entre la zona inundada y el Atlas de Zonas de Inundación es buena. Por otro lado, el plan de prevención de riesgos cubre sólo el 42% de la zona inundada en 2014. Inconsistencias muestran que este documento no toma en cuenta la realidad del riesgo hidrológico particularmente excluyendo el camping.*
Palabras llaves *— avenidas torrenciales, plan de prevención contra las inundaciones, cartografia del riesgo.*

Introduction

L'automne 2014 a été marqué par une succession d'épisodes pluvieux intenses dans le sud de la France. Dans la nuit du 17 au 18 septembre 2014, plusieurs départements dont l'Hérault ont été placés en vigilance météorologique orange (pour l'aléa « pluie-inondation ») avec une situation classique (remontée d'une masse d'air humide dans un flux de sud). Cet épisode pluviogène remarquable a entraîné des réactions rapides et intenses de plusieurs petits cours d'eau, notamment celui du Bitoulet (drainant un petit bassin-versant de 18 km^2) situé en amont de la commune de Lamalou-les-Bains (figure 1). Le coût des dégâts est élevé (12 millions d'euros) et le bilan humain est lourd, car 5 personnes ont trouvé la mort (une à Saint-Laurent-le-Minier et 4 au camping municipal de Lamalou-les-Bains). Dans cette commune, située dans l'arrière-pays héraultais, une polémique (récurrente en cas de décès) a rapidement émergé sur le fait que le pire aurait pu être évité en évacuant les zones inondables ou en informant les populations du risque éventuel de crue rapide. Des documents informatifs et réglementaires comme un atlas des zones inondables et un plan de prévention des risques (PPR) existaient déjà depuis 2005. Cependant, le zonage du PPR ne délimitait pas toutes les zones inondées en septembre 2014 et il n'incluait pas, en particulier, le camping.



Auteur : J-P Cherel, UMR GRED, 2015
Sources : BD TOPO®, BD ALTI®

Fig. 1 — Situation de la zone étudiée.

L'objectif de cet article est de proposer une relecture de la zone inondable à la lumière de l'événement du 17 septembre 2014, en étudiant trois ensembles de cartes : le premier est issu des relevés de terrain effectués après la crue. Les deux autres sont respectivement issus de l'atlas des zones inondables (AZI) établi par l'approche hydro-géomorphologique (Diren LR, 2007) et de la cartographie attachée au plan de prévention des risques (PPR, 2005). Ces comparaisons interrogent sur le caractère « exceptionnel » de la crue et soulignent une fois encore les dangers du déni du risque et les conséquences de sa non prise en compte dans la gestion des territoires.

4.1 Les faits marquants de l'inondation du 17 septembre 2014

4.1.1 Bilan météorologique et hydrologique

Le Bitoulet est un petit affluent de l'Orb, long de 5 km, qui draine un bassin-versant de 18 km^2. Il prend sa source vers 800 m d'altitude. La partie supérieure du bassin est boisée et très pentue. En amont de la zone urbanisée, le cours d'eau est rejoint par plusieurs petits affluents. Peu avant sa confluence avec l'Orb, il traverse Lamalou-Les-Bains, commune de 2 500 habitants qui représente l'enjeu majeur du bassin. Dans la ville, son tracé a été rectifié et canalisé. La pente moyenne y est de 0,8 %. Le Bitoulet n'est pas équipé d'un réseau de mesure hydrométrique. Pour une crue centennale, son débit a pu être estimé par modélisation hydraulique à 170 m^3/s à la confluence avec l'Orb (Dreal/H2 G.EAU, 2005).
Le mercredi 17 septembre 2014, Météo-France émet un bulletin de vigilance orange « pluie-inondation » sur les départements du Gard, de l'Hérault et de l'Aveyron, en annonçant des cumuls de pluie compris entre 250 et 350 mm en 24 heures. Un premier épisode pluvieux a lieu entre 3 h et 5 h UTC (soit 5 h à 7 h heure légale) le matin même. Le cumul de pluie reconstitué par le Schapi est de 101,5 mm (CEREMA, 2015). En fin d'après-midi, vers 18-19 heures, de nouveaux foyers orageux se forment sur le centre ouest de l'Hérault. Le deuxième pic, fatal, a lieu entre 20 h et 22 h UTC (soit 22 h à minuit heure légale) avec un cumul reconstitué de 94,5 mm portant le total sur 24 heures à plus de 200 mm sur le bassin-versant du Bitoulet qui voit sa capacité d'écoulement très rapidement et très largement dépassée, provoquant des inondations très dommageables dans toute la traversée de la ville. Les hauteurs d'eau en lit majeur ont atteint jusqu'à 3 mètres dans la partie aval du village à l'amont du pont SNCF Carrel.

4.1.2 Bilan socio-économique

Les conséquences humaines et matérielles sont catastrophiques à l'échelle de la petite ville de Lamalou. Le camping municipal situé sur la rive gauche d'un méandre du Bitoulet a été dévasté par les eaux. Les quatre victimes étaient toutes des occupants du camping. En plus du lourd bilan humain, les dégâts matériels atteignent 67 millions d'euros sur les biens privés et économiques dont plus de 5 millions à Lamalou-les-Bains (source : e-risk, FFA[1]). Des caravanes et des camping-cars ont été emportés, des voitures et des habitations ont été fortement endommagées, mais aussi des entreprises (garage automobile, centre équestre…) et des ERP (établissements recevant du public) dont la piscine, submergée par 1,5 m d'eau et de boue. La **mairie de Lamalou a** fait état de 350 **véhicules** et 70 camping-cars sinistrés, 200 **logements** endommagés et d'une trentaine de locaux de **commerçants** ou d'**artisans** touchés. Plusieurs centaines de sinistrés ont été relogés durant la nuit. Il s'agissait de résidents permanents mais aussi de curistes (occupants du camping notamment), la commune étant spécialisée dans le thermalisme et les séjours médicalisés. Suite à ces dommages et au décès de 4 personnes, une information judiciaire a été ouverte par le procureur de Béziers et le maire de Lamalou-les-Bains a été mis en examen le 10 novembre 2016 pour « homicide et blessures involontaires ».
L'inondation a été qualifiée d'exceptionnelle par la presse (le Parisien du 19 septembre 2014, le Midi Libre du 18 septembre 2014) et par les élus locaux. Il convient néanmoins d'apprécier ce caractère exceptionnel au regard des crues antérieures et des cartographies existantes de la zone inondable.

4.2 Méthodes et données utilisées

4.2.1 Cartographie de l'emprise de la zone inondée le 17 septembre 2014

La carte de la zone inondée a été élaborée à partir de 80 hauteurs d'eau relevées à partir des laisses de crue et corroborées, lorsque c'était possible, par les témoignages des riverains. La zone cartographiée se situe entre le pont de la D22E à l'amont de la zone urbaine et le pont Carrel (ancien pont de chemin de fer franchissant le Bitoulet à l'aval de la ville). Elle couvre les principales zones à enjeux sur la commune de Lamalou, sur 2 200 m d'amont en aval.
Les hauteurs d'eau relevées sont nivelées par rapport au terrain naturel ou artificiel (parking, route…). Les points de mesures ont été répartis du mieux possible sur l'ensemble de la zone. Le seul espace où des mesures n'ont pas été possibles est la rive droite du Bitoulet située entre l'Avenue de la République et le stade. Cette carte a été interpolée en discrétisant trois seuils : 50 cm, 1 m, 2 m. À défaut d'un Modèle numérique de terrain (MNT) plus précis, dans un contexte très artificialisé et très accidenté, l'interpolation a été réalisée manuellement. Les remblais sont nombreux dans le lit majeur du Bitoulet. Autour de l'avenue Ménard, les axes routiers sont rehaussés et n'ont subi que 40 à 50 cm d'eau alors que les maisons en contrebas des rues ont été submergées par 1 à 2 m d'eau. La topographie, largement artificialisée, a eu des effets très nets sur l'écoulement et explique des variations de hauteur et de vitesse très fortes sur des distances parfois courtes.
Une carte complémentaire (figure 4) a été dressée pour montrer la cinématique de la crue dans la traversée de la ville (chenaux d'écoulement, *flow up*, défluviation). Elle a été reconstituée à partir de témoignages, de vidéos visionnées auprès des riverains ou sur Internet, des impacts morphologiques tels que les marques d'érosion et les dépôts témoignant de vitesses fortes (supérieures à 3 m/s) et des dommages relevés quelques jours après l'événement.

1. https://erisk.ccr.fr/faces/erisk-accueil.jsp.

4.2.2 Autres données analysées

En plus de la cartographie de l'emprise inondée lors de la crue du 17 septembre sur laquelle nous allons revenir en détail, deux cartographies de référence ont été consultées : la première dans l'ordre d'ancienneté est l'atlas des zones inondables (Dreal/H2 G.EAU, 2005) élaboré à partir d'une approche hydrogéomorphologique (Masson *et al.*, 1996 ; Ballais *et al.*, 2011). La seconde est le jeu de cartes (aléa, zonage réglementaire) accompagnant le plan de prévention des risques (PPR, 2005). Une simulation a aussi été réalisée avec l'automate cellulaire RuiCells (Douvinet *et al.*, 2011, 2015), en particulier pour identifier les contributions des parties amont du bassin (en dehors de la zone urbanisée) et les débits de pointes produits avec un coefficient de ruissellement de 100 % atteignant pour la partie aval près de 130 m^3/s. La différence avec le débit centennal simulé avec GR4 est très forte, et les différences sont à la fois liées au manque de robustesse de ce modèle dans un tel contexte et aux effets de l'urbanisation, des remblais et de la microtopographie qui n'ont pas été pris en compte dans la simulation testée.

4.3 Quels enseignements tirer de la carte de la zone inondée ?

4.3.1 Amplitude de la zone inondée et hauteurs d'eau

La zone inondée est la plus large à hauteur du camping municipal (250 m) alors qu'elle se rétrécit à plusieurs endroits à moins de 100 m. Ces rétrécissements sont d'ailleurs plus le fait d'aménagements anthropiques que des resserrements naturels de la vallée, bien calibrée et régulière à cet endroit. Les affluents du Bitoulet dans la traversée de Lamalou ont été exclus de l'analyse : ils n'ont eu que peu d'effets sur la crue de la rivière dans son ensemble et ils n'influencent pas les résultats de l'étude comparative qui suit.

Sur les 27 hectares de la zone inondée dans la traversée de Lamalou (figure 2), 17 ha (63 %) ont eu plus d'un mètre d'eau (tableau 1). Ceci s'explique par la configuration « en baquet » de la vallée à fond plat du Bitoulet (figure 3). Autrement dit, le lit majeur, large de 150 à 250 m, se relève brutalement sur ses bords et il accentue la volumétrie des écoulements. Cependant, et c'est également une conséquence d'une telle configuration de vallée à fond plat, les hauteurs d'eau ont rarement excédé deux mètres. Au camping municipal, elles furent de l'ordre de 1 m à 1,2 m. Sur l'autre rive, dans le lotissement de la rue des Carbounières, les hauteurs ont atteint au maximum 1,6 m dans les habitations. Plus à l'aval, près de la piscine municipale et des aménagements sportifs, les hauteurs varient de 1 m à 1,90 m en fonction de la dynamique de l'écoulement. À ce niveau, les embâcles accumulés à l'amont d'une passerelle piéton entre la piscine et le parking ont indéniablement accentué les hauteurs d'eau relevées.

Les hauteurs d'eau maximales ont été mesurées à l'aval de la commune (3,5 m), renforcées par l'embâcle du pont Carrel. Les zones habitées ayant reçu les plus fortes hauteurs d'eau sont à l'aval du boulevard du Mairal (plus de 2 m d'eau). Le lotissement du Mairal, situé dans une cuvette, a eu quant à lui jusqu'à 1,9 m d'eau (figure 2).

Tabl. 1 — Répartition des superficies en fonction de la hauteur d'eau maximale relevée

	Hauteurs d'eau			
Zone inondée totale 2014	0 à 50 cm	50 à 100 cm	100 à 200 cm	> 200 cm
27 ha	4 ha	6 ha	14,6 ha	2,4 ha

4.3.2 Un écoulement fortement contraint par l'urbanisation et la configuration de la vallée

Le cours du Bitoulet dans la traversée de Lamalou est fortement artificialisé. Les zones d'expansion de crue alternent avec des portions de cours d'eau très resserrées, du fait d'une chenalisation étroite dans les secteurs les plus densément urbanisés. Dans la partie amont, à hauteur du camping municipal, la zone inondée s'étend sur le camping lui-même dans sa totalité et dans les lotissements voisins sur une largeur de 260 mètres. Plus à l'aval, près du pont de l'avenue du Docteur Menard, la largeur de la zone inondée n'est plus que de 90 m (figure 2).

Le rapport de présentation du plan de prévention des risques (PPR, 2005) est très clair sur l'artificialisation du cours d'eau et ses effets.

« L'accélération systématique de la vitesse d'écoulement et la concentration des débits de crue dans le lit mineur, par endiguement, curage ou rectification de tracé a montré ses effets pervers » comme la « disparition de zones naturelles d'épandage participant au laminage des crues ayant conduit à l'augmentation des débits de pointe en aval ».

La dynamique de l'écoulement est donc fortement conditionnée par l'urbanisme et par le tracé du lit mineur figure 3, point commun à de nombreuses autres crues rapides survenues ces dernières années dans le sud de la France (inondations du 3 octobre 2015 ou du 18 janvier 2014 à La Londe les Maures dans le Var). La figure 4 montre les effets de ces deux contraintes à plusieurs échelles sur la cinématique de la crue. Quatre ponts ou passerelles ont créé des embâcles majeurs sur le Bitoulet dans la traversée du village.

À l'échelle de la vallée, le lit majeur est bien calibré. Sa largeur est d'environ 300 mètres entre les deux versants encaissants. Pourtant, le tracé du lit mineur, en forme de large méandre, a largement détourné les vitesses les plus élevées sur la rive gauche. Ceci a eu pour conséquence des niveaux d'eau et des vitesses plus élevés en rive gauche avec des embâcles plus importants. Près de la piscine municipale, la hauteur d'eau atteinte en rive gauche est supérieure de 1,4 m à celle atteinte en rive droite (figure 5). À cet endroit, le courant a emprunté le boulevard Saint-Michel et est venu heurter le rond-point, engendrant une exagération locale de la hauteur atteinte par l'eau (*flow up*). En rive droite, les vitesses moins élevées se sont traduites par des destructions moins spectaculaires mais des dépôts de boue abondants au pied de l'encaissant, bien marqué sur cette rive. Les habitations s'adossent d'ailleurs à cet encaissant. La façade des habitations donne sur la rue principale (Avenues Charcot et Joffre) hors zone inondable tandis que les rez-de-jardin sont dans le lit majeur (figure 3).

Cet événement majeur traduit finalement le risque induit par une forte urbanisation en fond de vallée : forts débits, fortes vitesses, destructions majeures, occupation de la quasi-totalité

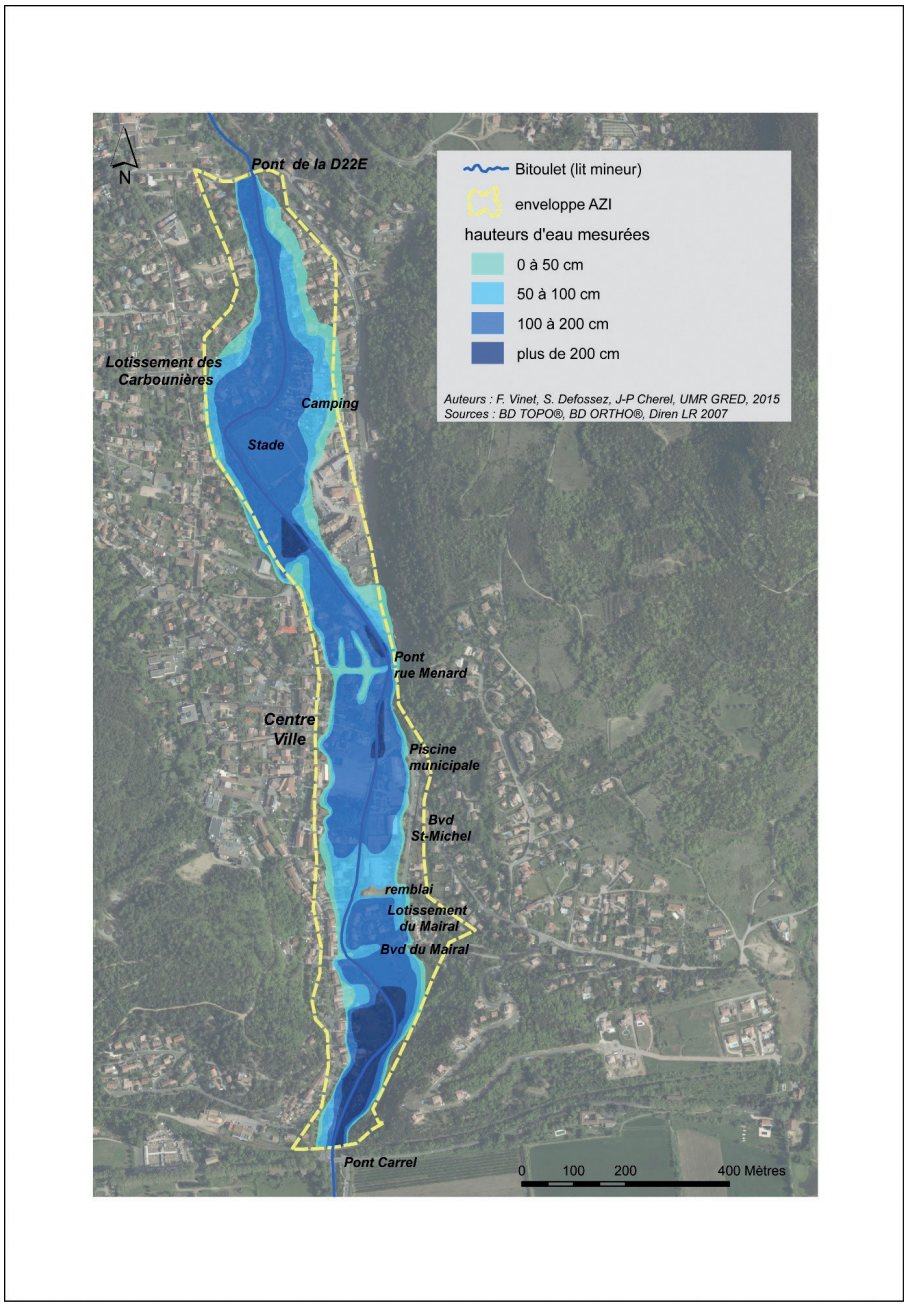


Fig. 2 — Carte des hauteurs d'eau relevées lors de l'épisode du 17 septembre 2014.

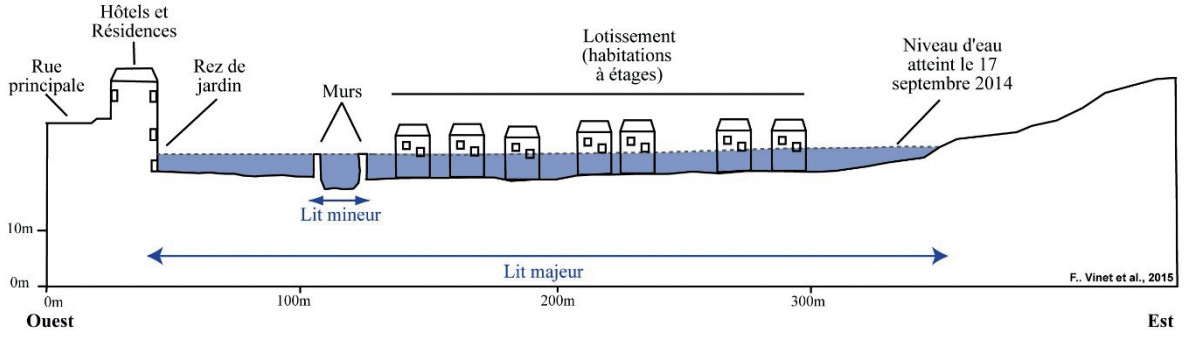


Fig. 3 — Coupe transversale de la vallée du Bitoulet à Lamalou-les-Bains.

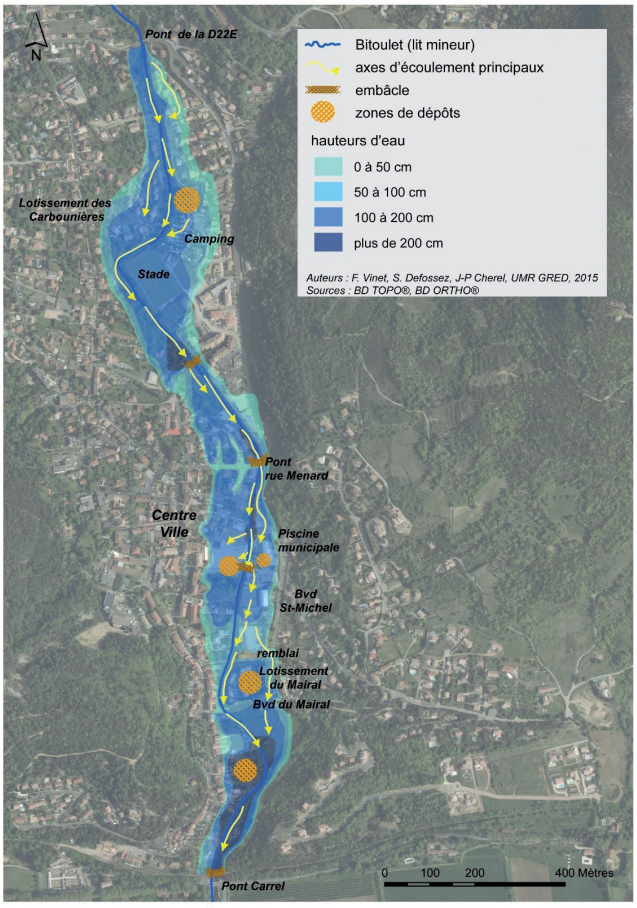


Fig. 4 — Reconstitution des principaux axes d'écoulement lors de la crue du Bitoulet du 17 septembre 2014 à Lamalou-Les-Bains.

du lit majeur et aménagements qui induisent des embâcles et rehaussent les niveaux d'eau à divers endroits. Mais cette crue revêt-elle de caractéristiques prévisibles (emprise de la zone inondable, hauteurs d'eau...) ou bien est-elle réellement « exceptionnelle », c'est-à-dire ne relevant pas du fonctionnement normal et prévisible du cours d'eau ? Les études effectuées en 2005 par les services de l'État (et qui ont abouti à la production de cartes réglementaires) peuvent nous éclairer sur ce point.

4.4 La connaissance de l'inondabilité : l'atlas des zones inondables

La Dreal[2] Languedoc-Roussillon a élaboré des atlas des zones inondables (AZI) à l'échelle départementale (en incluant le bassin-versant de l'Orb) (Dreal/H2 G.EAU, 2005), complété à échelle plus fine (communale et infra communale) par des études hydrauliques. La cartographie de l'AZI s'appuie sur les connaissances des crues historiques antérieures, complétées par une cartographie de la zone inondable avec détermination des lits fluviaux fondée sur la méthode hydrogéomorphologique (Masson et Garry, 1996 ; Montané, 2015). La cartographie pour le bassin du Bitoulet a été effectuée par photo-interprétation à l'échelle 1/25000e à partir d'une analyse en stéréogrammétrie sur support Scan25 de l'IGN.

4.4.1 La zone inondable « hydrogéomorphologique »

Concernant le Bitoulet et la commune de Lamalou-les-Bains, la zone inondable définie par l'étude hydrogéomorphologique s'étend dans un lit majeur large de 300 m en moyenne sur tout le tracé du cours d'eau qui traverse la commune ; il se rétrécit à la confluence de l'Orb (figure 6). La délimitation du lit majeur par cette méthode englobe donc un territoire inondable de 36,2 hectares (tableau 2). Le rapport de présentation de l'atlas des zones inondables de 2005 est très clair sur l'exposition de Lamalou aux crues rapides : « *des lotissements ainsi qu'un terrain de camping sont construits dans l'axe des écoulements majeurs en cas de forte crue. Les enjeux*

2. Dreal : direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement.

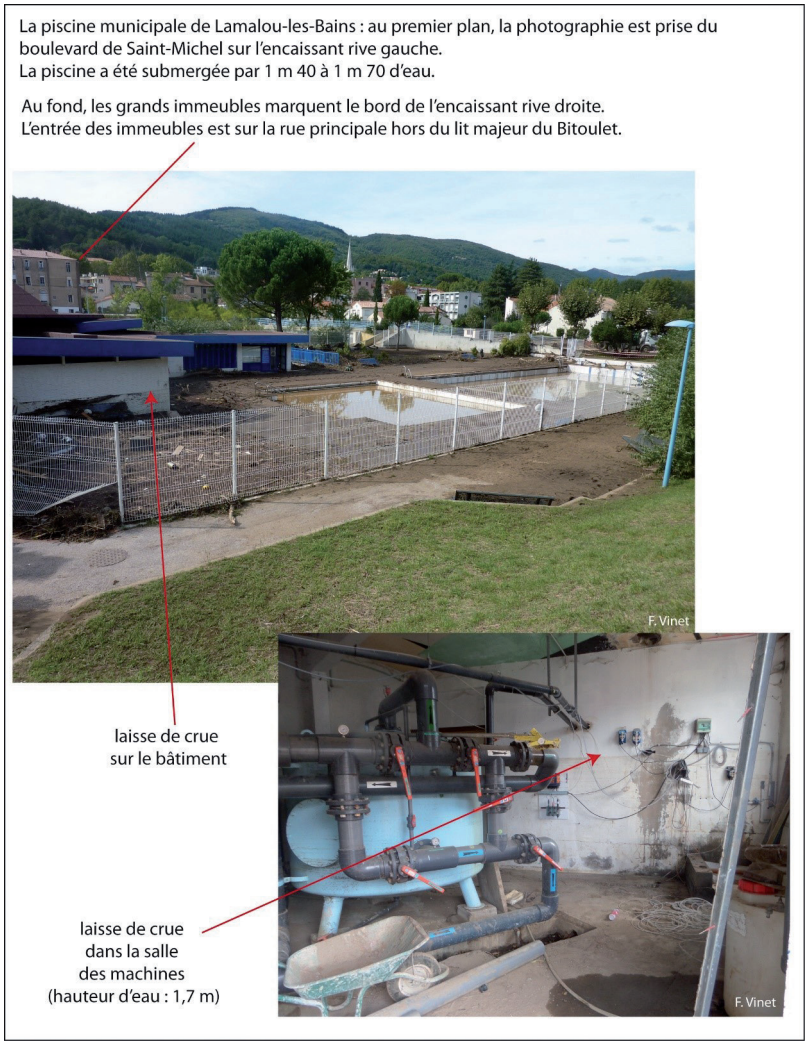


Fig. 5 — La piscine municipale de Lamalou-les-Bains après les crues de septembre 2014.

ainsi que l'aléa sont donc particulièrement forts dans toute la traversée du village ». Ce passage est souligné dans le texte du rapport page 27. L'atlas précise les principaux enjeux exposés au risque à Lamalou : environ 700 personnes, un lotissement, une station d'épuration, 3 captages d'eau, un camping…

Tabl. 2 — Superficies inondables et inondées (en hectares)

Enveloppe AZI (2005)	Zone inondée 2014	Zone PPR	Zone PPR « bleue »	Zone PPR « rouge »	Affluents (toutes zones)*
36,2	27	15,58	3,98	7,41	4,19

* non pris en compte dans l'étude.

4.4.2 Zone inondable de l'atlas des zones inondables et crue du 17 septembre 2014

Compte tenu de l'échelle d'analyse, la transposition des contours du lit majeur hydrogéomorphologique du Bitoulet à l'échelle de la commune de Lamalou-Les-Bains engendre des imprécisions. Certaines limites notamment sur la rive droite dans le centre-ville seraient à affiner. Le seul endroit de sous-estimation de l'enveloppe du lit majeur géomorphologique par rapport à la zone inondée 2014 est le quartier de la rue Menard. Toutefois, en termes d'inondabilité, 97 % de la zone inondée en 2014 sont compris dans les limites de l'enveloppe AZI.

4.4.3 (Non) utilisation réglementaire de l'atlas des zones inondables

Mais la zone inondable déterminée par la méthode hydrogéomorphologique n'a pas été prise en compte dans le règlement PPR. Elle est seulement mentionnée dans la cartographie des aléas sous la légende « lit majeur géomorphologique ». L'étude du plan de prévention des risques montre que la zone inondable a été réduite de manière drastique et que la zone réglementée ne correspond qu'à une version très étriquée de l'inondabilité dans la traversée de Lamalou.

4.5 Zone inondée et zone inondable : que dit le plan de prévention des risques ?

Le PPR « moyenne vallée de l'Orb » couvre 7 communes dont Lamalou-les-Bains (PPR, 2005). Il a été prescrit en 2002 et approuvé en mai 2005. L'essentiel du PPR est consacré à la

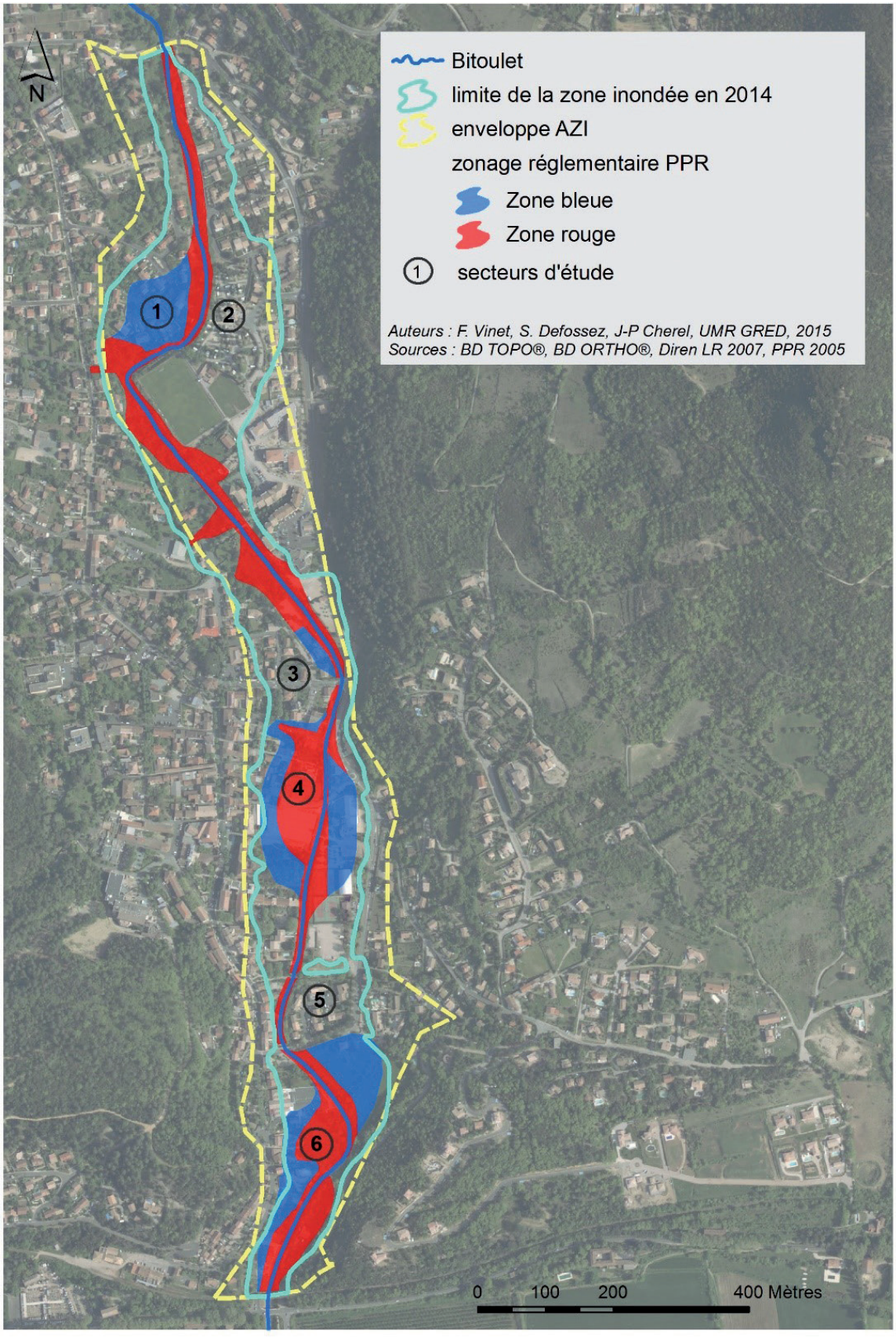


Fig. 6 — Zone inondée, enveloppe AZI et PPR à Lamalou-les-Bains.
Les numéros correspondent aux zones d'étude du tableau 3.

vallée de l'Orb. Le Bitoulet dans la traversée de Lamalou a fait l'objet d'une modélisation de la crue centennale. Des hauteurs d'eau et des vitesses sont données pour les endroits critiques (rapport de présentation p. 21). Le document précise qu'il a été « nécessaire de procéder à un travail d'amélioration de la précision de l'aléa sur la base d'une modélisation mathématique des écoulements de crue à partir de levés topo ». La comparaison des zonages PPR (aléa et réglementaire) avec la crue de 2014 montre une sous-estimation flagrante de l'inondabilité de la vallée du Bitoulet à Lamalou.

4.5.1 Comparaison entre la zone inondée en 2014 et les cartes du PPR

La carte d'aléa du PPR comporte 4 zones : le lit mineur, une « zone d'écoulement principal », des zones d'expansion de crue où le risque est qualifié de moyen et le lit majeur géomorphologique. La crue de référence du PPR est la crue centennale dont le débit est de l'ordre de 150 à 170 m^3/s dans la traversée de Lamalou. La crue historique du 24 mai 1992 a des niveaux proches de cette référence.

Les seuls débordements du Bitoulet répertoriés dans un passé récent concernent le secteur des Carbounières qui a déjà été inondé en 1992 sous des hauteurs d'eau inférieures à 50 cm (et des vitesses estimées inférieures à 50 cm/s). Nos délimitations ont montré que l'intégralité du lotissement avait été inondée sous des hauteurs d'eau bien plus élevées, jusqu'à 1,60 m. La zone du camping n'est pas répertoriée comme inondable dans la carte d'aléa[3]. Dans la zone urbaine traversée par le Bitoulet, quelques quartiers sont identifiés comme inondables (tableau 3) mais la zone délimitée dans le PPR paraît sous-estimée par rapport à la zone inondée le 17 septembre. Finalement, l'ensemble des zones soumises à réglementation dans le PPR couvrent 11,39 hectares dans la zone d'étude soit 42 % de la zone inondée en 2014.

Tabl. 3 — Comparaison des hauteurs d'eau PPR avec celles relevées en 2014

Secteur N°	Zone inondable du PPR	Hauteur d'eau estimée Q100 PPR	Zonage PPR	Hauteur d'eau estimée 17/09/2014	Différence 2014 - PPR
1	Lotissement des Carbounières	< 50 cm	bleu	1,6 m maxi	1 à 1,2 m
2	Camping municipal	50 cm	blanc	1 m à 1,2 m	0,5 à 0,7 m
3	Avenue Ménard/rue des acacias	0 à 50 cm	blanc ou bleu	1 à 2,5 m	1 à 2 m
4	Parc de loisirs	> 60 cm	blanc, bleu ou rouge	1,2 à 1,9 m	0,5 à 1,2 m
5	Lotissement Mairal	0	blanc	1,9 m maxi (moy : 1,4 m)	1,9 m maxi
6	Entre les avenues d'Alsace et Foch	« Localement importantes »	rouge	de 80 cm à 3 m	non précisable

Localisation des secteurs voir figure 6.

3. Elle avait déjà été faiblement inondée le 24 mai 1992 et est signalée comme zone à évacuer dans le plan communal de sauvegarde.

4.5.2 Un PPR en peau de chagrin

Les inondations de septembre 2014 sur le Bitoulet ont dans l'ensemble dépassé la crue de référence du PPR d'une hauteur de 1 à 2 m. Cependant, la comparaison entre les hauteurs d'eau PPR et celles relevées en 2014 montre une très forte hétérogénéité des écarts. Pour ne prendre qu'un exemple, le PPR signale qu'à l'amont du pont de Ménard (zone 3, figure 6), en rive droite, deux maisons sont susceptibles d'être inondées mais par moins de 50 cm d'eau (zone bleue). Le 17 septembre, les hauteurs d'eau ont dépassé 2 m et une des maisons a été déclarée non reconstructible (CEREMA, 2015). Outre cette sous-estimation, ce qui frappe dans le PPR, c'est l'hétérogénéité de l'extension spatiale de la zone inondable d'amont en aval de la vallée. On passe d'une zone inondable de 150 m de large à 10 m (lit mineur) en à peine 100 m sans que les pentes longitudinale et transversale du lit du Bitoulet ne changent fondamentalement. Le pont du boulevard Mairal est réputé « suffisamment dimensionné pour laisser transiter la crue de retour 100 ans ». Le lotissement du Mairal en rive droite situé à 2 m sous le niveau du tablier du pont n'était pas censé être inondé. Il a pourtant été submergé par 1,9 m d'eau en 2014 (zone 5, tableau 3, figure 6). À cet endroit, la largeur de la zone inondable dans le PPR se réduit au lit mineur soit 10 à 20 m de largeur alors que l'emprise inondée en 2014 mesure 160 m. Curieusement, à l'aval du boulevard Mairal, la zone inondable PPR s'élargit de nouveau jusqu'à englober une bonne partie du lit majeur. La carte réglementaire du PPR ne reflète pas exactement la description de l'aléa figurant dans le rapport de présentation du même PPR. La zone rouge se résume pratiquement au seul lit mineur. L'exposition du camping en cas de fortes crues est évoquée dans toutes les études notamment l'AZI (voir plus haut) et dans le rapport de présentation du PPR lui-même qui précise qu'« environ 22 m^3/s débordent sur le camping municipal, avec des hauteurs de submersion de l'ordre de 50 cm et des vitesses localement supérieures à 50 cm/s » (PPR, 2005, p. 21). Malgré cela, il est exclu du zonage réglementaire du PPR (zone blanche). Le seul espace cartographié en rouge dans la carte réglementaire est un parking (zone 4, figure 6) sans vocation urbanistique. En revanche, les espaces autour du parc de loisirs sont exclus de la zone réglementée alors que nous avons vu qu'ils avaient été fortement touchés en 1992 et en 2014. Le rapport de présentation du PPR précise que « le Parc de loisirs (tennis, piscine, jeux de boules, squash…) est touché par les débordements du Bitoulet… avec des hauteurs de submersion importantes (supérieures à 60 cm) ». Or, la zone est cartographiée en bleu et en blanc (figure 7).

Ainsi a-t-on une carte réglementaire PPR en patchwork, très hétérogène, tant dans les hauteurs d'eau, largement inférieures à celles mesurées en 2014, que pour l'ampleur de la zone inondable, réduite par rapport à l'aléa connu avant 2014.

4.6 Discussion et conclusions

Plusieurs conclusions ressortent de ces comparaisons. La première est que l'inondabilité prévue dans le PPR est fortement sous-évaluée par rapport, d'une part, à l'emprise du lit majeur du Bitoulet et, d'autre part, à l'événement du 17 septembre 2014 à tel point que l'on peut se demander si ce n'est pas la carte réglementaire qui guide la carte d'aléa plutôt que

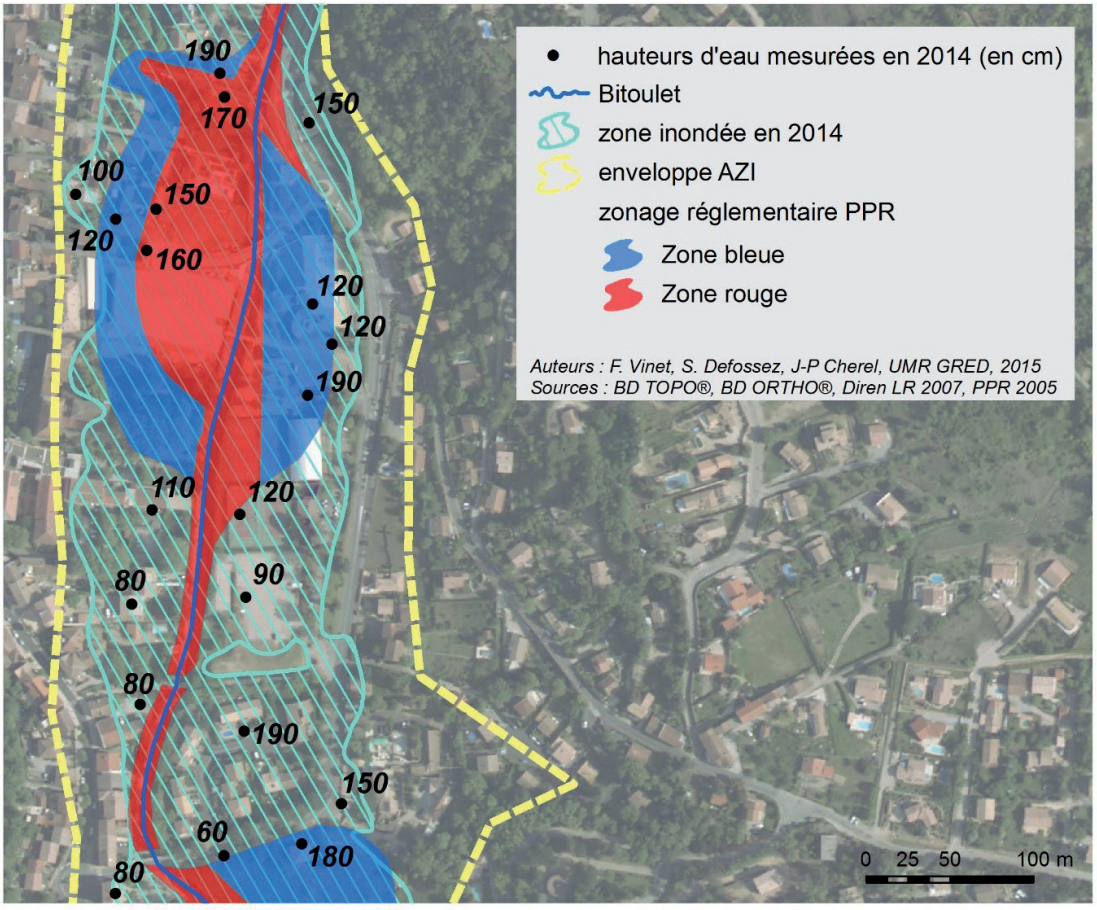


Fig. 7 — Extrait du PPR 2005 et hauteurs d'eau relevées en sept. 2014 au niveau du parc de loisirs (rive gauche).

l'inverse. A-t-on tordu les sorties de l'étude hydraulique pour ne pas risquer une carte réglementaire trop contraignante ? Les incohérences entre la description de l'aléa dans le rapport de présentation du PPR et la carte réglementaire suggèrent une « négociation » des enveloppes réglementaires du PPR. Des espaces manifestement inondables n'ont pas été reportés dans la carte réglementaire : c'est le cas du camping ou de la zone du parc de loisirs.

À plusieurs endroits et notamment au camping, l'étude hydraulique prévoit des débordements en cas de crue centennale alors que ces secteurs ne sont pas réglementés. On peut aussi s'interroger sur les paramètres servant de base à l'estimation de la crue centennale, objet de l'étude hydraulique. Dans le cas de Lamalou-les-Bains, le dilemme se pose de la façon suivante :

- soit la crue modélisée est réellement une crue de période de retour centennale et dans ce cas, cette référence n'est pas suffisante pour assurer la sécurité des personnes et apprécier le risque inondation à sa véritable hauteur.
- soit la crue de référence a été « tordue » voire modifiée et les cartes présentées par le PPR ne reflètent pas les véritables sorties des modèles. Dans ce cas, on peut s'interroger sur l'intérêt des experts et des services de l'État à accepter de tels compromis décrédibilisants.

À quoi servent des études hydrauliques fort coûteuses si on ne les met pas en demeure de prévoir ce type de crue majeure, si « la crue centennale » sous-estime d'un mètre la hauteur d'eau dans un lotissement où l'aléa est qualifié de moyen mais où, finalement, les hauteurs d'eau ont dépassé 1,5 m c'est-à-dire des hauteurs dangereuses pour la vie humaine. L'enveloppe du lit majeur fourni par l'AZI hydrogéomorphologique quant à elle, montre une meilleure correspondance spatiale avec la crue de 2014. Ce n'est pas le premier exemple de confirmation de la concordance entre la limite de la zone inondable déterminée par approche hydrogéomorphologique et l'enveloppe de crue d'un événement majeur (Masson *et al.*, 2000 ; Chave, 2002 ; Esposito, 2003 ; Ballais, 2006). Il est légitime de se demander pourquoi la cartographie hydrogéomorphologique produite dans le cadre de l'AZI n'était pas intégrée dans le zonage réglementaire du PPR alors que l'enveloppe hydrogéomorphologique figure sur la carte d'aléa du PPR. Jusqu'au début des années 2000, la cartographie hydrogéomorphologique était citée ponctuellement dans les rapports des PPR, mais elle n'était pas intégrée dans la cartographie du zonage, ni de l'aléa (Montané *et al.*, 2015). On note un réel changement à partir de 2004 et la circulaire interministérielle[4] adressée aux services déconcentrés de l'État du sud de la France. Cette circulaire demande expressément d'intégrer la cartographie hydrogéomorphologique dans les PPR, en réaction aux crues de 2002 et de 2003.

Cette inondation survenue sur le Bitoulet apporte une nouvelle démonstration de la nécessité de prendre en compte l'hydrogéomorphologie dans les PPR. Cette prise en compte peut se faire au moins au titre de l'affichage du risque et

4. Circulaire du 21/01/04 relative à la maitrise de l'urbanisme et adaptation des constructions en zone inondable.

de l'information des personnes. Certes, il ne faut pas faire porter aux documents réglementaires toute la responsabilité du drame. L'inclusion du camping en zone rouge ou bleue du PPR n'aurait pas forcément conduit à sa fermeture (pas d'effet rétroactif systématique du PPR) mais aurait permis d'afficher le risque, d'imposer des exercices et des dates de fermeture plus strictes. De plus, des règlements existent hors PPR pour imposer des mesures de prévention et de préparation de crise aux campings.

Certes, on objectera que Lamalou est un cas particulier et qu'il faut s'abstenir de généraliser trop hâtivement. Pourtant, l'argumentation sur le cas particulier ne tient plus tant les cas de sous-estimation délibérée du risque dans les PPR sont légion (Pottier *et al.*, 2003 ; Douvinet *et al.*, 2011 ; Ledoux, 2006 ; Pigeon, 2006, 2010 ; Veyret Y., Laganier R. (dir.), 2013…). Lors des inondations récentes ayant entraîné un nombre de victimes significatif, le manque de prise en compte de l'inondabilité dans l'occupation du sol a été systématiquement pointé du doigt notamment après Xynthia (Anziani, 2010 ; Cour des Comptes, 2012 ; Vinet *et al.*, 2012) et les crues dans le Var en juin 2011 (Colombat, 2012). Le rognage de la zone inondable est fait commun et les futures réformes concernant l'attribution des compétences de la gestion des risques aux intercommunalités n'augurent pas une amélioration dans le domaine.

Le qualificatif « exceptionnel » est à bannir absolument des discours sur l'aléa. En effet, cela sous-entend que la crue sort des cadres connus, qu'elle n'entre pas dans un ordre des choses connu, explicable, compréhensible. Cela sous-entend également que le phénomène ne se reproduira pas car il est lié à des circonstances fortuites qui sont une exception. Que la crue du Bitoulet ait atteint des niveaux rarement atteints, on peut en convenir, mais elle n'est pas exceptionnelle. Elle ne constitue pas une exception. Elle cadre avec la géographie du lit majeur du cours d'eau établie antérieurement.

Bien sûr, l'État a engagé une sévère révision du PPR comme après chaque catastrophe (Chadenas *et al.*, 2013). Mais il est une nouvelle fois trop tard. On peut ainsi s'interroger rétrospectivement sur la réponse à avoir lorsque les conflits entre développement territorial et protection contre les risques sont évidents. Faut-il transiger et accepter le compromis ? Dans le cas de Lamalou, n'aurait-il pas mieux valu accepter l'inondabilité plutôt que de tordre un PPR qui de toute façon n'a pas servi à grand-chose : négocier avec les autorités locales en acceptant des aménagements en zone inondable mais sous conditions de réduire au maximum l'exposition humaine et matérielle en concevant l'urbain de façon à prendre en compte l'inondabilité des lieux (zones refuges, transparence hydraulique ou design adapté de l'urbanisme, plan de mise en sûreté des personnes…). Ces réflexions étaient peu diffusées au début du siècle (CERTU-MEDD, 2004). Elles reviennent dans le débat depuis quelque temps (Ryan, 2010 ; Zevenbergen, 2010 ; CEPRI, 2015).

Bibliographie et documents consultés

Anziani A., *Xynthia : les leçons d'une catastrophe,* rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur les conséquences de la tempête Xynthia, Sénat, n° 554, 2010, www.senat.fr/notice-rapport/2009/r09-554-notice.html.

Ballais J.-L., « Le Gardon d'Anduze et la méthode hydrogéomorphologique », *Études de Géographie Physique*, 23, 2006, p. 5-12.

Ballais J.-L., Chave S., Dupont N., Masson E., Penven M.-J., La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables », *Physio-Géo* [En ligne], volume 5, mis en ligne le 21 mars 2011, URL : http://physio-geo.revues.org/3307 ; DOI : 10.4000/physio-geo.3307.

Cepri, *Comment saisir les opérations de renouvellement urbain pour réduire la vulnérabilité des territoires inondables face au risque d'inondation ?,* Principes techniques d'aménagement, 2015, 132 p.

Cerema, *Retour d'EXpérience des intempéries sur les départements de l'Hérault et du Gard de septembre à décembre 2014*, Rapport d'expertise sur la commune de Lamalou-les-Bains, DDTM34, DREAL-LR, mai 2015, 49 p.

Certu-Medd, *Centre-ville en zone inondable. Prise en compte du risque. Dix exemples d'adaptation du bâti*, 2004, 68 p.

Chadenas C., Creach A., Mercier D., « The impact of storm Xynthia in 2010 on coastal flood prevention policy », *Jorn. Coast Conserv.*, vol. 17-4, 2013, DOI 10.1007/s11852-013-0299-3.

Chave S., « Pertinence de la cartographie hydrogéomorphologique dans l'approche des inondations rares à exceptionnelles : exemples de sept bassins fluviaux dans les Corbières et le Minervois », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 8, 2002, p. 297-306.

Collombat P.-Y. (dir.), *Se donner les moyens de ses ambitions ! : les leçons des inondations du Var et du sud-est de la France*, Rapport d'information n° 775, Sénat, 2012, 388 p.

Cour des Comptes, *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var*, Rapport public thématique, 2012, 304 p.

Diren L.R., *Atlas départemental des Zones inondables, Hérault,* note de présentation, 2007, 29 p.

Douvinet J., Defossez S., Anselle A., Denolle A. S., « Les maires face aux plans de prévention du risque inondation (PPR) », *l'espace géographique*, 40 (1), 2011, p. 31-46.

Dreal/H2 G.EAU, *atlas des zones inondables du bassin-versant de l'Orb par analyse hydrogéomorphologique,* 2005, 33 p. + planches.

Esposito C., *Crues de septembre 2002 sur le Bassin-Versant du Gardon : Étude comparative entre les limites de la cartographie hydrogéomorphologique et le relevé de la zone inondée*, université Aix-Marseille I, mémoire de DEA, 2003, 40 p.

Ledoux B., *La Gestion du risque inondation*, Éditions du Tec & Doc, Éditions Lavoisier, Londres, New York, Paris, 2006, 770 p.

Masson M., Garry G., Ballais J.-L., *Cartographie des zones inondables. Approche hydrogéomorphologique.*

Guide méthodologique, Éditions Villes et territoires, Paris, 1996, 100 p.

Masson M., Chave S., Mathieu L., Ballais J. L., Garry G., Delgado J. L., « La possible prévision : la méthode hydrogéomorphologique », dans *Actes du colloque Méditerra, Au chevet d'une catastrophe*, Presses universitaire de Perpignan, collection « Études, Perpignan », 2000, p. 112.

Montané A., Vinet F., Buffin-Belanger T., Vento O., Masson M., « Cartographie hydrogéomorphologique : émergence d'utilisations réglementaires en France », *Physio-géo,* Varia 2015, p. 37-60, vol. 9, mis en ligne le 18 février 2015, URL : http://physio-geo.revues.org/4397, DOI : 10.4000/physio-geo.4397.

Pigeon P., « L'efficacité des politiques gérant les risques dits naturels en France : lecture géographique », dans Leone F., Vinet F. (dir.), *La Vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques*, Montpellier, Publications de l'université Paul-Valéry Montpellier 3, coll. « Géorisques », vol. I, 2006, p. 28-33.

Pottier N., Reliant C., Hubert G., Veyret Y., « Les plans de prévention des risques naturels à l'épreuve du temps : prouesses et déboires d'une procédure réglementaire », *Annales des Ponts et Chaussées*, 105, 2003, p. 40-48.

PPR *Plan de Prévention des Risques Naturels d'Inondation. Moyenne Vallée de l'Orb*, Rapport de présentation, 2005,46 p.

Veyret Y., Laganier R. (dir.), *Atlas des risques en France. Prévenir les catastrophes naturelles et technologiques*, Éditions Autrement, Paris, 2013, 96 p.

Vinet F, Defossez S., Rey T., Boissier L., « Le processus de production du risque "submersion marine" en zone littorale : l'exemple des territoires "Xynthia" », *Norois,* 222/2012-1, 2012, p. 11-26.

Ryan Z., *Building with Water, Concepts, Typology, Design*, Bâle, Birkhäuser, 2010, 160 p.

Zevenbergen C., « Towards Flood-Resilient Urban Environments », dans Ryan Z., *Building with Water*, Bâle, Birkhaüser, 2010, p. 41-49.

5 Analyse des retours d'expérience d'inondations majeures pour la résilience des réseaux urbains

Nathalie Pottier[1], Jenna Daniel[2], Marc Vuillet[3]

1, 2. Université de Versailles Saint Quentin-en-Yvelines Centre d'études sur la mondialisation, les conflits, les territoires et les vulnérabilités, 47 Bd Vauban 78047 Guyancourt.
3. Lab'Urba, Université Paris Est, École des Ingénieurs de la Ville de Paris, 80 rue Rébeval, 75019 Paris.
nathalie.pottier@uvsq.fr
marc.vuillet@eivp-paris.fr

Résumé. — L'article analyse les éléments de réponse que peuvent apporter les retours d'expériences (RETEX) d'inondations majeures à la résilience des réseaux techniques urbains qui conditionnent le fonctionnement territorial des grandes métropoles. Il présente quelques résultats d'une première étude menée en 2016 dans le cadre du projet de recherche ANR RGC4[1]. Ce projet ambitionne le développement d'outils opérationnels pour améliorer la continuité d'activité des services urbains et des réseaux vitaux associés (électricité, eau, assainissement, communications) en situation de crise-inondation dans le Grand Paris. Dans cette optique, les RETEX de sept événements d'inondation dans le monde ont été étudiés pour mettre en exergue les défaillances (en cascade) des réseaux urbains et les facteurs qui conditionnent un retour rapide à leur fonctionnement normal. Les RETEX étant rarement ciblés sur les réseaux, nous présentons la démarche exploratoire fondée sur la mise au point d'une grille d'analyse cas par cas pour en tirer les enseignements puis l'apport de ces RETEX et leurs limites pour notre étude. Finalement, le retour d'expérience est un très bon outil de la résilience. Les RETEX étudiés montrent que les facteurs de défaillance et de retour à la normale rapide des réseaux en temps de crise sont globalement connus mais sous-estimés ou oubliés en situation de crise réelle, le facteur humain étant le plus déterminant. Il faut capitaliser les informations des RETEX étrangers pour enrichir les RETEX français et surtout les ouvrir explicitement au bilan du fonctionnement urbain pendant et après l'inondation.
Mots-clés. — retour d'expérience, résilience, inondation, réseau urbain, infrastructure critique, crise.

Title. *— Analysis of Flood Experience Feedbacks for Improving Urban Networks Resilience*

Abstract. *— The article analyzes the responses that feedback from RETEX can bring from major floods to the resilience of urban technical networks that condition the territorial functioning of large metropolises. It presents some results of a first study carried out in 2016 within the framework of the research project ANR RGC4. This project aims to develop operational tools to improve the business continuity of urban services and the associated vital networks (electricity, water, sanitation, communications) in the flood crisis in Greater Paris. In this context, the RETEXs of 7 flood events in the world have been studied to highlight the (cascading) failures of urban networks and the factors that condition a rapid return to normal functioning. Since RETEX is rarely targeted on networks, we present the exploratory approach based on the development of a case-by-case analysis grid to draw lessons and then the contribution of these RETEX and their limitations for our study. Finally, experience feedback is a very good tool for resilience. The RETEXs studied show that the factors of failure and of the rapid return to normal of the networks in times of crisis are generally known but underestimated or forgotten in a situation of real crisis, the human factor being the most decisive one. It is necessary to capitalize the information of foreign RETEX to enrich the French RETEX and especially open explicitly to the assessment of the urban operation during and after the flood.*
Keywords. *— Feedback, Resilience, Flood, Urban Network, Critical Infrastructure, Crisis.*

Introduction

Les événements naturels générateurs de catastrophes sont porteurs d'enseignements qu'il convient de rassembler, conserver et analyser pour construire la résilience de demain. Pour relever ce défi, l'approche de type « bottom-up » fondée sur la notion de « retours d'expérience » (RETEX) post-catastrophes est indispensable et incontournable pour faire remonter les informations issues du terrain, reconstituer les circonstances et l'enchainement des événements dans leur dimension espace-temps et ainsi mieux comprendre les conséquences pour en tirer des enseignements (Wibo, 2009 ; Moatty, 2015 ; Crozier *et al.*, 2016 ; Pottier, 2016 ; Moatty *et al.*, 2017 ; Rey *et al.*, 2017). Les RETEX « contribuent à l'amélioration de la gestion des crises futures en diagnostiquant les défaillances et en proposant des ajustements » (résumé introductif du colloque Géorisques 2017, Montpellier 3).
C'est précisément l'objet de la contribution présentée ici. Il s'agit d'utiliser les RETEX d'inondations majeures ayant affectées de grandes villes pour reconstituer les défaillances des réseaux urbains dans toutes leurs dimensions et approfondir

1. RGC4 : résilience urbaine et gestion de crise dans un contexte de crue à cinétique lente. Développement d'outils pour l'aide à la gestion des réseaux techniques critiques: application au Grand Paris (coordination Marc Vuillet, EIVP).

la connaissance des interdépendances : causes, conséquences, solutions palliatives mises en œuvre en situation de crise et de post-crise en tenant compte des temporalités (réparation, adaptation, résilience à court et plus long terme) et de la spatialité (territoire inondé impacté et non inondé mais tout de même affecté indirectement). L'analyse des RETEX doit permettre de déduire les facteurs déterminants d'un retour rapide à la normale (leviers ou freins, opportunités à saisir, incertitudes à intégrer). Elle vise enfin à en tirer des enseignements pour améliorer la résilience urbaine, en particulier dans le cadre des grandes métropoles. Dans cet article, les RETEX sont analysés pour en tirer des enseignements utiles à la Métropole du Grand Paris qui a vu le jour au 1er janvier 2016[2] et se place ainsi dans la course des grandes mégapoles mondiales.

L'enjeu est de taille pour ces espaces urbains autour de la question de la continuité d'une activité économique minimum et du maintien des services publics vitaux (électricité, eau, assainissement, communications) pendant et après une submersion durable. Il se pose avec d'autant plus d'acuité que ces 15 dernières années plusieurs grandes métropoles (Prague, Nouvelle Orléans, Bangkok, New York…) ont été « paralysées » par des inondations de grande ampleur dont les impacts ont été démultipliés par la dépendance aux réseaux. Ces événements ont renforcé la prise de conscience des gouvernements, collectivités et gestionnaires d'infrastructures de la dépendance croissante des grandes villes aux réseaux urbains. Ces réseaux, qui conditionnent tout le fonctionnement territorial, sont toujours plus complexes et interconnectés (dépendance à l'électricité par exemple), dans un contexte toujours plus incertain (changement climatique et événements extrêmes, actes de malveillance ou de terrorisme, réactions et comportements humains inattendus face à une crise).

Ainsi, notre première partie présente les attentes de l'étude des RETEX par rapport au contexte et au positionnement de notre recherche RGC4. Dans un second temps est présentée la démarche exploratoire pour l'analyse des RETEX d'inondations majeures et les cas étudiés, enfin, les résultats sont abordés sous l'angle de l'apport des RETEX post catastrophe-inondation pour la résilience des réseaux urbains.

5.1 Intérêt des retours d'expérience pour l'analyse de la résilience des réseaux techniques urbains

5.1.1 De quoi parle-t-on ? Résilience, réseau et retour d'expérience post-inondation

Nous nous appuyons sur des définitions déjà explicitées dans de précédents travaux portant sur l'analyse de la résilience urbaine et faisant un focus sur les réseaux et leurs dysfonctionnements suite à une inondation (le projet RGC4 se plaçant dans leur continuité) : travaux de Damien Serre sur la ville résiliente (Serre, 2013), de Serge Lhomme sur les réseaux techniques comme vecteurs de risques en milieu urbain (Lhomme, 2012), de Marie Toubin (Toubin, 2014) sur l'approche collaborative comme moyen d'améliorer la résilience des services urbains parisiens ; ensemble des travaux sur la résilience, la vulnérabilité des territoires et le génie urbain menés au sein de l'EIVP (Landau et Diab, 2016).

Ainsi, la résilience, terme fortement polysémique, est entendue ici au sens de la « résilience urbaine » définie comme la capacité d'une ville à absorber une perturbation et à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci (Lhomme, 2012), autrement dit sa capacité à fonctionner « en mode dégradé » et à revenir rapidement à la normale en fonction de ses capacités de résistance, d'absorption et de récupération (figure 1).

Dans une approche géographique, cette définition doit être pensée dans un contexte territorial. Gouvernement, chercheurs et professionnels du risque parlent aujourd'hui de « résilience territoriale » pour évoquer la capacité à faire face et à réagir des sociétés face aux risques naturels (exemple : le programme RDT « risque, décision, territoires » du ministère de l'Écologie lancé en 2013 et sous-intitulé « la résilience des territoires face aux risques dans un contexte de nouvelles approches de gestion et de risques émergents »).

Cette notion de résilience du territoire implique de développer les capacités d'adaptation et d'organisation d'un territoire en intégrant deux dimensions fondamentales : la dimension spatiale (échelles administratives de gouvernance du local au régional ; échelles géographiques de l'aléa ; géographique et technique du réseau avec son système) et la dimension temporelle (avant la crise où l'objectif est de réduire la vulnérabilité, pendant qu'il faut gérer la crise et après la crise l'attention doit être à l'organisation du retour à la normale).

Les réseaux sont entendus ici au sens technique et courant du terme. Ils désignent les infrastructures de voiries, de transport, eau, gaz, électricité, etc. (avec leur système de gestion) propres à une agglomération et non pas les « réseaux urbains » au sens où l'entendent couramment les géographes c'est-à-dire les réseaux de villes et l'organisation de ces villes dans l'espace.

Ces réseaux sont dits techniques car ils englobent un ensemble d'éléments physiques (circuits, canalisations et appareils) reliés entre eux qui permet la circulation et la distribution de l'électricité, de l'eau, du gaz, du téléphone, etc. S. Lhomme (2012, p. 109-110) précise qu'un « réseau technique est […] caractérisé par au moins trois niveaux : un niveau matériel (les composants constitutifs du réseau : grands linéaires et éléments ponctuels), un niveau structurel (topologie, configuration du réseau), un niveau fonctionnel (le flux qui se diffuse, la rhéologie) — leur principale particularité étant finalement qu'ils impliquent des infrastructures linéaires matérielles ».

Les réseaux techniques sont qualifiés de « critiques » si l'impact que leur dysfonctionnement engendrerait met en péril (affaiblit) la sécurité, l'économie, le mode de vie et la santé publique d'une ville, d'une région, voire d'un État (Rinaldi, 2004 cité par Lhomme, 2012, p. 28).

Quant au retour d'expérience post-catastrophe, il est la formalisation d'un événement passé (Wibo, 2009). Nous retiendrons la définition plus précise du spécialiste des risques et des crises Jean-Luc Wibo (2009), qui correspond particulièrement au sens que nous donnons à l'étude des retours d'expérience dans notre étude.

2. La Métropole du Grand Paris est née le 1er janvier 2016 suite à la loi MAPTAM (loi nº 2014-58 du 27/01/2014), renforcée par la loi nº 2015-991 du 07/08/2015 de nouvelle organisation territoriale de la république (loi NOTRe). Elle regroupe la ville de Paris et 130 communes (la totalité des 3 départements de la petite couronne 92, 93, 94 et 7 communes de la grande couronne dans le 91 et le 95).

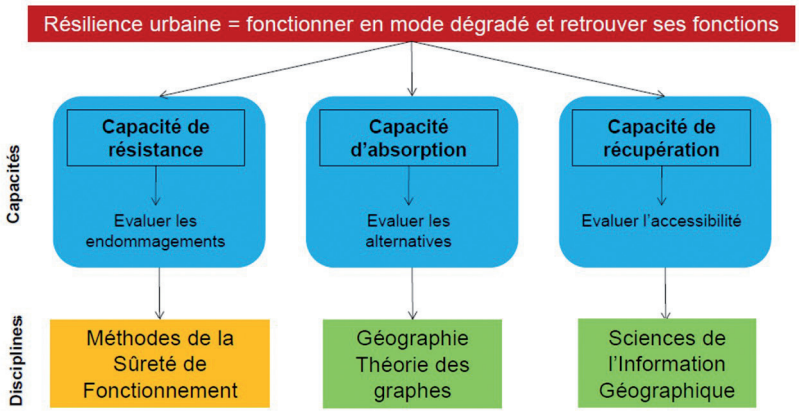


Fig. 1 — Définition de la résilience urbaine (Lhomme, 2012).

Le retour d'expérience s'applique à l'étude d'événements non voulus et de leur gestion. Il permet d'identifier en détail la genèse et l'évolution de l'événement dans ses diverses composantes (techniques, humaines, organisationnelles, environnementales) ; de déterminer l'ensemble des actions entreprises, négatives et positives ; de tirer des leçons en accédant à la connaissance tacite des personnes, de manière à construire des scénarios d'actions alternatives permettant de mieux gérer ces situations si elles se reproduisent.

Notre étude s'intéresse aux 2 grands types de retours d'expériences d'inondation existants :

- D'une part **les retours d'expérience externes ou institutionnels** impulsés par l'administration ministérielle ou préfectorale suite à des événements majeurs. En France, la démarche de retour d'expérience sur les événements naturels dommageables est institutionnalisée depuis 2001 au sein du ministère de l'Écologie qui les pilotent (alors le MEEDAT). Ces REX pour reprendre la terminologie initiale du monde de l'entreprise, que l'on nomme désormais RETEX en référence au processus militaire de retour sur la gestion des crises et conflits, constituent le 7e pilier de la politique française de prévention des risques naturels. Français ou étrangers, ces RETEX sont surtout centrés sur le descriptif de l'événement hydrométéorologique déclencheur de l'aléa et les conséquences en termes de dommages économiques et coût pour les assureurs. Leur but est de produire des enseignements pour améliorer la prévention des risques et la résilience des territoires (meilleure efficacité des services). Ils sont généralement disponibles sur Internet. En France, ils sont mis en ligne par l'État depuis 2001[3].
- D'autre part, **les retours d'expérience internes propres aux organismes** impliqués dans la gestion de crise (en particulier ceux établis par les collectivités locales et par les gestionnaires de réseaux et services urbains). Ceux-là sont davantage ciblés sur le déroulement de la gestion de crise elle-même et les dysfonctionnements au niveau organisationnel pour les collectivités et au niveau très technique pour les gestionnaires réseaux. Ils ne sont pas toujours mis en ligne au public, ils nécessitent une recherche Internet plus ciblée ou sont à diffusion restreinte ou interne sur demande.

3. Publiés à partir de 2001 par l'Inspection générale de l'Environnement puis depuis 2008 par le CGEDD Conseil général de l'Environnement et du Développement durable.

5.1.2 Qu'attend-on des RETEX pour l'étude des réseaux urbains face aux inondations ?

Parce que les enseignements tirés des expériences passées permettent de mieux comprendre le présent pour mieux préparer l'avenir, le projet RGC4[4] s'est porté dans son premier volet sur une analyse approfondie de retours d'expérience (RETEX) d'événements d'inondations majeures ayant paralysé de grandes métropoles et de RETEX de simulations de crise inondation (non présentés ici).

L'objet est de recenser, analyser et comprendre les actions et réactions passées lors d'épisodes d'inondations ayant entraîné un arrêt forcé des activités essentielles au fonctionnement urbain en liaison avec les coupures d'électricité, des moyens de transport, des communications téléphoniques etc. ; c'est-à-dire : les défaillances, leurs causes, conséquences, et le jeu des interdépendances, les solutions palliatives retenues. Tout cela doit être analysé selon les espaces affectés et les temporalités de la crise. Les enseignements tirés doivent fournir un éclairage prospectif pour aboutir à des recommandations favorisant la résilience des réseaux techniques pour un développement robuste et durable du Grand Paris face aux crues de la Seine et ses affluents.

En effet, tout l'intérêt porté aux réseaux techniques urbains et aux RETEX réside dans la question suivante : comment assurer la continuité de fonctionnement du territoire, même en mode « dégradé[5] » malgré la crue sur un territoire comme la métropole du Grand Paris ? L'enjeu est de taille si l'on considère qu'une perturbation liée à une inondation centennale paralyserait ce territoire pendant au moins sept semaines, et pourrait s'étendre pour les activités économiques sur près de six mois selon l'OCDE (OCDE, 2014). De plus, les exigences de rentabilité économique poussent les grandes villes à augmenter leurs interdépendances entre réseaux fournisseurs de services vitaux (Vuillet M., 2016) et les exigences technologiques conduisent à accentuer les interdépendances, en ajoutant « une couche de pilotage numérique » et en développant « un métabolisme urbain qui vise à utiliser le rejet d'un système (eaux usées par exemple) pour produire un autre service (chaleur par exemple) » (Toubin M., 2016).

4. *Op. cit.* en résumé.

5. Comme l'expression RETEX, celle de « mode dégradé » est empruntée au langage militaire ou de préparation de crise pour désigner un fonctionnement sans les ressources habituelles, humaines et matérielles en cas de catastrophe majeure.

Nous pourrions ainsi qualifier ces grandes villes de véritables « colosses aux pieds d'argile » dans la mesure où :

- les réseaux qui leur permettent de fonctionner ont un potentiel de déstabilisation très fort du système urbain et sociétal lorsqu'ils ne fonctionnent plus, pouvant aller jusqu'à menacer la sécurité du territoire,
- les dysfonctionnements génèrent et propagent le risque hors des zones inondables et prolongent aussi leurs effets, on parle d'effets dominos propagateurs et amplificateurs de risques,
- les dysfonctionnements peuvent aussi contrarier la gestion de crise : de leur rétablissement rapide ou leur maintien en fonctionnement partiel (en mode dégradé) dépend la vitesse de reprise de la vie économique et avec la réduction du coût des dommages indirects.

En Île-de-France qui porte un tiers de l'économie nationale, les effets sur les réseaux se font sentir bien avant le niveau de la crue centennale à Paris (à partir du scénario R.06 soit 60 % du débit de la crue centennale mesuré à la station d'Austerlitz).
Nous en avons eu un très bref aperçu lors de la crue de printemps 2016 de la Seine en Ile-de-France. Le niveau atteint à Paris-Austerlitz était pourtant 2 mètres au-dessous de celui de la crue centennale de 1910 (*6,10 m contre 8,62 en 1910 et 8,96 m en 1658*) et les perturbations ont concerné à la fois des zones inondées et non inondées privées de services essentiels à la population.
Les premiers rapports de retour d'expérience sur cet événement alertent, entre autres, sur le caractère spécifique de chaque événement. Ceci signifie qu'il faut se préparer à gérer les prochaines crises inondation avec leur part d'incertitude et d'imprévus et qu'il faut savoir gérer les conséquences sans se référer uniquement aux scénarios prévus (infiltrations dans les murs de la ligne RER C à Paris, défaillance de la station limnimétrique de Paris-Austerlitz servant de référence pour la gestion de crise par exemple, CGEDD, 2017a).
La réduction de la vulnérabilité de ces réseaux structurants est donc devenue un axe d'amélioration prioritaire à la Stratégie nationale de Gestion des risques d'inondation (SNGRI), et une déclaration d'intention a été signée en avril 2016 entre le Préfet de région IDF et 14 opérateurs de réseaux d'importance vitale (une première en France !) pour un meilleur partage des données afin d'améliorer le fonctionnement du Grand Paris en cas d'inondation.
Pour relever ce défi, l'utilisation des RETEX post catastrophes est indispensable et incontournable pour faire remonter les informations issues du terrain.
Tout récemment d'ailleurs, en février 2017, le CGDD a publié un rapport pour favoriser les retours d'expérience au service de cette **stratégie nationale de gestion des risques d'inondation (la SNGRI)**. Il y distingue les **deux** objets cités précédemment de l'exercice du retour d'expérience : les REX « gestion de crise » et les REX « prévention des risques et résilience et aménagement du territoire » (CGEDD, 2017b). Mais il n'est pas encore clairement mentionné de faire un zoom quelconque sur le (dys)fonctionnement du système urbain, ou sur les coupures réseaux qui pourtant sont à l'origine de la paralysie du territoire, de la perturbation de la vie quotidienne et de l'allongement du délai de retour à la normale suite à l'effet amplificateur de l'interdépendance des réseaux générateurs d'effets dominos.

Une démarche spécifique d'exploitation des RETEX d'inondations majeures a donc été mise au point.

5.2 Démarche exploratoire : une grille d'analyse « RETEX — réseaux urbains »

Nous nous intéressons aux RETEX sous l'angle de la gestion de crise dans ses aspects techniques et organisationnels afin de mieux comprendre les facteurs générateurs d'effets cascade qui ont transformé une simple crise en catastrophe et quelles ont été les réponses apportées.
Pour ce faire, une démarche exploratoire (approche qualitative) a été réalisée en deux 2 temps :

- Réalisation d'un état de l'art sur la vulnérabilité des réseaux urbains pour construire une grille d'analyse adaptée cas par cas (les RETEX étant rarement ciblés sur les réseaux)
- Sélection des RETEX d'inondations majeures français et étrangers ayant fortement impacté le fonctionnement des réseaux techniques urbains.

5.2.1 Conception de la grille d'analyse des RETEX sous l'angle de la résilience des réseaux urbains

Dans les RETEX, les informations sur les réseaux urbains sont le plus souvent éparpillées et la lecture d'autant plus longue et minutieuse. Une grille d'analyse a donc été réalisée sous Excel pour faciliter l'exploitation, avoir une vue d'ensemble uniquement « réseau » et regrouper classer les informations sur la gestion de crise et par type de réseau. Les réseaux suivants ont été ciblés : le réseau électrique et de gaz, celui de transports (tous types), de télécommunications (téléphones fixes, mobiles et internet), le réseau d'eau potable et d'assainissement.
Chaque grille correspond à un cas de RETEX et est assortie d'onglets, eux-mêmes associés à des critères et sous-critères d'analyse qui décortiquent l'événement d'inondation en intégrant la question spatiale et les trois temps associés à la compréhension de la crise (préparation, crise, post-crise). La figure 2 présente l'arborescence de cette grille et ses six onglets principaux qui sont :

1. le contexte (caractéristiques de l'événement, cartographie des zones touchées et frise chronologique des événements permettant de reconstituer et dater les faits principaux en termes d'évolution de l'aléa et d'actions réponses),
2. le système de gestion de crise par les autorités compétentes,
3. les réseaux pris un à un (réseaux cités ci-dessus pour lesquels ont été relevés dans les RETEX les caractéristiques du réseau, les mesures de préparation à la crise, le détail des défaillances avec les parties du réseau concernées et les effets en termes d'interruption de service, les modalités de fonctionnement en mode dégradé et les solutions palliatives puis en post-crise les mesures proposées avec les acteurs concernés et leur réalisation ou pas au jour de l'exploitation du RETEX),
4. les défaillances en cascades qui ont pu être identifiées (impact des coupures de chaque réseau sur chacun des autres réseaux et impact en termes de services publics),

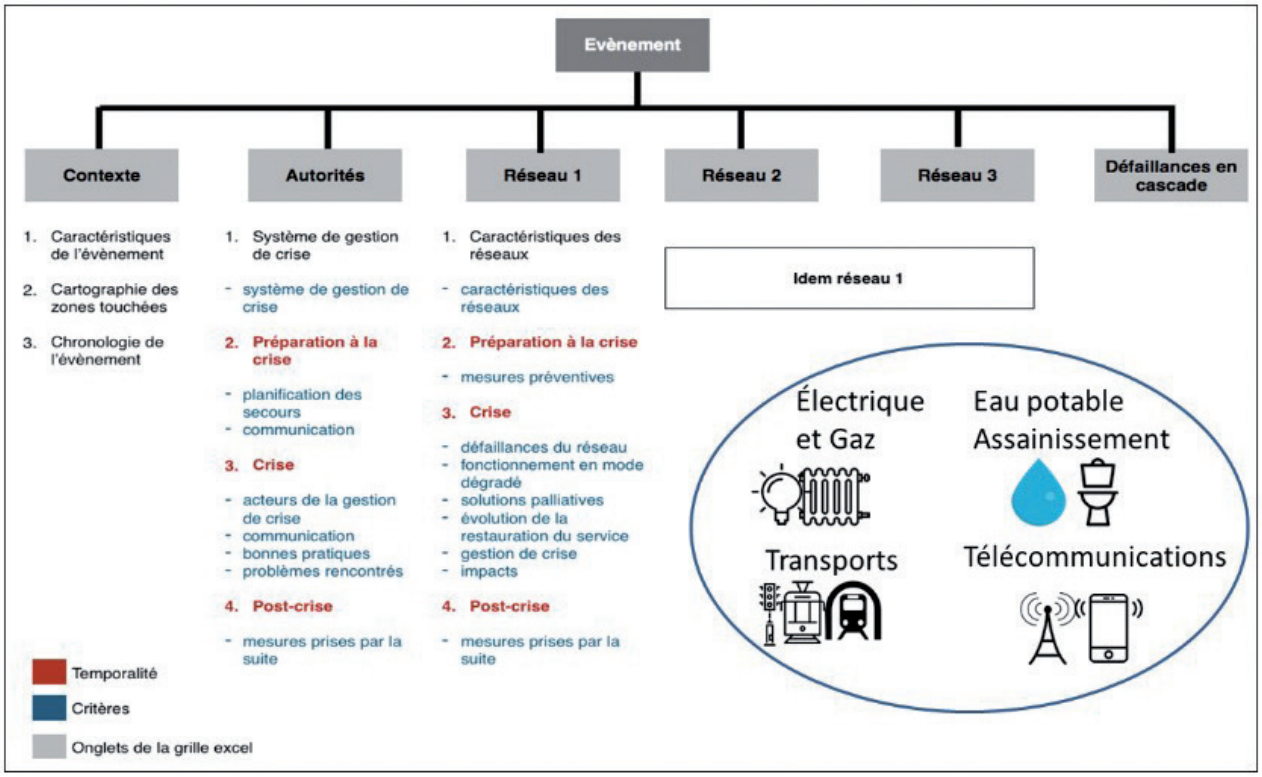


Fig. 2 — Arborescence de la grille d'analyse des RETEX d'inondations ciblés sur les réseaux techniques urbains.

5. les éléments de synthèse à retenir (abordés en deux rubriques essentielles : les problèmes de gestion de crise et les facteurs minorants et aggravants de gestion de crise),
6. les références documentaires qui ont servi à renseigner la grille d'analyse.

En complément, chaque grille d'analyse d'un RETEX fait l'objet d'une fiche de synthèse « focus sur les réseaux urbains » où sont regroupés les principaux enseignements.

5.2.2 Sélection des RETEX d'inondation et application à la grille d'analyse

Pour sélectionner les cas à étudier et appliquer une grille d'analyse, toutes les sources écrites possibles (France, étranger) ont été utilisées comme RETEX (rapports de retours d'expériences « officiels » majoritaires mais aussi articles scientifiques, de presse ou blogs).
La sélection devait porter sur des cas d'inondations de grandes villes françaises ou étrangères ayant des caractéristiques proches de celles du contexte du Grand Paris, c'est-à-dire :

- une densité urbaine élevée[6] et un fonctionnement urbain complexe,
- des inondations qui ont fortement perturbé plusieurs services publics en liaison avec des coupures de réseaux techniques et entraîné une désorganisation de la vie quotidienne,
- des inondations à cinétique lente et/ou durables donc plutôt de type débordement fluvial (pouvant être couplé à la remontée de nappes) : bonne prévisibilité 48 h à l'avance, plusieurs jours ou semaines de submersion, lente décrue.

Finalement, parmi les cas retenus c'est moins la cinétique de l'inondation ou la durée de submersion que la paralysie des réseaux liée à la présence de l'eau ou au passage rapide de l'eau qui a importé dans la sélection. De ce fait, la sélection s'est ouverte à des événements d'inondations engendrées non pas seulement par des débordements fluviaux ou remontées de nappes mais aussi par le passage de tempêtes ou cyclones tropicaux, par la rupture des digues de protection (qui peuvent être liées aux abondantes pluies cycloniques comme à la Nouvelle Orléans en 2005).
De plus la sélection des cas a été conditionnée au fait de disposer de suffisamment d'informations pour pouvoir renseigner la grille. Or on dispose de peu d'événements majeurs d'inondations (lentes ou rapides) ayant historiquement affecté de grandes villes françaises en dehors de la crue de 1910 à Paris. Et la plupart des événements d'inondation français qui ont fait l'objet de RETEX n'ont pas fourni suffisamment d'informations sur les réseaux pour remplir correctement la grille. Tout ceci explique que dans cinq cas sur sept retenus (selon le timing dont nous disposions), les RETEX soient étrangers. Le tableau 1 présente les RETEX d'inondation retenus et les points intéressants concernant les dysfonctionnements de réseaux qui ont joué dans la sélection des cas à retenir.

5.3 Résultats : que tire-t-on de ces RETEX pour la résilience des réseaux ?

La grille n'a pas pu être remplie dans toutes ses rubriques pour tous les cas retenus dans le tableau 1. Ce sont les

6. Paris-petite couronne correspond à 8 560 habitants/km² pour 7 millions d'habitants et 12 millions en Île-de-France, source : Agence d'urbanisme de la ville de Paris et de la métropole du Grand Paris, APUR 2016.

Tabl. 1 — RETEX retenus et principaux impacts aux réseaux des inondations (adapté d'après Daniel, 2016)

Ville et nbre d'habitants	Cause et type de submersion	Durée moyenne de submersion dans la ville	Hauteur d'eau recensée dans les rues	Points intéressants concernant les impacts sur les réseaux et le fonctionnement urbain
Prague 2002 (République Tchèque) 1,2 million en 2017	Crue fluviale étendue de la Vltava suite à plusieurs jours de pluies torrentielles (récurrence 500 ans)	2 mois (aout-sept 2002)	Jusqu'à 4 m d'eau dans certaines rues du quartier populaire de Karlin	40 % du pays et 1/8e de la ville inondée 70 000 personnes évacuées Réseaux urbains très endommagés par les niveaux élevés de submersion Retour au fonctionnement normal : 1 mois pour l'électricité, 2 mois pour le gaz, 3 mois pour le téléphone, 8 mois pour 2 des 3 lignes de métro
Nouvelle-Orléans 29/08/2005 (USA) 455 188 en 2005 (208 548 en 2006 et 384 320 en 2014)	Inondation rapide suite aux ruptures de digues du lac Pontchartrain au liées au passage de l'ouragan Katrina, crues du Mississipi et submersions	1 à 2 mois dont 15 jours avec un niveau de submersion très élevé	2 à 3 m en moyenne et jusqu'à 6 m	80 % de la ville inondée (à J + 6 encore 60 %) Désertification du centre-ville fermé par les autorités du 29 août au 26 sept. 2005 (réouvertures progressives selon les risques sanitaires liés aux eaux très polluées) Évacuation obligatoire massive mais 70 000 personnes restées sur place Réseaux urbains très endommagés par les niveaux élevés de submersion Au maximum plus d'électricité pour 2 à 3 millions de foyers, ni eau potable, ni assainissement dès le 1er jour, coupures téléphoniques pour 1,6 million d'abonnés, coupure du ravitaillement alimentaire 1ers pompages à J+15
Brisbane déc 2010-janv 2011 (Australie) 2 millions (2012)	Inondation lente suite aux pluies du cyclone Tasha sur des sols déjà saturés (la plus grave depuis 50 ans)	Environ 1 mois (dec-janv)	50 cm à 2 m	75 % de l'État du Queensland sinistré Défaillance de tous les réseaux urbains mais rétablissement en quelques jours 90 % du réseau électrique rétabli à J+4
Bangkok 2011 (Thaïlande) 19 millions (2012)	Inondation lente suite à succession de tempêtes	1 à 5 mois (début oct 2011)	1 à 2 m dans le nord de la ville	11 % du pays inondé Dysfonctionnement global des réseaux urbains Rétablissement des télécommunications dans les zones industrielles de J+3 jours à J + 6 mois
New-York 2012 (USA) 8 millions (2012)	Inondation rapide suite au passage de l'ouragan Sandy (29/10/2012)	Quelques jours à 15 jours selon les quartiers	Jusqu'à 4 m dans le quartier de Battery Park	17 % de la ville inondée Dysfonctionnement global des réseaux urbains causé par les vents et les submersions d'eau de mer, gestion de crise intéressante car rétablissement rapide de la majorité des réseaux en quelques semaines mais très long pour une partie résiduelle 11 millions de personnes sans transports en commun pendant 2 à 5 jours, 80 % du réseau de métro rétabli en 5 jours 2 millions de foyers privés momentanément d'électricité, 98 % du service rétabli à J+12 jours mais 100 % seulement à J + 12 mois Rétablissement du gaz à J + 2 à 3 jours
Amiens 2001 (France, nord, vallée de la Somme) 135 000 en 2001 132 000 en 2016	Inondation lente par remontée de nappes suite à une pluviométrie exceptionnelle en mars 2001 (après 2 années très humides ayant fait remonter le niveau de la nappe)	3 mois (mi-mars à mi-juin)	1,5 m à 2 m	1re catastrophe de ce type en France par son ampleur et sa durée Impacts sur l'ensemble des réseaux urbains mais surtout paralysie des transports Retour à la normale sur plusieurs mois pour le réseau routier et ferré fortement endommagés par la durée de submersion Impact direct limité pour l'électricité, le gaz et les télécommunications
Arles 2003 (France, sud, Camargue) 50 000 (2013) 53 000 (2016)	Inondation rapide suite à la crue du Rhône (centennale) due à des pluies très abondantes en déc 2003 et à rupture de digues en terres protégeant 2 trémies SNCF	Plusieurs semaines (début 1er déc 2003)	De 60 cm à 2 m	Évacuation de 6 000 personnes sur 9 300 en zone inondable en 2003 Quartiers nord et zone industrielle touchés, Dysfonctionnements du réseau électrique, assainissement, téléphonique (5 000 lignes touchées) mais sans avoir plus informations Impacts sur le réseau de transports, notamment routier lié à la durée de submersion

Tabl. 2 — Facteurs déterminants du rétablissement rapide des réseaux et services associés

	Avant la crise	Pendant et après la crise
Organisation	✓ Ruptures de stocks anticipées et matériel de réparations vérifié ✓ Équipes placées sur les lieux sensibles avant l'événement ✓ Connaissance de la situation personnelle des salariés (disponibilité selon structure familiale) ✓ Proximité géographique zone d'impact / zone de stockage du matériel pour la gestion de crise ✓ Expérience des exercices de gestion crise (personnel plus opérationnel) ✓ Mesures préventives de mise à l'abri ✓ Existence d'un plan de gestion de crise opérateurs ✓ Existence d'un plan de continuité d'activité (PCA)	✓ Pompage rapide des eaux pour libérer les accès routiers (suppose un suivi en temps réel du réseau routier) ✓ Mise en place de groupes de réflexion inter-opérateurs => émergences d'idées innovantes ✓ Mise en commun des moyens des opérateurs de télécommunication concurrents et réflexion commune à des solutions palliatives pour maintenir les communications
Facteurs humains	✓ Personnel formé à la gestion de crise (participation à exercices de simulation)	✓ Conditions de travail acceptables des réparateurs (installation de camp de base où ils sont nourris et logés sur place) ✓ Réactivité et initiative personnelle
Facteurs techniques	✓ Connaissance pointue de son réseau, des interdépendances et de leur modélisation, ✓ Réseau bien entretenu ✓ Structure redondante du réseau (réseau dédoublé afin que d'autres lignes prennent le relai en cas de panne de la ligne habituelle)	✓ Maintien des communications (grâce à la mutualisation entre opérateurs, à la création de site web facilitant la gestion de crise)

RETEX étrangers qui ont été les plus riches d'enseignements, notamment celui de la ville de New York après le passage de l'ouragan Sandy en 2012. Le rapport de 430 pages rédigé par la Ville de New York City (NYC, 2013) est exemplaire tant en matière de précision d'information que de cartographie, schémas, graphiques. Il se suffit à lui seul pour travailler sur la résilience des réseaux.
Malgré cela, la démarche aboutit à des apports utiles pour une analyse prospective de sa propre situation et des limites des rapports de RETEX pour l'étude de l'impact des inondations sur les réseaux urbains.

5.3.1 Facteurs identifiés issus des grilles de RETEX pour un rétablissement rapide des services publics essentiels

Le tableau 2 ci-dessus résume ces facteurs pour l'ensemble des RETEX étudiés.
Globalement ces facteurs sont connus et la plupart sont déjà intégrés dans les plans de gestion de crise, mais en situation de crise réelle, les RETEX montrent qu'ils sont souvent oubliés ou ne sont pas pris en compte par faute de leur accorder suffisamment d'importance ! Il est donc bon de les rappeler pour faire un retour sur nos pratiques, les réviser si nécessaire, et intégrer certains réflexes.
Pour le Grand Paris, la gestion de crise du SGZDS[7] de la préfecture de police de Paris et celle de l'opérateur de transports en commun RATP par exemple intègrent depuis peu certains de ces facteurs (travail sur la connaissance du personnel pour estimer les disponibilités en cas d'astreinte prolongée), mais d'autres malgré leur connaissance sont loin d'être opérationnels :

- disposer de la connaissance sur l'état des routes en temps réel pour prioriser les déplacements,
- arriver à mutualiser des moyens entre opérateurs pour développer des solutions alternatives visant à lutter contre l'arrêt total de service,
- mettre en place des groupes de réflexion inter-opérateurs suite à une interruption de service comme en 2012 après l'ouragan Sandy à New York à J + 3 sur décision du Président B. Obama pour trouver des solutions de remise en service rapide des réseaux notamment électrique et de télécommunications.

De ces expériences passées, le travail sur les RETEX permet de relever des solutions innovantes facilement transposables dans le contexte parisien. Par exemple, à New York en 2012 pour le réseau gaz coupé par pénétration de l'eau à travers les fissures et trous dans les conduites, la solution palliative[8] fut de mettre en place un roulement dans l'alimentation à raison de 2 heures par quartier (non planifié avant) pendant la durée de réparation des conduites (2 à 3 jours dans ce cas précis). C'est typiquement une solution qui permet de maintenir le service « en mode dégradé[9] ».

5.3.2 Apports de la comparaison des situations étudiées

La mise en grille d'analyse des RETEX orientée par rapport à notre objet d'étude sur les réseaux apporte un éclairage comparatif des situations. Il est riche d'enseignements pour

7. SGZDS : secrétariat général de la zone de défense et de sécurité de Paris.

8. On entend par « solution palliative » pour un réseau technique une solution visant à trouver une mesure temporaire qui permette à ce réseau d'accomplir provisoirement tout ou partie de sa fonction pour maintenir le service qu'il doit assurer (maintien en mode dégradé).

9. *Op. cit.* note de bas de page n° 6.

une meilleure compréhension des points qui font la différence dans les délais de retour à la normale en fonction des solutions choisies, dans la sélection des démarches innovantes, la remise en cause des certitudes, des pratiques et/ou des améliorations. L'analyse comparative ainsi menée permet, en outre, de relever les points communs concernant les interdépendances entre réseaux dans les cas étudiés. Par exemple, la défaillance du réseau électrique est à origine des effets dominos car elle entraîne toujours celle des autres (transports, télécommunications, eau potable et assainissement). En cela rien de nouveau. Mais de plus en plus, le réseau de télécommunications est aussi indispensable aux autres réseaux, créant une dépendance supplémentaire de fonctionnement. En effet, en plus de ralentir la gestion de crise (pour l'organisation et la coordination des secours), sa défaillance entraîne celle des réseaux commandés à distance (eau potable, signalisation routière, télégestion de station d'épuration d'eau potable). La modernisation actuelle vers l'automatisation des systèmes crée pour l'avenir un facteur de vulnérabilité supplémentaire actuellement non pris en compte par les opérateurs en termes de gestion de crise[10] (EPTB Seine Grands Lacs, Ville de Paris, SGZDS, 2017).

L'analyse comparative des RETEX étudiés conduit aussi à noter que la qualité, la précision et la rapidité de l'information sont capitales pour éviter les défaillances en cascade et permettre un retour rapide à la normale des services urbains. Elle montre que cela tient parfois à un détail près, qui n'est pas d'ordre technique mais le plus souvent humain et lié à l'interprétation de l'information communiquée.

Par exemple, à New York en 2012 après l'ouragan Sandy, l'opérateur Con Edison a sous-estimé la hauteur d'eau sur ses infrastructures (les prévisions indiquaient +30 cm à 1 mètre et en réalité supérieure à 4 mètres). Les mesures de protection préventives s'en tenant strictement aux prévisions ont donc été insuffisantes, ce qui a conduit à l'explosion d'un transformateur à Manhattan sud : 350 000 clients se sont retrouvés dans le noir avec des conséquences en cascade sur tous les services dépendant. Il a fallu faire évacuer l'hôpital de la zone, réduisant brutalement le nombre de lits disponibles dans le quartier sinistré, élément préjudiciable pour la gestion de crise. Le courant n'a été rétabli que quatre jours plus tard. La différence estimation/réalité de hauteur d'eau était certes difficile à anticiper mais la présence de services essentiels en situation de crise comme cet hôpital aurait pu faire pencher les gestionnaires vers une protection de ce transformateur précis compte tenu de sa position géographique par rapport à des enjeux stratégiques.

En comparaison à Brisbane en Australie après le passage du cyclone Tasha en décembre 2010 (inondation durant un mois du Queensland), l'opérateur électrique Energex a tenu compte de l'incertitude sur la hauteur d'eau estimée suite à l'annonce par les services compétents d'une possibilité de submersion supérieure au maximum annoncé (sans précision de combien, du moins non trouvé dans les RETEX publiés). En conséquence, Energex a choisi de faire des coupures préventives des transformateurs situés dans les quartiers d'affaires et des sous-stations de centres commerciaux et industriels dans ce même quartier.

Cela a réduit d'autant le délai de retour à la normale (rétablissement rapide du courant, avec une faible perte de temps consacré aux réparations grâce aux dommages évités). C'est également ce qu'il ressort de l'étude du RETEX de Prague suite aux inondations de 2002. À New York, 98 % du réseau de Con Edison était rétabli à J+12 tandis qu'à Brisbane, 90 % du réseau d'Energex était rétabli à J+4 (New York city, 2013 ; Daniel, 2016).

Dans ces deux exemples, les RETEX trouvent néanmoins leurs limites car il aurait fallu connaître exactement les modalités de transmission de cette information hydraulique cruciale à laquelle se réfèrent autorités et gestionnaires pour décider des actions à entreprendre.

La question de la gestion de l'incertitude sur les données prend ici toute sa dimension. À New York, le chiffre de hauteur d'eau estimée est-il celui donné directement par les services hydrauliques ou celui estimé par le gestionnaire après communication par les services hydrauliques ? Le gestionnaire a-t-il sous-estimé la hauteur d'eau sur ses infrastructures car il se réfère strictement au niveau de référence qu'on lui communique et estime inutile de prendre une marge de sécurité supérieure ? Ou bien ne veut-il pas prendre cette marge ou encore ne peut-il pas (pour des raisons de coût économique, de responsabilité juridique…) ?

Les RETEX vont rarement assez loin dans une véritable analyse des enseignements à tirer pour l'avenir. Dans le cas de Brisbane, les RETEX n'indiquent pas si le coût des pertes économiques liées aux coupures préventives d'électricité dans les quartiers d'affaires est inférieur au coût des dommages évités et donc si c'est bien l'exemple de démarche à suivre à l'avenir dans une perspective de résilience des infrastructures.

Enfin l'analyse comparative des cas étudiés montre ou confirme qu'en termes de mesures post-crise inondation participant à la résilience à court terme des réseaux techniques urbains (dans les mois qui suivent l'événement en phase de réparation), l'accent reste porté dans tous les cas sur le déplacement ou la surélévation des équipements sensibles et sur des mesures de protection structurelles assez facilement et rapidement réalisables (selon les coûts). Ces mesures sont privilégiées car elles sont « visibles » au regard de la société et garantes d'une réduction de la vulnérabilité physique des équipements (réduction de la sensibilité à l'eau des matériaux par le remplacement des poteaux électriques en bois par des poteaux en acier et béton à New York, édification ou renforcements de murs d'enceintes comme des digues autour des sous-stations électriques à Brisbane après 2011).

Quant à la résilience à long terme, la perspective du « build back better » visant à reconstruire mieux après un désastre, est étudiée par les grandes villes et là encore le RETEX de New York City peut servir d'exemple pour améliorer la résilience du Grand Paris. Un choix plus « raisonné » de la structure des réseaux et des matériaux de remplacement et un travail collaboratif entre opérateurs de réseaux et les autorités de la ville est mené depuis 2012 pour le réseau d'assainissement, un investissement était en cours en 2013 à hauteur de 315 millions de dollars pour éviter 2 milliards de dommages estimés sur les 50 prochaines années (NYC, 2013).

Cet exemple montre qu'il est possible de coupler la prévention à la modernisation des réseaux techniques en encourageant

10. Ces propos ont été confirmés par les gestionnaires du réseau électrique et des télécommunications lors de deux conférences en 2017 : au forum Météo-climat du 24/03/2017 sur « l'adaptation des infrastructures au changement climatique » et à une conférence organisée par l'EPTB Seine Grands Lacs dans le cadre de l'opération « Plouf 75 » le 26/04/2017.

un travail collaboratif (opérateurs privés/services publics de la ville) sur la réglementation et la répartition possible des investissements dans le temps pour améliorer la résilience urbaine.

5.3.3 Des apports indispensables mais limités des RETEX pour la gestion des réseaux urbains

La grille d'analyse que nous avons conçue n'a pas pu être remplie dans toutes ses rubriques pour tous les cas retenus en raison de l'hétérogénéité des informations sur les réseaux dans les rapports de RETEX.
Les RETEX français sont beaucoup plus pauvres que les RETEX étrangers de manière générale et sur la question du fonctionnement territorial conditionné par celui des réseaux urbains (même en considérant plus de cas que ceux cités dans cette étude). Si dans les cas étudiés, tous les réseaux urbains ont été touchés de manière importante par les inondations, peu de RETEX en font le bilan de manière détaillée. Les dommages sont quasiment toujours évoqués mais très peu de RETEX évoquent la préparation des opérateurs et le retour à la normale des réseaux. Les comptes rendus manquent de détails quant à la chronologie des événements et aux temps de récupération. On peut se poser la question sur la raison du peu d'intégration des réseaux urbains à ces documents, qui sont stratégiques pour les futures autres crises.
Par ailleurs, il faut se montrer prudent dans l'interprétation des données issues des RETEX comme nous l'avons montré en fin de partie 5.3.2, les données n'étant pas toujours très précisément explicitées, justifiées ou référencées pour reconstituer les faits avec fiabilité.

Conclusion

Même s'il est encore peu tourné vers la question du fonctionnement urbain, le retour d'expérience est un très bon outil de la résilience. Il permet de « regarder derrière soi » pour avancer plus prudemment sur un chemin où l'on saura mieux identifier et contourner les embûches à la prochaine crise (de nature technique mais surtout organisationnels et humains). Dans notre étude, l'utilisation des rapports de retours d'expérience d'inondations majeures pour la résilience des réseaux techniques urbains a montré que face à la rupture de la continuité d'activité, un retour à la normale rapide des réseaux est possible moyennant les bonnes actions ou réactions parmi les ingrédients de nature organisationnelle, humaine et/ou technique. Cependant, on note globalement un manque de détails quant au fonctionnement des réseaux urbains en temps de crise (chronologie, temps de récupération, etc.). Les RETEX français abordent beaucoup moins que les RETEX étrangers la question du fonctionnement territorial conditionné par celui des réseaux urbains. Principalement centrés sur la chronologie de l'événement et les dommages, ils oublient souvent la préparation des opérateurs et le retour à la normale des réseaux ou des services et leurs dimensions espace-temps.
En France, nous avons donc besoin de capitaliser les RETEX et de mieux les orienter pour conserver des informations sur le comportement des réseaux et les impacts sur les services urbains pendant le temps de l'urgence mais aussi après sur le temps long (récupération).
Afin d'augmenter la portée des RETEX (français ou étrangers) et d'en tirer toute la substantifique moelle que l'on attend par rapport à une problématique donnée, il est tout de même nécessaire de concevoir une grille d'analyse spécifique qui recense, classe et facilite l'analyse des informations éparpillées par rapport à la problématique que l'on s'est donné d'étudier. Puisque la résilience des réseaux urbains est devenue un axe stratégique de l'application de la Directive Inondation 2007/60/CE, il faut maintenant que les prochains RETEX (parce qu'il y en aura) soient conçus dès le départ pour intégrer une partie sur le comportement des réseaux techniques urbains pour répondre à une meilleure résilience territoriale face aux risques.

Bibliographie

CGEDD, *Inondations de mai et juin 2016 dans les bassins moyens de la Seine et de la Loire. Retours d'expérience,* rapport CGEDD n° 010743-01 et IGA n° 16080-R, fév. 2017a, 101 p.

CGEDD, *Pour des retours d'expérience au service de la stratégie nationale de gestion du risque inondation. Synthèse du collège des risques naturels et technologiques,* rapport n° 010890-01, fév. 2017b, 36 p.

Crozier D., Jouannic G., Tran Duc Minh C., Kolli Z., Matagne E., Arbizzi S., « Reconstruire un territoire moins vulnérable après une inondation : une fenêtre d'opportunité encore difficilement mobilisable », *Espace populations sociétés* [En ligne], 2016/3 | 2017, mis en ligne le 31 janvier 2017, consulté le 2 juillet 2017. URL : http://eps.revues.org/7033 ; DOI : 10.4000/eps.7033.

Daniel J., *Quels enseignements tirer des retours d'expériences d'événements d'inondation pour améliorer la résilience des réseaux urbains du Grand Paris ?,* Rapport final de stage de M2 à diffusion restreinte sous la direction de Nathalie POTTIER, UVSQ-CEMOTEV, sept. 2016, 154 p. plus annexes.

Déclaration d'Intention conclue le 20 avril 2016 dite « convention d'échange de données risque inondation » : http://seinegrandslacs.fr/sites/default/files/convention_echange_de_donnees_risque_inondation.pdf.

EPTB Seine Grands Lacs, Ville de Paris, SGZDS, Conférence-débat « crues de juin 2016 : quels enseignements ? », dans *Plouf 75. Tous concernés, tous préparés. Informons-nous sur les inondations*, 26 avril 2017, Paris.

Landau B., Diab Y. (dir.), *Résilience, vulnérabilité des territoires et génie urbain*, EIVP, Presses des Ponts, 2016, 287 p.

Lhomme S., *Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain. Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine*, thèse de doctorat en géographie de l'université Paris Diderot (sous la dir. Laganier R. & Serre D.), 2012, 365 p.

Moatty A., *Pour une géographie des reconstructions post-catastrophe : risques, sociétés et territoires*, thèse de doctorat

de géographie, université Paul-Valéry Montpellier 3, 2015, 491 p.

MOATTY A., GAILLARD J.-C., VINET F., *Du désastre au développement : les enjeux de la reconstruction post-catastrophe*, *Annales de géographie*, vol. 714, nº 2, 2017, p. 169-194.

NEW YORK CITY, *New-York : A stronger, more resilient New York,* 2013, 430 p.

OCDE, *Étude de l'OCDE sur la gestion des risques d'inondation : la Seine en Île-de-France*, éditions OCDE, 2014, 214 p. Résumé exécutif disponible en ligne, 27 p.

POTTIER N., « Les temporalités au cœur de la gestion des risques et des catastrophes naturelles : l'exemple des zones inondables », dans BRESSON M., CARTIER-BRESSON J., GERONIMI V., LERICHE F. (dir.), *Le temps dans les sciences sociales. Temporalités plurielles et défis de la mesure*, éd. Karthala, 2016, p. 215-240.

REY T., LE DÉ L., LEONE F., DAVID G., « An integrative approach to understand vulnerability and resilience post-disaster : The 2015 cyclone Pam in urban Vanuatu as case study », *Disaster Prevention and Management*, 26 (3), 2017, p. 259-275.

SERRE Damien, *La ville résiliente aux inondations. Méthodes et outils d'évaluation*, mémoire d'Habilitation à diriger des recherches en génie urbain (sous la dir. DIAB Youssef), université Paris-Est, 2013, 173 p.

TOUBIN M., *Améliorer la résilience urbaine par un diagnostic collaboratif, l'exemple des services urbains parisiens face à l'inondation*, thèse de doctorat en géographie aménagement, université Paris-Diderot — Paris VII, 2014, 408 p.

TOUBIN M., « Résilience et génie urbain à Paris, une approche Holistique », dans *Résilience, Résilience, vulnérabilité des territoires et génie urbain*, EIVP, Presses des Ponts, juin 2016, p. 101-106.

VUILLET M., « Ingénierie de la résilience, une question d'échelles », dans *Résilience, Résilience, vulnérabilité des territoires et génie urbain*, EIVP, Presses des Ponts, juin 2016, p. 45-57.

WIBO J.-L., « Le retour d'expérience : un processus d'acquisition de connaissances et d'apprentissage », dans SPETCHT M., PLANCHETTE G., *Gestion de crise : le maillon humain au sein de l'organisation*, Economica, 2009, 19 p.

6 Les PPR en Alsace : une analyse REX pour améliorer l'acceptation et l'appropriation des procédures actuelles

Brice Martin[1], Florie Giacona[1], Benjamin Furst[1], Emma Haziza[2], Violette Grimoin[2], Antonin Montane[2], Rüdiger Glaser[3], Iso Himmelsbach

1. CRESAT, Université de Haute Alsace Mulhouse Campus Fonderie 16 rue de la Fonderie 68093 Mulhouse Cedex

2. MAYANE Montpellier

3. IPG, Université de Freiburg

brice.martin@uha.fr

Résumé. — Les deux départements alsaciens figurent parmi les 20 départements les plus à risque en matière d'inondation. Et pourtant, si le Haut-Rhin semble à présent bénéficier d'une bonne prise en compte du risque à travers les PPRI (Plans de Prévention des Risques d'Inondation), le Bas-Rhin affiche un retard considérable. Pour remédier à cette situation, cinq PPRI, concernant 170 communes, ont été programmés pour la période 2016-2018. Un programme très ambitieux nécessitant rapidité et efficacité, qui ne peut guère s'autoriser conflits et blocages entre les services instructeurs et les acteurs locaux. Pour éviter ces retards potentiels, un retour d'expérience a été réalisé sur les procédures de PPR conduites depuis 1998, essentiellement dans le département du Haut-Rhin. Ces résultats ont été intégrés dans la conception d'une stratégie d'information et de communication originale, novatrice et efficace, associant services de l'État, bureau d'étude, universitaires et savoirs locaux.

Mots-clés. — PPR, inondations, retour d'expérience, géohistoire, Alsace.

Title. *— The PPR (Risk Prevention Plans) in Alsace: a Feedback Analysis (« Lessons Learned »–LL) to Improve the Acceptance and the Appropriation of the Current Procedures*

Abstract. *— Both Alsatian departments appear among the 20 departments at greater risks regarding flood. And nevertheless, if Haut-Rhin now seems to benefit from a good consideration of the risk through the PPRI (Plans de Prévention des Risques d'Inondation), Bas-Rhin shows a considerable delay. To remedy this situation, five PPRI, concerning 170 municipalities, was scheduled for the period 2016–2018. A very ambitious program requiring efficiency, which can't allowed conflicts and blockings between actors. To avoid these potential delays, an experience feedback was realized on the procedures of PPR led since 1998, essentially in department of Haut-Rhin. These results were integrated into the design of a strategy of information and original, innovative and effective communication, associating the state services, an engineering consulting firm, the academics, and local knowledges.*

Keywords. *— PPR, Floods, Experience Feedback, Geohistory, Alsace.*

Introduction

« On devrait classer le sommet du Haut-Koenigsbourg[1] en zone inondée pour que les bêtises soient noyées jusqu'à Strasbourg ! » Relayée avec gourmandise par la presse régionale, cette sentence d'un élu de la région de Sélestat à propos du zonage du PPRI (Plan de Prévention des Risques d'Inondation) du Giessen (Martin *et al.*, 2015c), illustre à merveille les difficultés des services de l'État à faire accepter ce type de procédure réglementaire en Alsace. La région se trouve, en effet, dans une situation particulière, associant un profond déficit en matière de culture du risque à une pression foncière intense, compte tenu des fortes densités de population et des processus de périurbanisation. Les événements dommageables y sont, par ailleurs, peu fréquents puisque la dernière inondation à caractère régional remonte à 1990, une date suffisamment « lointaine » pour que plus de la moitié de la population en ait oublié l'occurrence (Brahim 2010). De plus, les grandes villes alsaciennes, Strasbourg et Mulhouse, n'ont plus été inondées depuis la fin du XIX[e] siècle (Martin *et al.*, 2017) et cette situation contribue au désintérêt des acteurs des scènes locales en ce qui concerne le risque d'inondation, voire à sa négation pure et simple. D'où une levée de boucliers systématique et parfois virulente contre les procédures de PPR conduites depuis le début des années 2000 en Alsace, essentiellement dans le département du Haut-Rhin (Martin 2006b ; With 2014). Car, autre caractéristique régionale, il existe une profonde disparité en termes de PPR entre les deux départements alsaciens : le Bas-Rhin affiche un retard certain, mais avec, depuis 2016, la volonté de le rattraper à marche forcée. Ce ne sont pas moins de 5 PPR inondations qui sont en cours d'instruction, l'objectif étant d'aboutir à leur approbation dans les 2 ans. Face à un programme aussi chargé, il s'agissait dès le départ d'éviter au maximum les retards liés à un rejet, à une opposition à la procédure, tel que cela avait pu se passer pour les PPR du Haut-Rhin. Et l'exemple du PPRI de la Doller, prescrit en 1997 et approuvé en… 2014 était suffisamment significatif pour amener les services de l'État à réfléchir au meilleur moyen de conduire efficacement l'instruction de ces nouveaux plans.

1. Sommet des premiers contreforts du Massif Vosgien (678 m), dominant la plaine d'Alsace et couronné par un célèbre château-fort médiéval rénové au XIX[e] siècle.

Pour ce faire, on a procédé, comme après une catastrophe, à un retour d'expérience sur les procédures de PPR en Alsace dans le cadre d'un partenariat entre la DDT du Bas-Rhin, service instructeur, les chercheurs impliqués dans le programme ANR TRANSRISK[2] (Martin 2015d ; Himmelsbach *et al.*, 2015) sur les inondations historiques et la société MAYANE. Le déroulement des procédures antérieures a été passé au crible pour comprendre, dans un premier temps, pourquoi certains PPR avaient été bien acceptés, d'autres non. Puis, on a identifié quels étaient les facteurs responsables, localement, des blocages et de la non-acceptation, afin de concevoir la méthode et les outils d'information et de communication adaptés au territoire et à ses acteurs. L'objectif étant, in fine, de reterritorialiser un risque perçu trop souvent comme exogène (Martin *et al.* 2010a).

6.1 État d'avancement des procédures de PPR en Alsace

6.1.1 Les risques en Alsace

Avant d'évoquer leur gestion, il convient d'évoquer rapidement les caractéristiques de l'Alsace en matière d'aléas et de risques. Ce territoire frontalier avec la Suisse et l'Allemagne occupe la moitié française du Fossé Rhénan drainé par le Rhin et se trouve bordé au sud par les contreforts du Jura, à l'ouest par les Vosges. Ce massif ancien culminant à plus de 1 400 m d'altitude, s'abaisse progressivement vers le nord. Véritable barrière aux masses d'air venant de l'ouest, les Vosges reçoivent d'importantes précipitations, souvent sous forme de neige durant la saison hivernale. Le Fossé Rhénan étant un fossé d'effondrement, les pentes de la crête vosgiennes à la plaine d'Alsace sont très fortes. Associée à la variabilité du climat (fortes précipitations, redoux hivernaux, fonte accélérée de la neige), la topographie favorise les crues torrentielles dans les vallées vosgiennes, puis les crues plus lentes dans la plaine d'Alsace drainée par l'Ill (figure 1). Cette rivière partagée entre les deux départements alsaciens prend sa source près de la frontière suisse, collecte les eaux des cours d'eau vosgiens avant de se jeter dans le Rhin au nord de Strasbourg. Les inondations, lentes ou rapides, aggravées en plaine par des phénomènes de remontées de nappes, constituent donc de loin le risque le plus important en Alsace, compte tenu d'enjeux très vulnérables : forte densité de population, grandes agglomérations, réseaux d'importance européenne, établissements à risques, etc.

À cela se rajoutent un faible risque de mouvements de terrain de typologie variée, depuis les affaissements miniers en plaine d'Alsace jusqu'aux chutes de blocs dans le massif vosgien, et un risque sismique assez important pour le territoire métropolitain. En effet, les failles restent relativement actives dans ce fossé d'effondrement, comme en témoigne la destruction de Bâle en 1356. Le sud de l'Alsace est ainsi classé en zone de sismicité moyenne, à l'instar des secteurs les plus actifs des Alpes et des Pyrénées. Ce sont ces différents aléas, combinés aux enjeux, qui semblent devoir conditionner la mise en place des Plans de Prévention des Risques en Alsace et définir ainsi les priorités dans le temps et dans l'espace.

6.1.2 Le Bas-Rhin, département en retard

Concernant le terme de « priorité », il convient de rester nuancé puisque les deux départements alsaciens ont souvent été pointés du doigt pour leur retard quant à la réalisation de PPR (Martin *et al.*, 2010a). Le PPR inondation de la Largue a certes été approuvé dès 1998, mais il s'agit d'un cas de figure unique, puisqu'il a été réalisé à la demande des communes, dans une vallée où les enjeux étaient faibles. La procédure n'a rencontré aucune opposition et a été rapide : prescription du PPR en 1997, approbation 11 mois plus tard (With, 2007). Mais, si tous les PPR inondation ont été prescrits dans le Haut-Rhin en 1997, il a fallu attendre entre 6 et 11 ans pour qu'ils soient tous approuvés, et même 17 ans pour celui de la Doller, faisant l'objet d'une nouvelle prescription en 2011 (figure 1). Se rajoutent à cela, deux PPR « mouvements de terrain et sur- risque sismique », dans le vignoble autour de Ribeauvillé (2007) et, à nouveau, dans la vallée de la Largue (2005). Il aura donc fallu attendre 15 ans, depuis la promulgation de la loi Barnier en 1995, pour que le département du Haut-Rhin soit doté de ces 7 PPR.

Mais la situation est bien plus surprenante dans le département du Bas-Rhin, puisque, à cette même date, un seul PPR inondation avait été prescrit et approuvé (Mossig, 2007[3]). Certes, le risque d'inondation avait bien été pris en compte localement dans le cadre de procédures plus anciennes (PER ou article RI 111.3 du code de l'urbanisme) mais Veyret (2003), notamment, a montré les insuffisances de ce type de zonage par rapport à celui réalisé dans le cadre des PPR. Cette situation dans le Bas-Rhin n'est pas liée à une absence ou une faiblesse du risque, puisque, à l'instar du Haut-Rhin, il s'agit bien d'un des 20 départements français les plus à risque en matière d'inondation. On est donc bien dans une situation de retard aux causes multiples, depuis le manque de volontarisme des services de l'État jusqu'à l'opposition des élus locaux, en passant par un réel déficit de culture du risque chez tous les acteurs. Ce dernier facteur, lié à l'histoire tourmentée de ce territoire (Martin *et al.*, 2015b), pèse significativement sur l'acceptation ou le rejet, l'appropriation ou le désintérêt pour les procédures de PPR.

6.1.3 L'Enjeu pour le Bas-Rhin : un rattrapage à marche forcée

Les services de l'État se sont soudainement réveillés dans le département du Bas-Rhin au tournant des années 2010. La pression du ministère et des assurances est devenue plus forte. Et la mise en place de la Directive européenne inondation a réveillé les consciences, à travers l'identification (la redécouverte !) des événements extrêmes du passé, le choix prioritaire de Strasbourg en tant que Territoire à risques importants d'inondation (TRI) et la définition d'une Stratégie locale de Gestion du Risque d'Inondation. Mais surtout, du fait de la diminution des ressources des collectivités territoriales, la nécessité de trouver des nouveaux moyens pour financer la protection, notamment à travers les PAPI (Programme d'Action de Prévention des Inondations) a sans doute définitivement contribué à engager une politique volontariste de rattrapage du retard en termes de PPRI. La Direction Départementale des Territoires du Bas-Rhin s'est donc fixé un objectif ambitieux de réalisation de 5 PPR inondation

2. www.agence-nationale-recherche.fr/?Projet=ANR-13-FRAL-0012, http://fonderie-infocom.net/cresat/activites/projets/projets-acheves/transrisk-brice-martin/.

3. Le PPRI de la Sarre a bien été approuvé en 2000, mais son instruction a été conduite par le département de la Moselle, ce cours d'eau ne concernant que marginalement le département du Bas-Rhin.

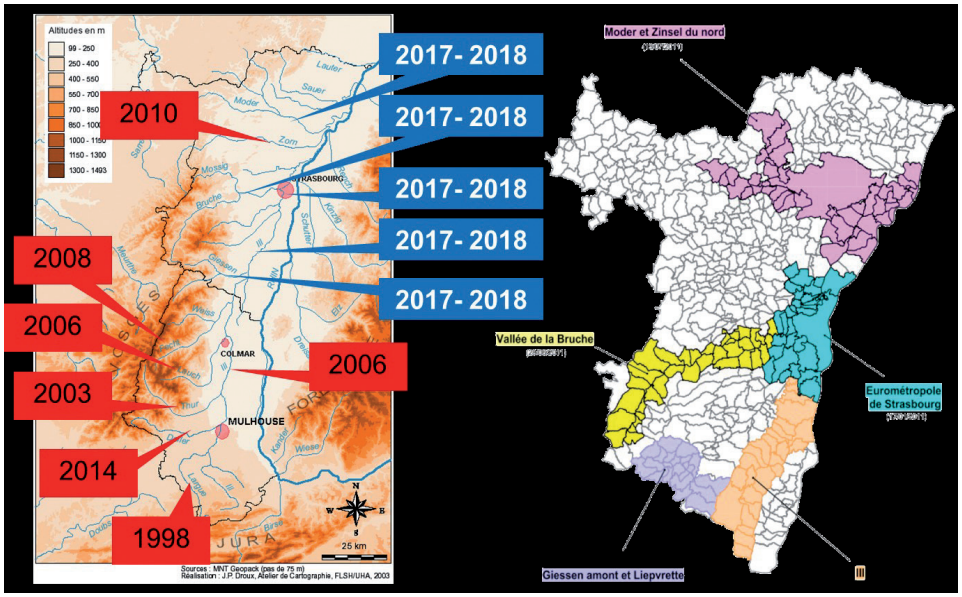


Fig. 1 — Les plans de prévention des risques d'inondation en Alsace. À gauche, les PPRI déjà approuvés (année d'approbation en rouge) et ceux en cours d'instruction (année prévue pour l'approbation en bleu). À droite, les 170 communes du Bas-Rhin concernées par les procédures de PPRI en cours (source : DDT67). NB : 3 communes du département du Haut-Rhin sont également concernées dans le cadre du PPRI du Giessen-Liepvrette.

sur la période 2016-2018 (figure 1), dans les bassins où les aléas et les enjeux sont les plus importants. Une démarche nécessitant efficacité et rapidité dans la conduite de procédures quasi-simultanées dans 170 communes (figure 1). Quant à la méthode à employer, une expérience récente a sans doute notoirement pesé sur la stratégie de la DDT. En effet, à la demande des élus locaux, un PPRI a été réalisé par anticipation dans deux communes du bassin du Giessen[4], dont Sélestat, « capitale » du centre-Alsace. Mais lorsqu'ils ont pris connaissance du projet de zonage et en ont compris les conséquences, les acteurs locaux ont vertement manifesté leur incompréhension[5] et leur rejet du PPR, attitude générant tension et défiance vis-à-vis des services instructeurs, comme en témoigne la phrase citée en introduction (Martin *et al.*, 2015c). Une réaction liée autant à l'ignorance, la sous-estimation, voire la négation du risque, qu'au manque d'information sur les PPR et leurs logiques de mise en place. Fort de ce constat, la DDT a donc jugé que, pour mener à bien sa mission, il était nécessaire de renforcer la communication et l'information afin de créer ainsi un contexte de dialogue large et apaisé. Une démarche aussi originale que novatrice car, d'une part, l'information a trop souvent constitué le parent pauvre des procédures de PPR, faute de méthode et de compétences, et d'autre part, le processus de concertation semble souvent avoir été considéré comme une perte de temps par les services de l'État (Martin *et al.*, 2010a) et traité avec un dédain certain. Un appel d'offres a donc été lancé et remporté par MAYANE. En termes de prévention des risques, si l'expérience de ce bureau d'études est reconnue, notamment dans le contexte beaucoup plus complexe des crues méditerranéennes, son succès repose sans doute autant sur une idée aussi inhabituelle qu'innovante : dynamiser la communication et l'information en s'appuyant sur un expertise locale reconnue, mais sans la cantonner à la simple fourniture de connaissances. Pour assurer la rapidité, l'efficacité, l'appropriation et l'acceptation des procédures, il était nécessaire de reterritorialiser le risque, d'inscrire la procédure de PPRI dans son contexte local sur le plan spatial et temporel. Les chercheurs du CRESAT à l'université de Haute Alsace, engagés dans l'étude géohistorique des inondations et de leur gestion dans le Fossé Rhénan ont donc été associés à la démarche proposée par MAYANE, de trois manières :

- d'abord et surtout à travers un retour d'expérience sur les procédures de PPR menées en Alsace depuis 1998, leur perception et leur acceptation par les acteurs des scènes locales du risque, afin de lister et comprendre les facteurs ayant conduit au rejet, au conflit ou encore au désintérêt, etc. (Martin *et al.* 2015a ; Martin *et al.* 2010b ; Martin et Guerrouah 2007 ; With 2007 ; Martin 2006b).
- ensuite, à travers la reconstruction d'une géohistoire des inondations et de leur gestion adaptée à chaque territoire concerné par une action d'information sur les PPRI,
- enfin, en participant, aux côtés des services de la DDT du Bas-Rhin, aux réunions d'information du public, pour présenter les inondations et leur gestion dans leur contexte géohistorique local, et ainsi contextualiser et légitimer la procédure de PPRI.

Cette mobilisation des compétences et des connaissances géohistoriques ne doit rien au hasard et constitue un des résultats majeurs de l'analyse des retours d'expérience sur les procédures antérieures.

4. PPRI du Giessen, limité aux communes de Sélestat et Ebersheim, prescrit en 2012 et approuvé en 2014.

5. « À Ebersheim, il y a deux ans, une réunion publique animée par des représentants de la direction départementale des territoires (DDT) pour présenter les enjeux du PPRI (plan de prévention du risque inondation) en cours d'élaboration avait failli finir en pugilat lorsque les participants avaient découvert l'ampleur des inondations telles que la DDT les avait estimées (…). » Dernières Nouvelles d'Alsace, 12 juin 2015.

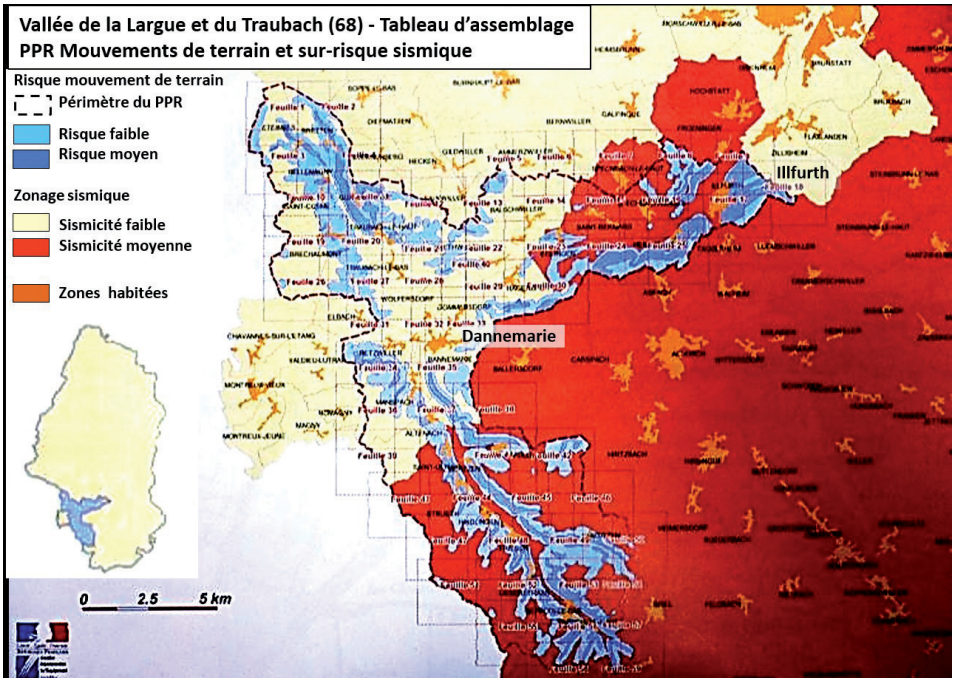


Fig. 2 — PPR mouvements de terrain et sur-risque sismique dans la vallée de la Largue. Le périmètre est le même que pour le PPR inondation, les risques ne dépassent pas le niveau « moyen », sans que le sur-risque sismique ne change ce niveau de risque.

6.2 Retour d'expérience sur les procédures de PPR dans le Haut-Rhin

L'objectif de ces retours d'expérience était de mettre en place une stratégie d'information et de communication apte à favoriser le dialogue, la compréhension et l'appropriation de l'outil PPRI et à éviter les oppositions potentiellement responsables de blocages et de retards.

Pour les différents PPR approuvés en Alsace depuis 1998, on a d'abord analysé la manière dont l'information a été transmise au public et aux élus locaux, notamment en termes de lisibilité, d'accessibilité, de cohérence des procédures et des documents produits dans ce cadre. Une première partie du travail a donc consisté en une analyse comparée des cartes et règlements, la seconde s'est davantage consacrée à la manière dont étaient organisées, conduites et perçues les réunions d'information, avec les services instructeurs et avec les commissaires enquêteurs lors des enquêtes publiques. Ensuite, on a passé en revue le contenu des observations formulées dans le cadre de l'enquête publique et les réactions publiées dans la presse. Bien entendu, ce travail s'appuie sur près de 20 années de suivi ininterrompu des procédures de PPR en Alsace, dans le cadre des activités du CRESAT ou à travers les programmes de recherche franco-allemands ANR — DFG TRANSRISK (2008-2011) et TRANSRISK[2] (2014-2017), consacrés à la géohistoire des inondations et de leur gestion dans le Fossé Rhénan.

En premier lieu, les PPR ont été classés en 2 catégories, ceux qui ont suscité un rejet massif et parfois radical et ceux qui n'ont fait l'objet d'aucune opposition ou mobilisation.

6.2.1 L'opposition et ses causes

L'opposition aux PPR, en Alsace (Martin, 2006b ; Martin et Guerrouah 2007 ; Martin *et al.*, 2010a ; With 2014) et ailleurs (Blanchi *et al.,* 2003 ; Dupont, 2005 ; Pigeon, 2006 ; Cours des Comptes, 2008 ; Defossez, 2009 ; Gérin *et al.*, 2010 ; Vinet 2010 ; Douvinet *et al.*, 2011 ; Sénat 2012), repose sur des griefs variés, tant sur la forme que sur le fond. On peut citer par exemple, pour le Haut-Rhin :

- La curieuse définition des priorités dans les choix de réalisation des PPR,
- Le manque de cohérence des PPR sur le plan spatial ou en termes de choix graphiques,
- Les aberrations du zonage (notamment quand il est confronté à la mémoire et aux savoirs locaux, voire aux inondations[6]), notamment en ce qui concerne les affluents,
- L'urgence et l'opportunisme des prescriptions,
- Le manque de compétences (voire de légitimité) du service instructeur et des commissaires enquêteurs,
- Le manque de disponibilité du service instructeur,
- L'inadaptation de l'échelle des cartes de zonage réglementaire,
- Le manque de lisibilité des documents sur le plan de la grammaire graphique,
- L'absence d'explications sur la méthode de réalisation du zonage,
- La confusion entre aléas et risques,
- Le côté stéréotypé et déterritorialisé des documents réglementaires,

6. Les habitants de Wasselonne étaient ainsi particulièrement remontés contre le zonage du PPRI de la Mossig approuvé en 2007, après avoir eu plus d'1m80 d'eau dans des rues situées en zone non inondable suite aux pluies torrentielles de mai 2016 et de juin 2016 (« ce PPRI est complètement faux ! » Dernières Nouvelles D'Alsace, 29 juin 2016). Les affluents de la Mossig, responsables des inondations de 2016, ne sont pas pris en compte dans le PPRI.

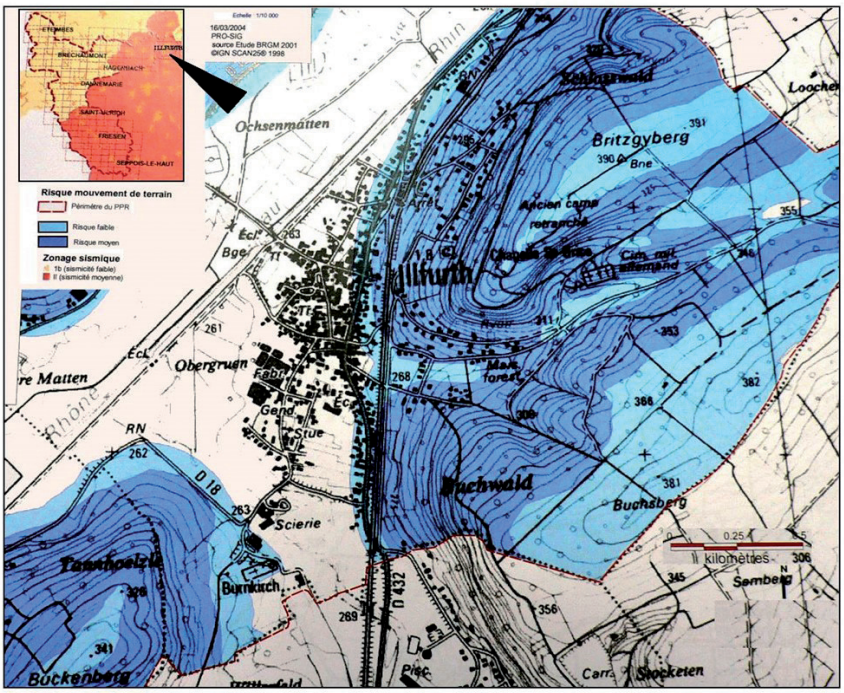


Fig. 3 — Le PPR mouvements de terrain de la vallée de la Largue pour la commune d'Illfurth. Les contraintes imposées en termes de construction sont liées aux pentes, notamment dans la partie sud de la carte. Mais ces contraintes s'arrêtent brusquement aux limites communales d'Illurth car malgré la continuité de la topographie, la commune située au sud d'Illfurth ne figurait pas dans le PPR inondation et ne figure donc pas non plus dans le PPR mouvements de terrain. Une incohérence difficile à accepter par les élus d'Illfurth.

- L'absence d'accompagnement des particuliers et des communes face aux obligations imposées par le règlement, face aux conséquences foncières, économiques, politiques,
- L'inégalité des territoires générée par les PPR, etc.

Mais, fondamentalement, cette opposition se cristallise autour de l'insuffisance de l'information, l'absence de concertation et de dialogue entre les services de l'État et ce qu'on peut appeler les acteurs des scènes locales du risque (Decrop *et al.*, 2005) et, surtout, l'absence de prise en compte et de valorisation des savoirs locaux. Avec des réunions publiques réduites à la portion congrue, une communication hasardeuse, dénuée de pédagogie ou d'empathie, présentant souvent un projet fini et « non négociable » (Martin 2006b), le rejet est inévitable. Il est aisé pour le public comme pour les élus d'opposer le « bon sens paysan » aux logiques technocratiques, de se positionner comme ceux qui connaissent le territoire et son histoire face aux bureaucrates déconnectés des réalités locales. Ceci, alors même que cet argumentaire s'appuie en réalité sur une culture et une mémoire des risques particulièrement déficientes en Alsace (Martin *et al.,* 2010b ; With 2014 ; Martin *et al.,* 2015a ; Martin *et al.,* 2017). Faute de concertation, le risque apparaît ainsi comme un phénomène exogène, déterritorialisé (Martin *et al.*, 2010a). Au point de remettre en cause l'importance du risque, voire de le nier. Le PPR n'est plus perçu comme un outil qui « dit » la réalité du risque, mais comme une contrainte qui le fabrique ou l'invente ex nihilo, l'impose au territoire et à ses acteurs, et à laquelle on répond avec un imparable et définitif : « de mémoire d'homme, on n'a jamais vu ça ! ». Une situation conflictuelle et doublement préjudiciable, qui décrédibilise les services de l'État et déresponsabilise les acteurs locaux (Martin *et al.*, 2010a).

Prenons comme illustration le cas de la vallée de la Largue. Comme on l'a dit précédemment, il s'agit du premier PPR inondation réalisé en Alsace. Ce choix prête à discussion puisque ce bassin, peu peuplé, faiblement urbanisé, ne constitue en rien une priorité en termes de prévention des risques. Mais c'est justement en fonction de ces caractéristiques qu'il a été réalisé en premier : l'absence d'enjeux significatifs en zone inondable, associée au fait que ce PPR ait été demandé par les élus locaux, limitait les possibilités d'opposition. Les services de l'État n'ont jamais caché que ce PPR constituait une excellente opportunité « pour se faire la main » sans prendre de risques (With, 2007). Sauf que ce volontariat n'en a pas moins abouti à une incohérence. En effet, les 3 communes du haut bassin ont refusé de s'associer à la démarche collective (pour des raisons essentiellement politiques). Donc, elles ne sont pas comprises dans le périmètre du PPR et n'en subissent aucune contrainte.

De plus, cette bonne volonté ou ce sens des responsabilités caractérisant les autres communes de la vallée de la Largue s'est retournée contre elles quelques années plus tard. Pour des motifs assez obscurs mêlant querelle de voisinage et opportunisme des services de l'État (Martin, 2006b), le préfet a imposé la réalisation d'un PPR mouvements de terrain et sur-risque sismique, en reprenant purement et simplement le périmètre du PPR inondation, dans une totale absence de cohérence géomorphologique ou topographique et, encore une fois, en dépit de toute logique en termes de priorités. En effet, les rares glissements de terrain affectant des zones urbanisées se localisent dans la vallée voisine de l'Ill, ou aucun PPR mouvements de terrain n'a jamais été prescrit. Mieux, lorsque l'on consulte la carte de risque du PPR mouvements de terrain de la Largue, on constate que

Fig. 4 — Quelques réactions des acteurs des scènes locales du risque relevées dans la presse locale, à propos du PPR mouvements de terrain de la vallée de la Largue.

le zonage est simplement construit sur les variations de pentes, que le sur-risque sismique n'impacte pas le risque mouvement de terrain, et que ce dernier ne dépasse jamais le niveau de risque « moyen » (figure 2). S'il n'y a pas de risques forts, pourquoi a-t-on réalisé un PPR dans la vallée de la Largue ? C'est évidemment la question qu'ont posée les élus locaux et le public et, s'ils avaient accepté sans difficulté le PPR inondation, ces mêmes acteurs ont massivement et logiquement rejeté le PPR mouvements de terrain et ses contraintes (figure 3), criant à l'injustice et au complot dans la presse locale, et niant le risque, de manière assez légitime, pour une fois (Martin, 2006b).

6.2.2 L'absence d'opposition et ses causes

Il convient de le préciser d'emblée, l'absence d'opposition ne concerne qu'une minorité de PPR en Alsace, et majoritairement pour de mauvaises raisons. En effet, avant 2010, ni la qualité ou la lisibilité du zonage, ni l'efficacité ou le sérieux de l'information et de la concertation ne permettent de l'expliquer. C'est même plutôt l'inverse. L'exemple le plus parlant est celui du PPR inondation de la Thur, dont la procédure n'a fait l'objet d'aucune opposition et moins d'une dizaine d'observations ont été formulées dans le cadre de l'enquête publique. L'explication est simple : les contraintes imposées par le zonage sont limitées, en raison d'une prise en compte très discutable de la réalité du risque d'inondation (Martin *et al.*, 2015a). L'échelle des cartes était d'ailleurs bien trop petite et ouvrait la porte aux interprétations erronées : par exemple, la transposition du PPR sur le POS de la ville de Thann s'est traduite par la disparition « malencontreuse » d'une zone inconstructible (figure 5).
Les mêmes causes aboutissent aux mêmes résultats à Mulhouse où, si l'on s'en tient au zonage du PPRI de l'Ill, la ville est à l'abri des inondations en cas de crue centennale (figure 6). Une situation pour laquelle on peut également se montrer dubitatif (Martin *et al.*, 2015b ; Martin *et al.*, 2010b), mais qui explique l'absence de participation des Mulhousiens à l'enquête publique. À l'opposé, plus du tiers des ménages de la petite commune d'Illhaeusern, fortement impactée par le zonage du PPRI de l'Ill, a manifesté sa désapprobation lors de l'enquête publique.

Concernant les PPR inondation plus récents, et notamment celui de la Zorn (2010), l'opposition n'a pas été particulièrement virulente en dépit des restrictions imposées en termes d'urbanisme. La communication n'a pas toujours été très adroite, mais les réunions d'information ont été un peu plus nombreuses qu'à l'accoutumée et, surtout, les dispositions concernant la construction en zones inondables ont été assouplies, favorisant la concertation, le dialogue et la recherche de solutions personnalisées.

6.3 Mise en place d'une stratégie d'information et de communication

C'est donc à l'appui de ces retours d'expérience qu'a été construite la stratégie d'information et de communication destinée aux PPR du Bas-Rhin. La première étape s'est attachée aux contenants, autour de deux principes bien identifiés dans le retour d'expérience : construire des documents lisibles et attractifs à partir d'une charte graphique épurée, homogène et commune à l'ensemble des PPR à instruire, chaque bassin étant juste différencié par un code couleur (figure 7). Cette charte graphique a été déclinée pour les affiches, les flyers, les diaporamas de présentation et, *in fine*, les documents réglementaires (figure 8).
La deuxième étape a cherché à optimiser les contenus avec un triple objectif : favoriser la compréhension, l'acceptation et l'appropriation du PPR, à travers, notamment, la reterritorialisation du risque, son inscription spatiale et temporelle dans le territoire et, autant que possible, la valorisation des savoirs locaux (figure 9). Toutes les réunions publiques ont ainsi débuté par une présentation de la géohistoire des inondations[7] dans le territoire concerné, à l'appui de photographies, cartes postales anciennes, extraits de journaux, documents d'archives, etc., avec une utilisation (et une valorisation), à chaque fois que c'est possible, des ressources documentaires des associations et sociétés d'histoire locale, des contributions des particuliers à la base de données ORRION ;

7. Pour davantage de détails sur les concepts et méthodes de la géohistoire des inondations, on se référera à Martin *et al.*, 2015.

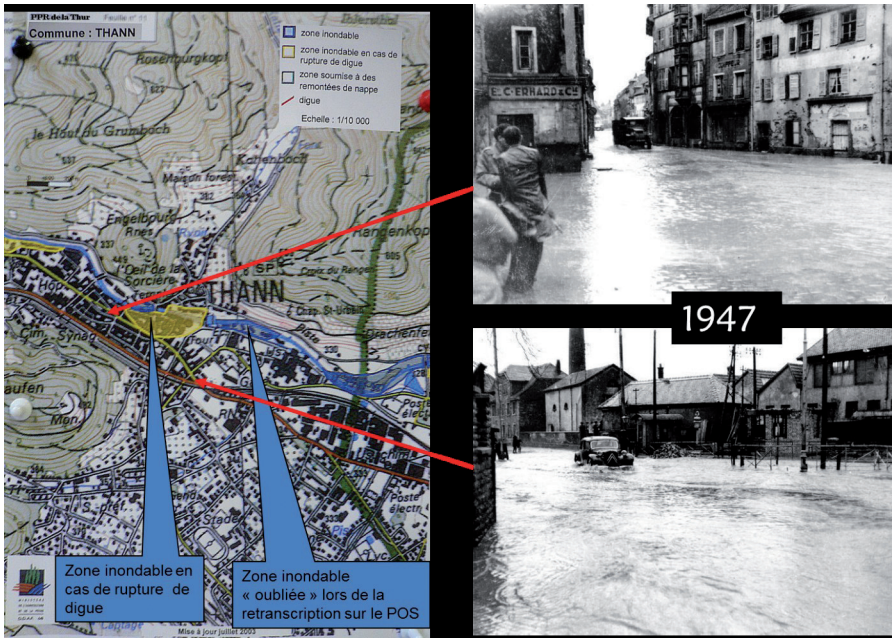


Fig. 5 — PPR inondation de la Thur à Thann. Les secteurs inondés en 1947 ne figurent pas parmi les zones inondables, la digue pouvant rompre est mal identifiée. La zone inondable « oubliée » lors de la retranscription du PPR sur le POS, est occupée par les immeubles et est inconstructible (d'après Martin *et al.*, 2015a, modifié).

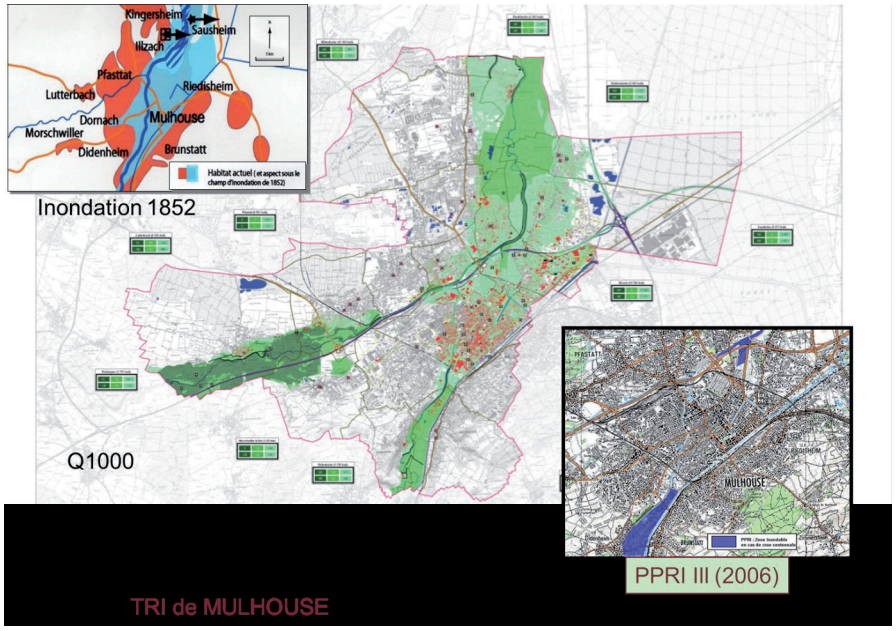


Fig. 6 — Le PPR inondation de l'Ill à Mulhouse (en bas à droite). Les zones inondables se limitent au camping situé au nord de la ville. Par contre, les 2/3 de Mulhouse seraient inondés en cas de crue extrême, d'après la modélisation réalisée dans le cadre de la Directive Inondation (au centre). Une projection conforme aux inondations de septembre 1852 (en haut à gauche), ou de février 1860, totalement oubliées par les acteurs des scènes locales du risque (d'après Martin *et al.* 2010b, modifié).

(Martin *et al.*, 2016). En s'inscrivant dans une perspective historique de plusieurs siècles, cette démarche appuyée sur les rares repères de crue qui subsistent en Alsace (Martin *et al.*, 2015), permet de mettre en évidence les événements extrêmes, de fréquence faible, et de relativiser l'importance des inondations plus récentes dont le souvenir reste parfois présent (Martin *et al.*, 2015b). Cette présentation géohistorique préalable a plusieurs objectifs :

- Développer une culture du risque, largement déficiente en Alsace.
- Légitimer la mise en place d'un PPR sur le territoire.
- Responsabiliser les acteurs locaux et surtout les élus. Cette dernière démarche s'appuie, notamment, sur un appel à contribuer à la constitution d'une mémoire collective et partagée du risque d'inondation, *via* la mise en ligne de ses archives personnelles (témoignages, documents,

Fig. 7 — Charte graphique choisie pour les PPR inondations du Bas-Rhin et déclinaison correspondant au PPRI de l'Eurométropole de Strasbourg.

Fig. 8 — Exemples de déclinaisons de la charte graphique pour les PPRI de l'Eurométropole de Strasbourg ou de la Moder.

photos, vidéos, etc.) sur le site ORRION (Observatoire Régional des Risques d'Inondation-Alsace, figure 10), émanation grand public de la base de données sur les inondations historiques du programme TRANSRISK (Martin *et al.*, 2016).

Plusieurs remarques permettent d'illustrer le bien-fondé de cette démarche. Tout d'abord, durant les 20 réunions publiques déjà organisées, seules deux personnes se sont hasardées à contester l'existence du risque dans le territoire à travers le trop fameux « de mémoire d'homme, etc. ». Mieux, ils ont été directement contredits par le public. Ensuite, la réalité du risque étant acquise, les discussions se concentrent sur la recherche de solutions et non dans la contestation de l'outil et du zonage. Enfin, des personnes ayant assisté aux réunions publiques ont effectivement fourni des informations à la base de données ORRION, ces contributions étant, le cas échéant, intégrées et mises en valeur dans les présentations publiques postérieures, renforçant ainsi, à travers la valorisation des

Fig. 9 — Contenus de la présentation géohistorique proposée dans le cadre des réunions publiques consacrées au PPRI de l'Eurométropole de Strasbourg.

Fig. 10 — ORRION, base de données participative en ligne sur les inondations historiques en Alsace. À droite, le formulaire de saisie des informations à destination du publique, en bas à gauche, la page Facebook permettant de suivre l'actualité du site.

savoirs locaux, la perception d'une approche *bottom-up*, et, *in fine* le sentiment de reterritorialisation de la procédure. Cette contextualisation géohistorique n'a pas concerné que les inondations, mais également l'ensemble de procédures de PPR conduites en France et surtout en Alsace depuis 1995. Au-delà de l'aspect pédagogique, l'objectif était, avant tout, de contrecarrer l'argument de l'inégalité des territoires générée par la prescription d'un PPR, en s'appuyant sur l'exemple des bassins-versants du Haut-Rhin et des 13 000 communes françaises d'ores et déjà dotées de PPR.

Si, en réunion publique, la présentation du PPR en tant que tel reste de facture classique, la méthode de réalisation du zonage est expliquée en détail, de même que la cartographie réglementaire. L'originalité repose davantage sur la forme, puisque les présentations se font toujours à 3 voix : 2 techniciens des services instructeurs[8] intervenant après la présentation

8. Les réunions d'information sont majoritairement conduites par Pascal Fromeyer et Eric Louis pour la DDT du Bas-Rhin et le CD67. La réussite de ces réunions doit beaucoup à leur disponibilité, leur capacité d'écoute et de pédagogie, et atteste d'un réel changement de paradigme de la part des services de l'État.

historique faite par un universitaire, neutre mais spécialiste du sujet dans le territoire et apte, si besoin, à dépassionner les débats lors des séances de questions-réponses. De plus, la contextualisation géohistorique préalable a pour autre avantage « d'humaniser », de donner une dimension concrète et plus accessible à la modélisation ayant permis de réaliser les cartes d'aléas et, surtout, d'expliquer pourquoi on est obligé d'y recourir en Alsace, faute d'informations suffisantes sur les événements extrêmes (Martin *et al.*, 2015b). À noter que, si la modélisation n'a pas intégré les affluents, les cartes d'aléas du PPRI mentionnent malgré tout, par une figuré à part, les secteurs inondés par ces affluents lors des événements historiques connus. À charge pour les communes d'intégrer cette information sans contraintes en termes d'urbanisme dans leur gestion du risque à l'échelle locale. Une initiative appréciée par les élus, ainsi responsabilisés et associés directement à la prévention. Concernant la question très discutée des zones inconstructibles situées à l'arrière des digues, les explications sont illustrées par des exemples régionaux, bien plus pédagogiques que des longs discours.

Pour finir, afin d'éviter tout reproche concernant le manque de concertation, de dialogue et de pédagogie, les réunions publiques ont été multipliées dès le début de la procédure, avec des premières séances consacrées à la présentation des aléas et, quelques mois plus tard, à celle des risques. Pour la seule Eurométropole de Strasbourg, ce sont 15 réunions publiques[9] qui ont été organisées au cours de l'année 2016, avec une volonté constante, et sans cesse rappelée par les services instructeurs, d'être à l'écoute et de rechercher des solutions. Le retour d'expérience a également porté sur la forme et le fond des réunions de présentation elles-mêmes, avec un souci de simplification des explications techniques et des choix de vocabulaire, d'amélioration des visuels pédagogiques et des réponses aux questions récurrentes.

Discussion

Alors que trois PPR ont d'ores et déjà été présentés au public, le bilan est pour l'instant très positif : l'information est reçue très favorablement par le public et les élus, sensibles à la pédagogie, à l'écoute et, surtout, au soin apporté à l'inscription de la procédure dans un contexte spatial et temporel local. Lors des séances de questions-réponses, les débats sont riches, mais apaisés, concrets, constructifs[10], y compris dans des situations supposées conflictuelles entre les élus et les services instructeurs. Le contraste avec certaines réunions publiques tenues dans le Haut-Rhin au cours des années 2000 est saisissant (With, 2014) et encourage à la poursuite de la démarche actuelle. L'information la plus intéressante est que la concertation, parfois perçue comme une perte de temps, permet au final d'en gagner en réduisant le risque de conflit, de rejet et de blocages.

Néanmoins, ce bilan mérite toutefois d'être nuancé en ce qui concerne la participation du public, voire des élus, y compris dans les communes les plus impactées par le zonage du PPR. Si une participation de 100 à 150 personnes a pu fréquemment être relevée lors des réunions publiques, ce qui est un bon chiffre dans un contexte où la dernière inondation dommageable à dimension régionale s'est produite il y a plus de 25 ans, l'opposition entre les zones urbaines et rurales est particulièrement manifeste. Dans le cas du PPRI de l'Eurométropole de Strasbourg, c'est à Strasbourg même, dans la ville la plus peuplée, que la participation a été la plus faible, se limitant à une quinzaine de personnes. De même, pour le PPRI de la Moder, dans la seule grande ville du bassin, Haguenau, la participation a été ridicule. Le peu d'empressement de certaines communes à informer leurs administrés de la tenue des réunions est un facteur d'explication mais, surtout, la population alsacienne peine à identifier le risque d'inondation comme une réelle menace, faute de culture du risque et d'expérience concernant des événements majeurs (Martin *et al.*, 2015a ; Martin *et al.*, 2015b). Le centre-ville de Strasbourg n'a plus été inondé depuis 1882 et les repères de crue, pourtant nombreux, ce qui est rare en Alsace, sont devenus aussi invisibles qu'incompréhensibles, la date étant associée à un mystérieux « H.W. » pour *Hoch Wasser* (littéralement « hautes-eaux ») qui ne parle guère aux non germanophones. La seconde nuance à apporter concerne les catégories d'âge : lors des réunions publiques, les plus de 50 ans et les retraités sont surreprésentés. Leur disponibilité est plus grande, ils sont davantage sensibilisés aux inondations en tant que propriétaires et, souvent, ils ont vécu les derniers événements remarquables (1983, 1990). Quelle que soit l'heure à laquelle sont programmées les réunions publiques, ce format de procédure d'information ne permet pas de toucher significativement les 20-50 ans. Ce qui se révèle doublement préjudiciable car cette catégorie est globalement mal informée (ni mémoire, ni vécu) et n'a, de plus, pas accès à l'information. Cette situation demande à réfléchir à de nouveaux moyens d'information, notamment *via* les smartphones et les réseaux sociaux, car l'enjeu n'est pas simplement d'informer sur les procédures réglementaires mais bien plus largement sur la réalité oubliée du risque d'inondation. Dans l'attente d'une inondation majeure qui pourrait réveiller les consciences, la clé de la reconstitution d'une culture du risque se situe dans un travail avec le milieu scolaire, pour toucher les parents de manière indirecte et assurer la transmission intergénérationnelle en valorisant la mémoire et le vécu des grands-parents. D'où l'importance de réfléchir à des stratégies à long terme où, par exemple, cette problématique révélée par les PPRI pourrait être solutionnée dans le cadre des PAPI (Programme d'Action de Prévention des Inondations), ou à travers l'organisation d'une grande commémoration du centenaire des inondations catastrophiques de décembre 1919 et janvier 1920. Une opération qui permettra une nouvelle fois de souligner l'importance du développement des collaborations entre chercheurs académiques et acteurs des scènes locales du risque.

9. Dont des réunions à destination spécifique des entreprises, organisées en partenariat étroit avec la CCI d'Alsace.

10. Les comptes rendus des réunions publiques et le contenu des séances de questions-réponses peuvent être consultés sur le site de la préfecture du Bas-Rhin : www.bas-rhin.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-prevention-des-risques-naturels-et-technologiques/Risques/Risques-d-inondation/Plans-de-prevention-des-risques-inondation-en-cours-d-elaboration.

Bibliographie

Blanchi R., Robert F., Guarnieri F., « Première analyse du contenu et de la qualité des Plans de Prévention des

Risques Naturels (PPR). D'une complexité originelle à une pluralité fonctionnelle », *Annales des Mines-Réalités industrielles*, 2003, p. 61-69.

Brahim W., *Mémoires, perceptions, représentations de la crue de février 1990 dans la vallée de la Lauch,* mémoire de Master, université de Haute Alsace Mulhouse, 2010, 111 p.

Cour des Comptes, *L'État face à la gestion des risques naturels : feux de forêts et inondations*. Paris, Cour des Comptes, rapport interne, 2008, p. 646-685.

Defossez S., *Évaluation des mesures de gestion du risque inondation. Application au cas des basses plaines de l'Aube*. thèse de doctorat en Géographie, université Paul-Valéry Montpellier 3, 2009, 500 p.

Decrop G., Dourlens C., Vidal Nacquet P., Cœur D., *Les Scènes locales de risque*, Centre d'étude et de recherche sur les pratiques de l'espace (CERPE), Lyon, rapport final, 2007, 235 p.

Douvinet J., Defossez S., Anselle A., Denolle A.-S., « Les maires face aux plans de prévention du risque inondation (Ppri) », *L'Espace géographique*, 2011, n° 1, t. 40, p. 31-46.

Dupont N., « Le rôle des documents cartographiques dans l'appropriation du risque inondation. Exemple des communes périphériques de Rennes », dans Lamarre Denis (dir.), *Les Risques climatiques*, Belin, coll. « Belin sup. Géographie », 2005, p. 175-191.

Gérin S., Laganier R., Nussbaum R., « Évaluation de la pertinence de la couverture des plans de prévention des risques naturels inondation (PPRNI) », *Études foncières*, n° 144, 2010, p. 47-50.

Himmelsbach I., Glaser R., Schönbein J., Riemann D., Martin B., « Reconstruction of flood events based on documentary data and transnational flood risk analysis of the Upper Rhine and its French and German tributaries since AD 1480 », *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 2015, p. 1-16.

Hubert G., De Vansay B., *Le risque d'inondation et la cartographie réglementaire. Analyse de l'efficacité, des impacts et de l'appropriation locale de la politique de prévention. Programme « Évaluation et prise en compte des risques naturels et technologiques »*, ministère de l'Écologie et du Développement durable, Paris, 2005, 188 p.

Martin B., Giacona Fl., Furst B., Edelblutte C., Glaser R., Himmelsbach I., Holleville N., Schönbein J., Heitz C., Bössmeier A., « La variabilité spatio-temporelle des inondations dans le Fossé rhénan à la lumière de l'évolution de la vulnérabilité », *VertigO — la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], volume 17, n° 1, 2017.

Martin B., Giacona F., Furst B., Edelblutte C., Glaser R., Himmelsbach I., Holleville N., Schönbein J., Heitz C., Wassmer P., Haziza E., Christiany L., « ORRION : a specific information sharing tool to rebuild a floodrisk culture in the Rhine Graben (France-Germany) », *FLOODrisk*, 3rd European Conf. On Flood Risk Management, 2016, Lyon, 8 p.

Martin B., Holleville N., Furst B., Giacona F., Glaser R., Himmelsbach I., Schönbein J., « La géohistoire des inondations au service de l'évaluation critique du zonage du Plan de Prévention des Risques d'Inondation : l'exemple de Thann (Haut-Rhin, France) », *Belgeo,* n° 1, 2015a, 16 p.

Martin B., Furst B., Giacona F., Glaser R., Himmelsbach I., Holleville N., Schönbein J., Fournier M., Vitoux M.-C., With L., Les événements extrêmes dans le fossé rhénan entre 1480 et 2012. Quels apports pour la prévention des inondations ?, *La Houille Blanche*, n° 2, 2015b, p. 82-93.

Martin B., Furst B., Giacona F., Glaser R., Himmelsbach I., Holleville Ni., Schönbein J., Heitz C., Vitoux M.-C., With L. (Martin *et al.*, 2015c), « Les curiosités des procédures de gestion des risques d'inondation (PPRI, PAPI) dans le bassin du Giessen en Alsace », Actes du colloque *11e Rencontre Géorisque « Les Programmes d'Actions et de Prévention des Inondations (PAPI) : Expériences, bilans et perspectives »,* 27-28 janvier 2015, Montpellier, France, p. 203-214.

Martin B., Giacona F., Furst B., « De TRANSRISK à TRANSRISK^2, de la géographie des inondations dans le Fossé Rhénan à la démarche historico-progressive », Actes du CRESAT, Éd. du CRESAT, n° 12, 2015d, p. 51-61.

Martin B., Guerrouah O., Vitoux M.-C., With L., « Territorialisation ou déterritorialisation du risque ? Analyse comparative et critique de la procédure de réalisation des PPRNP », *RISEO,* n° 1, 2010a, (revue en ligne : www.riseo.fr).

Martin B., Guerrouah Ouarda, Vitoux M.-C., With L., « Forgotten disaster or mastered risk ? Example of Mulhouse (Alsace, France) », *Territorium*, n° 17, 2010b.

Martin B., Guerrouah O., « Apport de la recherche historique pour la prévention du risque d'inondation : cas de l'Ill moyenne (Haut-Rhin) », *Actes du CRESAT,* Éd. du CRESAT, Mulhouse, n° 4, 2007, p. 63-67.

Martin B., « Expertise et risques majeurs, le point de vue des géographes », *Droit de l'Environnement,* n° 142, octobre 2006a, p. 314-322.

Martin B., « Discussion autour du Plan de Prévention des risques (PPR), "mouvements de terrain et sur risque sismique" du bassin de la Largue (Haut-Rhin, France) », *Actes du CRESAT,* Éd. du CRESAT, Mulhouse, n° 3, 2006b, p. 41-50.

Pigeon P., « L'efficacité des politiques gérant les risques dits naturels en France : lecture géographique », *Géorisques*, vol. I, 2006, p. 28-33.

Sénat, *Se donner les moyens de ses ambitions : les leçons des inondations du Var et du sud-est de la France* ; Rapport d'information n° 775 (2011-2012), Collombat Pierre-Yves, Mission commune d'information Inondations dans le Var, 2012, www.senat.fr/rap/r11-775/r11-77599.html.

Veyret Y., *Les risques*, SEDES, Paris, 2003, 255 p.

VINET F., *Le Risque inondation. Diagnostic et gestion.* Lavoisier, coll. « Sciences du danger », série *Innovations*, 2010, 318 p.

WITH L., « Gestion et prévention du risque inondation : exemple du plan de prévention des risques de la vallée de la Largue », *Les actes du CRESAT*, Éd. du CRESAT-UHA, nº 4, 2007, p. 67-72.

WITH L., *Approche géohistorique de la gestion et de la prévention du risque d'inondation : le cas de la vallée de la Lauch (Haut-Rhin) de 1778 à nos jours*, université de Haute Alsace Mulhouse, thèse de doctorat d'Histoire, 2014, 554 p.

7 Retour d'expérience sur les inondations de fin mai-début juin 2016 sur l'agglomération orléanaise

Rodolphe Pannier
Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI)
rodolphe.pannier@cepri.net

Résumé. — Tout comme une vaste partie du nord de la France, l'agglomération d'Orléans a été particulièrement affectée par les inondations de fin mai-début juin 2016. La quasi-totalité des cours d'eau irriguant l'Orléanais a débordé, à l'exception notable de la Loire, générant des inondations dépassant largement les références de ces dernières décennies. L'ampleur de ces inondations a surpris les populations et les acteurs de la gestion de crise, prenant à revers la plupart des dispositifs élaborés sur la base d'une crue de la Loire. La gestion de crise a été particulièrement complexe et éprouvante pour les très nombreux intervenants mobilisés et poussés à l'extrême limite de leurs capacités. Ce constat devrait amener les pouvoirs publics à s'interroger sur la capacité collective du territoire à faire face à un événement d'une tout autre ampleur que serait une inondation du Val d'Orléans et de ses 60 000 habitants par la Loire en cas de rupture de digue.
Mots-clés. — Inondation, gestion de crise, retour d'expérience, France, Orléans.

Title. *— Learned Lessons from the Floods of May and June 2016 in the Orleans Area*
Abstract. — *As a large part of the north of France, the area of the city of Orléans was particularly concerned by the late May and early June 2016 floods. Nearly all the river flooded, with the exception of the Loire River, generating floods exceeding floods of the last decades. The extent of this flood surprised the population and the crisis managers and breached most of the plans based on a Loire River flood. The management of the crisis was particularly complex and challenging for the crisis managers and first-responders that were pushed to the extreme limits of their capacities. In view of these observations, public authorities should consider the ability of the territory to cope with a more severe flooding as would be a Loire River flood affecting the Val d'Orléans and its 60 000 inhabitants in case of levee breach.*
Keywords. — *Flood, Crisis Management, Lessons Learned, France, Orléans.*

Introduction

À la fin du mois de mai 2016, un vaste système dépressionnaire génère d'intenses précipitations sur une partie de l'Europe ainsi que d'importantes inondations.

En France, les dommages sont considérables. Ainsi, au total, 182 000 sinistres ont été déclarés auprès des assureurs, pour un coût supérieur à 1,4 milliard d'euros selon la Fédération française de l'Assurance (FFSA) ce qui en fait, en France, l'un des événements le plus coûteux enregistrés depuis la mise en place du système CAT NAT en 1982. Le département du Loiret, avec 18 400 sinistres indemnisés pour un montant de 223 millions d'euros, constitue le deuxième département le plus impacté derrière la Seine-et-Marne (18 800 sinistres pour un montant d'indemnisation de 263 millions d'euros) (Source : FFSA). Sur l'agglomération d'Orléans, les précipitations exceptionnelles génèrent un ruissellement important ainsi que le débordement du Canal d'Orléans et de l'ensemble des cours d'eau qui irriguent le territoire, à l'exception notable de la Loire.
À la suite de cet événement, la Communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire devenue depuis Orléans Métropole, a sollicité le Centre européen de Prévention du risque d'inondation (CEPRI) pour réaliser un retour d'expérience (RETEX) sur cet événement, à l'échelle des 16 communes de l'agglomération les plus impactées.
Le RETEX conduit par le CEPRI s'appuie sur des entretiens individuels avec des élus et techniciens des collectivités territoriales (communes et syndicats, communauté d'agglomération, conseil départemental…), des personnels des services de l'État (Préfecture, DDT, DREAL, SCHAPI) et de ses établissements (BRGM, agence de l'eau Loire-Bretagne, ARS), du SAMU et du SDIS du Loiret. Le CEPRI a également mobilisé diverses sources écrites (mains courantes, chronogrammes, points de situation, rapports de retour d'expérience, presse, réseaux sociaux…) et participé à plusieurs des réunions publiques post-crise ou de retours d'expérience conduits par les acteurs locaux.
Les objectifs de ce RETEX sont de comprendre le phénomène hydro-météorologique, d'en mesurer les impacts sur le territoire de la Communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire et d'analyser la gestion de la crise au niveau local. Cet article présente les principaux enseignements de ce travail en s'attardant plus particulièrement sur le volet « gestion de crise ».

7.1 Un événement hydro-météorologique exceptionnel pour la région orléanaise

7.1.1 Un épisode pluvieux de longue durée et intense, affectant des sols déjà proches de la saturation

Sur l'Orléanais, le printemps 2016 fait suite à un hiver particulièrement pluvieux avec un excédent pluviométrique

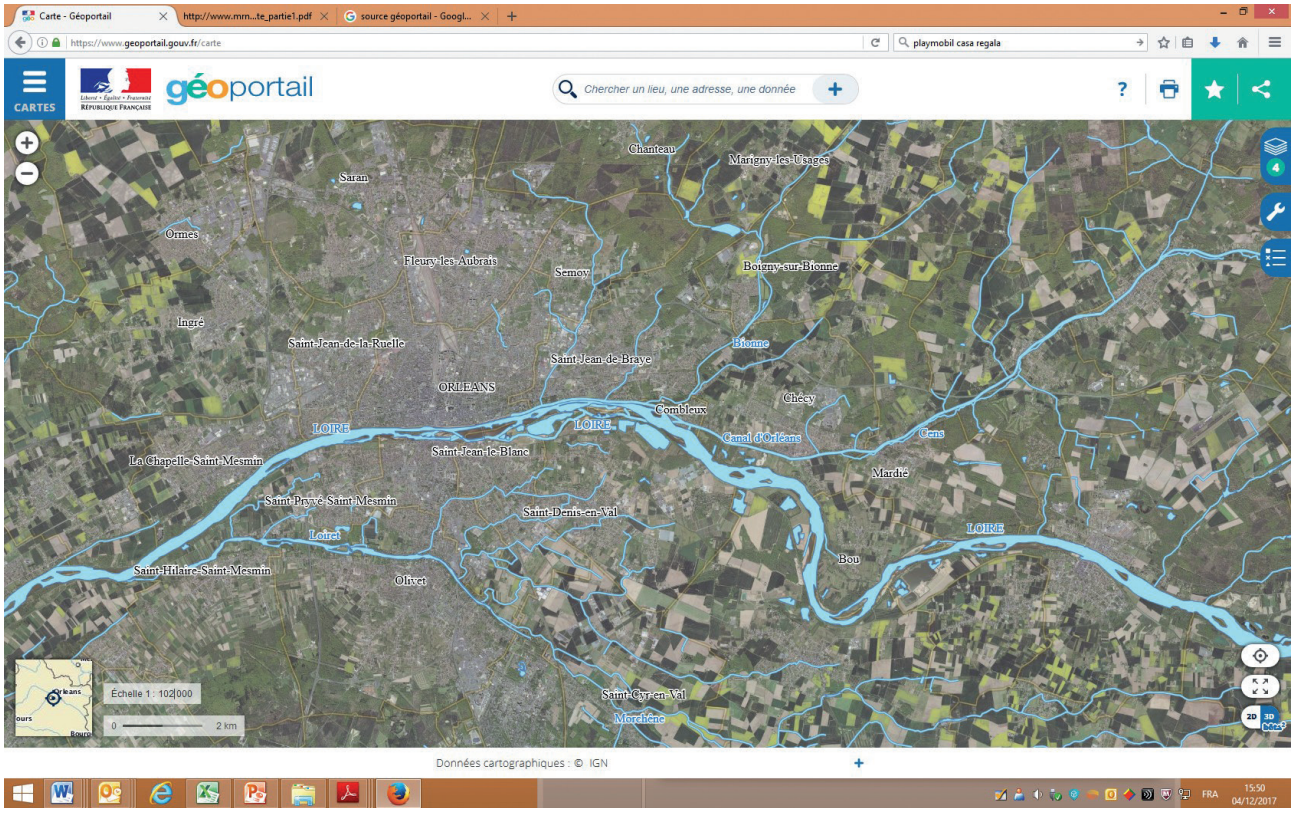


Fig. 1 — Communes de l'agglomération d'Orléans et principaux cours d'eau (Source : Géoportail, IGN).

significatif par rapport à la moyenne mensuelle en janvier, février et mars selon Météo-France, le mois d'avril restant dans les normes. Aussi, au 1er mai 2016, l'indice de l'humidité des sols atteint les 75 % sur le territoire de l'agglomération d'Orléans et dépasse les 90 % en forêt d'Orléans, ligne de partage des eaux entre le bassin du Cens, affluent de la Loire via le Canal d'Orléans, et le bassin du Loing, affluent de la Seine (source : Météo-France). Cette situation amène les cours d'eau à réagir rapidement aux précipitations, en témoigne une première crue du Cens, certes modérée, le 24 mai 2016 en réaction aux pluies des deux jours précédents tombées sur l'amont du bassin. Le niveau du Canal d'Orléans et de ses étangs d'alimentation est également haut dans la mesure où la fin du printemps correspond à la période de l'année où l'eau est stockée dans les biefs et les étangs en prévision de la navigation pendant la saison touristique estivale.

Dans le département du Loiret, l'épisode pluvieux débute le samedi 28 mai entraînant dans la soirée les premières inondations dans les secteurs de Meung-sur-Loire et Beaugency, à quelques kilomètres au sud-ouest de l'agglomération d'Orléans. Les épisodes pluvieux se succèdent ensuite du 29 mai au 1er juin. Les cumuls deviennent exceptionnels pour la région, qualifiés par Météo-France de « sans équivalent sur la période 1960 à nos jours » et atteignent en trois jours 150 mm en Forêt d'Orléans, sur le haut-bassin du Cens, en amont de l'agglomération d'Orléans. Les précipitations tombées dans les derniers jours de mai 2016 sur l'Orléanais correspondent à l'équivalent de plus de deux mois de précipitations. Le 30 mai constitue la journée la plus pluvieuse, avec 65 mm enregistrés à la station d'Orléans, équivalant à un mois de précipitation selon Météo-France. Par comparaison, le cumul journalier de précipitation de période de retour centennal à Chécy (commune située à proximité d'Orléans) est estimé à 59 mm[1].

7.1.2 Ruissellement, crues et inondations, puis effondrements karstiques

Les pluies de la fin du mois de mai finissent de saturer les sols. L'eau ruisselle alors, suivant le sens de la pente, s'accumule dans les points bas ou alimente les cours d'eau. Les réseaux d'assainissement sont saturés, les bassins de rétention surversent ainsi que les étangs, plans d'eau, fossés et mares. Tous les cours d'eau qui traversent l'agglomération débordent, à l'exception notable de la Loire, peu sensible aux précipitations locales. Le Canal d'Orléans, exutoire des rivières drainant le bassin du Cens, n'a pas la capacité d'absorber les crues de ses affluents et déborde à son tour à Chécy, le 31 mai, inondant le quartier des Plantes avec des hauteurs d'eau atteignant par endroits 1,80 m.

Les hauteurs d'eau atteintes et l'emprise de la zone inondée dépassent les références récentes, notamment la crue du Cens et du Canal d'Orléans de 1983 (période de retour entre 50-100 ans[2]).

La durée de submersion est variable selon les zones inondées. Alors que pour certaines zones, l'eau sera présente une journée tout au plus, pour d'autres secteurs, la submersion en surface durera 4 à 5 jours alors que dans certains sous-sols, l'eau stagnera plusieurs semaines.

À la suite du retrait des eaux, plusieurs communes de l'agglomération doivent faire face à des phénomènes d'effondrements karstiques. Ces effondrements sont liés à l'existence de cavités

1. BCEOM. « Étude hydraulique du système Canal d'Orléans versant Loire-Cens », 2002.
2. INGEROP. « Étude globale sur le bassin-versant du Cens », 2005.

souterraines naturelles sur lesquelles se sont accumulées des couches de sédiments. En cas de fortes précipitations et d'inondation, l'eau s'infiltre et entraîne les matériaux dans la cavité ce qui peut déclencher un effondrement en surface. Alors que l'on en recense d'habitude trois ou quatre effondrements par an en moyenne dans le département du Loiret, les inondations de mai-juin 2016 ont accéléré ce phénomène. Plusieurs dizaines d'effondrements ont lieu sur l'agglomération d'Orléans dont 20 pour la seule commune de Chécy, certains atteignant 10 mètres de diamètre. Si la plupart des effondrements ont eu lieu sur des terres agricoles ou des routes, quelques habitations ont également été endommagées, sans y faire de victimes.

7.2 Des impacts inégaux sur l'agglomération, mais parfois très significatifs

Les dommages dus aux inondations de fin mai-début juin 2016 sur le territoire de l'agglomération d'Orléans sont très hétérogènes selon les communes. Certaines ont subi d'importants dégâts (Chécy, Saint-Cyr-en-Val, Mardié, Boigny-sur-Bionne) tandis que d'autres, comme Orléans, ont subi relativement peu de dommages.

7.2.1 Une absence de décès malgré de nombreuses situations de mise en danger des personnes

2 700 habitants au moins sont concernés et plus de 1 500 personnes sont contraintes d'évacuer leur logement pour une durée plus ou moins longue (de quelques heures à plusieurs mois). Si on ne déplore aucun décès ni de blessés graves sur l'agglomération d'Orléans, une dizaine d'habitants du quartier des Plantes à Chécy est sauvée in extremis, les personnes devant quitter en urgence leur habitation, pour certaines d'entre elles, à la nage, au moment du débordement du Canal d'Orléans. Sur le réseau routier, plusieurs personnes doivent s'extraire en urgence de leur véhicule pour échapper à la montée des eaux. 200 personnes doivent être prises en charge psychologiquement par la CUMP, la majorité sur la commune de Chécy, qui a subi les plus gros dégâts.

7.2.2 L'habitat, l'enjeu ayant subi les plus lourds dommages

Plus de 1 100 logements sont inondés sur l'agglomération par des hauteurs d'eau variables, allant de quelques centimètres à la cave jusqu'à 1,8 mètre dans les parties habitables à Chécy, pour une durée, selon les secteurs, de quelques heures à plusieurs jours. Ce chiffre est probablement une estimation basse dans la mesure où le recensement de toutes les caves inondées n'a vraisemblablement pas toujours été exhaustif à l'échelle communale.
Trois communes concentrent les deux tiers des habitations inondées (Chécy avec 287 habitations, Saint-Cyr-en-Val avec 252 habitations et Boigny-sur-Bionne avec 180 habitations).

7.2.3 De nombreux équipements publics endommagés

Un certain nombre d'équipements publics communaux sont inondés : voiries communales, mobilier urbain, éclairage public, salles municipales, centres de loisirs, locaux techniques, équipements sportifs… Sur les 16 communes étudiées, le montant total des dommages aux équipements publics communaux dépasse 1,5 million d'euros dont les deux-tiers pour les seules communes de Chécy et Boigny-sur-Bionne.
Les plus gros dommages aux équipements publics sont subis par l'usine de traitement des ordures ménagères (UTOM) de la Communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire (5 millions d'euros de dégâts dont 3 millions d'euros de travaux et 2 millions d'euros de perte d'exploitation), et le Centre pénitentiaire Orléans Saran (CEPOS) dont les travaux de remise en état sont estimés à 1,6 million d'euros[3].
Les infrastructures utiles à la gestion de crise (bâtiments du SDIS, locaux accueillant les cellules de crise…) sont, en revanche, presque totalement épargnées. Seules deux communes voient leur Centre technique municipal impacté. L'un est inondé, l'autre se retrouve isolé en raison de la montée des eaux. Dans les deux cas, le personnel et le matériel ont pu être évacués préventivement et être déployés pour gérer la crise.
De manière générale, les dommages aux équipements publics n'ont pas entraîné de perturbations significatives des services publics, ceux-ci assurant la continuité de leur activité en s'adaptant au contexte dégradé (collecte et traitement des déchets notamment).

7.2.4 Des perturbations sur les réseaux contenus à l'exception du réseau routier fortement touché

Compte tenu des quantités de précipitations, les agents de la Communauté d'agglomération constatent rapidement des dysfonctionnements du réseau d'assainissement et sa saturation progressive. La plupart des bassins de rétention finissent par déborder tandis que certaines habitations sont inondées par les remontées des eaux usées. Deux STEP sont inondées. Celles-ci peuvent cependant continuer à fonctionner, même si pour l'une d'entre elle, les conditions sont très dégradées.
Contrairement à d'autres communes du département, l'approvisionnement en eau potable n'est pas interrompu sur les communes de l'agglomération d'Orléans en dépit de rumeurs sur la qualité de cette eau.
De même, les grands réseaux structurants (électricité, gaz, télécommunication) sont très peu perturbés. En revanche, les inondations ont de lourds impacts sur le réseau routier. Dans l'agglomération, au plus fort de la crise, celui-ci est inondé et coupé en plus d'une centaine de points, perturbant les déplacements et entraînant la congestion des itinéraires non inondés.
Au nord d'Orléans, l'autoroute A10 est également submergée, entraînant sa fermeture dans les deux sens et nécessitant l'évacuation, l'hébergement et le rapatriement des usagers bloqués, puis à la décrue, l'enlèvement de centaines de véhicules restées sur place.
Plus de 500 personnes sont mobilisées par l'exploitant pour gérer cet événement. Le coût pour celui-ci est estimé à 9 millions d'euros environ dont 4 955 000 euros de pertes de recettes (péage) et 4 049 000 euros de frais liés à la prise en charge des personnes en transit bloquées sur l'A10, aux opérations de pompage et de remise en état (CGEDD, 2016).

3. www.lechorepublicain.fr/saran/social/institutions/2017/02/15/inondations-1-6-million-deuros-de-travaux-au-centre-penitentiaire-dorleans-saran_12285669.html.

7.2.5 Des conséquences limitées sur l'économie locale

La Direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi (DIRECCTE) Centre-Val-de-Loire, sollicitée dans le cadre du RETEX sur la « Coupure de l'autoroute A10 et autres infrastructures lors des inondations de fin mai 2016 » réalisé par le CGEDD, précise avoir apporté une aide financière à 93 entreprises de l'Orléanais pour un montant total d'environ 290 000 € (CGEDD, 2016). Aux dommages directs de l'inondation aux entreprises s'ajoutent les impacts indirects liés à l'arrêt de l'activité, aux difficultés d'approvisionnement et de livraison, liées notamment à la fermeture de l'A10, ou encore à l'absence d'une partie du personnel (personnes sinistrées ou ne pouvant accéder au lieu de travail). Si la majorité des dommages à l'activité économique concerne des TPE et PME, quelques grandes entreprises ont également été impactées de manière directe ou indirecte (sites inaccessibles). Cependant, il semble que rares aient été les cas où les entreprises ont été amenées à s'arrêter plus de quelques jours. Une partie d'entre elles a semble-t-il également pu organiser sa continuité d'activité malgré les inondations.

7.3 Une gestion de crise particulièrement complexe face à un événement d'une ampleur inédite

Si le phénomène météorologique à l'origine des inondations a été détecté par les services de prévisions de Météo-France, ses conséquences hydrologiques, par leur ampleur, et leur caractère inattendu, ont fortement déstabilisé le territoire de l'agglomération d'Orléans, générant ainsi une crise particulièrement complexe à gérer.

7.3.1 Un événement météorologique partiellement anticipé

Le lundi 30 mai à 10 heures, Météo-France place le département du Loiret ainsi que 21 autres départements des régions Centre, Île-de-France, Champagne-Ardenne, Bourgogne et Hauts-de-France en vigilance orange « pluie-inondation » pour un épisode de fortes pluies.
Le bulletin de vigilance régional pour la région Centre rédigé par le Centre météorologique interrégional de Rennes évoque un « épisode de fortes pluies nécessitant une vigilance particulière, compte tenu notamment des fortes précipitations déjà observées par endroits les jours précédents » à compter du lundi 30 mai 16 h, et que les cumuls de pluie prévus sont de l'ordre de 30 à 60 mm, localement 60 à 80 mm. Ces cumuls seront effectivement atteints sur l'Orléanais, le lundi 30 mai (autour de 65 mm selon Météo-France).
Le lundi 30 mai, à 12 h, la Préfecture du Loiret informe les institutions du département (services de l'État, SDIS, communes et EPCI, gestionnaires de réseaux…) du passage en vigilance orange « pluie-inondation » du Loiret et émet un communiqué de presse à destination de la population mis en ligne sur le site de la préfecture, et relayé par les réseaux sociaux.
Sur le bassin-versant du Cens, il existe un système d'avertissement local aux crues mis en place par le Conseil départemental et qui est géré par le Syndicat intercommunal Bionne, Cens, Crenolle et Affluents (SIBCCA). Au passage de certains seuils pluviométrique et limnimétrique prédéfinis, l'automate transmet un message (par sms et/ou mail et/ou appel vocal) à une liste de destinataires dans les communes riveraines des cours d'eau surveillés ainsi qu'au Syndicat mixte de gestion du Canal d'Orléans (SMGCO).
Les seuils de pré-alerte pluviométrique et de hauteurs d'eau dans le Cens et la Bionne puis les seuils d'alerte sont progressivement franchis entre la nuit du samedi 28 au dimanche 29 mai et le matin du 30 mai. Les communes du bassin du Cens ainsi que le SMGCO en sont informés par l'automate d'appels du système d'avertissement aux crues.
Les communes destinataires des informations transmises par l'automate du système de surveillance du bassin du Cens ont donc bénéficié d'une marge d'anticipation supplémentaire alors même que la vigilance météorologique orange pluie-inondation n'avait pas été encore activée.
La vigilance Météo-France a permis l'activation anticipée d'un certain nombre de cellules de crise au cours de l'après-midi du 30 mai, notamment :

- Le centre opérationnel départemental (COD) à la préfecture du Loiret ;
- Le centre opérationnel départemental d'incendie et de secours (CODIS) ;
- La cellule de crise de la direction départementale des territoires (DDT) du Loiret ;
- La cellule de crise du Conseil départemental du Loiret.

Au niveau communal, la réaction des communes est hétérogène. Sur l'agglomération, seules deux communes activent leur PCS dont la ville d'Orléans qui arme de manière préventive le Palais des Sports, à la demande des services de l'État, comme centre d'hébergement d'urgence en cas de besoin.
La plupart des autres communes de l'agglomération mettent en œuvre un dispositif plus « léger » pour accompagner la mise en place des premières mesures préventives :

- organisation d'une surveillance des cours d'eau et des sites et quartiers susceptibles d'être inondés ;
- fermeture à la circulation de certains tronçons de routes et mise en place de déviation ;
- information des élus et des services ;
- activation d'une cellule de crise restreinte ;
- information du public (*via* notamment le site Internet de la mairie, les réseaux sociaux et/ou sur les panneaux à messages variables municipaux) ;
- information des habitants susceptibles d'être inondés au regard des inondations passées par téléphone ou dans le cadre d'un porte-à-porte ;
- distribution de sacs de sable.

En fin de journée du 30 mai, les secteurs fréquemment inondés sont progressivement submergés.
Les sapeurs-pompiers commencent à procéder, dans la soirée du lundi 30 mai, à des interventions, essentiellement pour des opérations de pompage de sous-sols. C'est en particulier le cas dans la commune de Saint-Cyr-en-Val.
Plus problématique, en début de soirée, le Centre pénitentiaire Orléans-Saran commence à être inondé.
L'agglomération d'Orléans n'est pas la seule concernée, à l'autre extrémité est du département, les tronçons « Loing-amont-Ouanne » et « Loing aval » surveillés dans le cadre du dispositif national de surveillance des cours d'eau géré par les SPC/SCHAPI sont placés en vigilance orange dans

la soirée compte tenu de la montée des eaux et des précipitations encore attendues.

7.3.2 Des territoires et des acteurs plongés soudainement dans une crise particulièrement complexe

L'aggravation soudaine de la situation dans la nuit du 30 au 31 mai

Pour certaines communes, la situation bascule brutalement à partir de la fin de soirée du 30 mai et au cours de la journée du 31 mai, les cours d'eau et les sols réagissant fortement aux précipitations du 30 mai, journée la plus pluvieuse de l'épisode (65 mm à Orléans selon Météo-France, équivalent d'un mois de précipitation).

La nuit du 30 mai au 31 mai voit ainsi clairement s'opérer le passage d'une situation anticipée et maîtrisée à un événement subi, contraignant les acteurs de la crise à agir au coup-par-coup en réaction aux événements alors que la situation se dégrade inexorablement non seulement dans l'agglomération d'Orléans mais également dans tout le département du Loiret. Compte tenu de la montée rapide des eaux, les communes de l'agglomération sont rapidement amenées à renforcer leur dispositif de gestion de crise.

Dans la nuit du 30 au 31 mai, la commune de Saint-Cyr-en-Val aménage son gymnase pour accueillir les habitants qui commencent à être évacués non sans difficultés par le personnel municipal et les sapeurs-pompiers.

La situation se dégrade ensuite dans la plupart des autres communes de l'agglomération amenant les équipes municipales à multiplier les opérations de mise en sûreté des personnes et des biens.

À Chécy, la réserve communale de sécurité civile mobilisée par l'équipe municipale pour avertir les habitants de la Rue des Plantes d'un risque de débordement du Canal d'Orléans se trouve surprise par la montée brutale des eaux. Le quartier de la rue des Plantes connaîtra les plus importantes hauteurs d'eau de l'agglomération conduisant à des évacuations particulièrement périlleuses pour les habitants et les intervenants.

Des inondations dépassant les références récentes et les dispositifs mis en place

Si l'agglomération d'Orléans a déjà connu des inondations au cours des dernières années (crues sur le bassin du Cens en 1983, 2002 et 2008… inondations par ruissellement à l'été 2014), le caractère inédit de l'événement tient notamment au fait que l'épisode de fin mai-début juin combine inondations par ruissellement, saturation des réseaux d'assainissement, et débordement des cours d'eau dépassant largement les dernières crues de référence (à l'exception de la Loire).

L'absence d'événement récent comparable fait que la plupart des acteurs locaux et des habitants ne disposent pas d'une expérience préalable d'une crise de cette ampleur.

En particulier, l'une des principales difficultés rencontrées au niveau local est de traduire les éléments relatifs aux précipitations prévues ou constatées, ou pour ce qui concerne le bassin du Cens, les hauteurs d'eau mesurées par le système d'alerte aux crues du SIBCCA, en termes de localisations des zones susceptibles d'être inondées et d'actions à conduire.

Des secteurs non réputés comme inondables sont inondés, amenant les intervenants à élargir les périmètres d'évacuation au fur et à mesure de la montée des eaux. Certaines habitations dont l'inondation n'avait pas été envisagée doivent être évacuées en urgence.

L'emprise de l'inondation fait que dans certaines communes, une partie significative de la population est impactée (plus d'un habitant sur cinq à Boigny-sur-Bionne), multipliant les besoins en termes de mise en sûreté et de soutien, alors que certains élus, personnels des collectivités et des administrations sont eux-mêmes inondés.

De nombreuses routes sont submergées compliquant encore la gestion de crise, l'organisation des évacuations et l'acheminement des secours.

Ainsi, même dans les communes où les inondations ont pu être anticipées, les intervenants sont surpris par leur ampleur (rapidité de montée des eaux, emprise de l'inondation dépassant ce qui était attendu au regard des inondations passées) tandis que les dispositifs mis en place sont bien souvent dépassés.

Des opérations d'évacuation des habitants souvent difficiles à conduire

Dans l'agglomération d'Orléans, plus de 1 500 personnes doivent évacuer leur logement menacé par les inondations, parfois de manière préventive, avant l'arrivée de la crue, souvent en urgence, une fois l'eau présente.

À Chécy, l'évacuation de la rue des Plantes se déroule dans des conditions très périlleuses, à la nage pour certaines d'entre elles. Une dizaine de personnes ont été en grand danger de noyade.

Ailleurs, les évacuations sont bien souvent difficiles à mettre en œuvre.

De nombreux habitants sont en effet très réticents à évacuer de manière préventive (incrédulité face au risque, déni du danger, crainte de cambriolage en leur absence, personnes ne sachant où aller…). Les intervenants (élus et personnel des communes, parfois sapeurs-pompiers et bénévoles) doivent passer du temps pour tenter de convaincre certaines familles d'évacuer leur habitation avant l'inondation de leur logement.

Ce n'est souvent que lorsque l'eau arrive que les évacuations se font alors, dans l'urgence et dans des conditions beaucoup plus délicates que si elles avaient été conduites de manière préventive :

- La pression de l'eau peut empêcher les habitants de sortir de chez eux. Dans une commune, les sapeurs-pompiers doivent ouvrir un portail au pied de biche pour permettre aux habitants de quitter leur domicile.
- Les hauteurs d'eau et surtout le courant rendent délicats les déplacements des habitants et intervenants à pieds une fois la zone inondée.
- L'eau est boueuse, sale, opaque et il est donc difficile de remarquer les éventuels trous dans le sol ou l'absence de plaque d'égout qui pourrait avoir été emportée. Le déplacement à pieds, même avec peu d'eau peut donc être dangereux.
- Le courant rend également les évacuations à l'aide d'embarcations, laborieuses.

Les évacuations nocturnes qui ont eu lieu dans la nuit du 30 au 31 mai sont également particulièrement délicates. Réveiller les habitants endormis pour leur demander de quitter leur logement n'est pas simple. Élus, personnel municipal et pompiers doivent sonner aux portes, tambouriner aux volets et actionner de longues minutes les avertisseurs sonores des véhicules pour réveiller les habitants.

L'agglomération d'Orléans, au cœur d'une crise affectant la quasi-totalité du département du Loiret

La quasi-totalité du département du Loiret est simultanément touchée (275 communes seront déclarées en état de catastrophes naturelles sur 327 soit 84 % des communes du département).

L'extension spatiale de l'événement fait que de nombreux secteurs à enjeux sont inondés au même moment nécessitant de très nombreuses interventions : inondations dans le Montargois liées à la crue du Loing (placé en vigilance rouge le mardi 31 mai par le service de prévision des crues) et de ses affluents[4], inondation de l'A77, de l'A10 avec plusieurs centaines de véhicules et « naufragés » à prendre en charge, inondation du Centre pénitentiaire Orléans-Saran imposant le transfert des détenus vers d'autres établissements pénitentiaires, inondation de l'UTOM, de zones d'activité, et de plusieurs EPHAD dans le Montargois et à Fay-aux-Loges.

Outre la région d'Orléans et de Montargis, d'importantes inondations ont également lieu en Sologne.

Les inondations de fin mai-début juin 2016 ont nécessité la mobilisation d'un grand nombre d'acteurs et d'organisations tant au sein des diverses cellules de crise mises en place que sur le terrain : communes, services de l'État, services de secours, Conseil départemental, communautés de communes et d'agglomération… Dans certaines communes, l'intégralité des élus et du personnel municipal est mobilisé pour faire face à la crise avec souvent le renfort bienvenu d'une partie des habitants.

Dans d'autres organisations cependant, certains services restent relativement peu impliqués soit que ceux-ci n'aient pas été sollicités (ce qui a pu générer des frustrations chez certaines personnes désireuses d'être utiles), ou que ceux-ci soient restés dans un retrait relatif ou se soient mobilisés tardivement. Une participation plus importante de certains services aurait cependant pu permettre de décharger quelque peu les acteurs plongés au cœur d'une crise de longue durée.

Face à l'ampleur de l'événement, la cellule de crise préfectorale sollicite également l'appui des forces armées. 120 militaires sont engagés dans le département du Loiret dont un détachement du 12e Régiment de Cuirassier d'Olivet qui portera secours aux passagers de véhicules arrêtés sur l'A10 à hauteur de Saran et les évacuera vers le palais des sports d'Orléans et le gymnase de Saran. La police nationale et la gendarmerie sont également mobilisées. Tout comme les sapeurs-pompiers, ou encore le SAMU, les associations agréées de sécurité civile (Croix-Rouge, Fédération française de sauvetage et de secourisme, Société nationale de sauvetage en mer…) sont également fortement sollicitées pour la conduite d'opérations de secours et de soutien aux personnes. Compte tenu de l'ampleur de la crise dans le département, le COD sollicite également le 31 mai matin des renforts extra-départementaux *via* la Zone de Défense Ouest. Des renforts provenant des SDIS de Loire-Atlantique et du Maine-et-Loire, des unités d'instruction et d'intervention de la Sécurité civile (UIISC), des Établissements de soutien opérationnel et logistique (ESOL) interviennent ainsi également dans le département en soutien des acteurs loiretains. La Force d'action rapide nucléaire (FARN) de la centrale nucléaire de Dampierre-en-Burly qui dispose de compétences et de matériel utiles à la gestion de crise est mobilisée à la demande du Centre opérationnel départemental (COD).

En dépit des importants moyens mobilisés, certains des interlocuteurs rencontrés dans les communes de l'agglomération d'Orléans estiment avoir été livrés à eux-mêmes et déplorent que les services de l'État et de secours n'aient pas été suffisamment présents au niveau local au début de la crise. L'extension de la crise à la quasi-totalité du département du Loiret, la multitude des opérations à conduire de manière simultanée dans des conditions parfois particulièrement difficiles peut expliquer au moins pour partie, cette impression ressentie.

L'inondation de nombreux axes routiers a également pu empêcher ou retarder les interventions dans certaines communes. Sur le bassin du Cens, le fait que ni les services de l'État ni les services de secours ne soient destinataires des messages du système d'avertissement aux crues a pu conduire à un certain retard pour prendre la mesure de la crise qui affectait l'est de l'agglomération d'Orléans.

Le mauvais temps, qui a empêché le survol d'hélicoptères dans les toutes premières heures de la crise a également privé les services de l'État et de secours d'informations globales sur la situation.

Enfin, la saturation des centres de traitement des appels mis en place en préfecture ainsi qu'au SDIS et la difficulté pour les élus et les habitants à joindre leurs interlocuteurs a pu contribuer également à ce sentiment d'isolement et d'abandon dans certaines communes.

En effet, la Cellule d'information du public (CIP) installée par le Centre opérationnel départemental (COD), composée d'une dizaine de personnes a eu à traiter 5 000 appels des habitants et élus dans la semaine du 30 mai au 5 juin dont 3 600 pour la seule journée du 31 mai. La saturation des lignes téléphoniques a généré beaucoup d'attente, d'incompréhension et de frustration de la part des appelants.

De même, les opérateurs téléphoniques du SDIS du Loiret ont été sur-sollicités (9 700 appels le 31 mai contre 600 d'habitudes soit 1 appel toute les 7 secondes). Au total, le SDIS du Loiret a conduit 4 604 interventions entre le 30 mai et le 14 juin dans le Loiret liées aux inondations (dont 1 100 dans l'agglomération d'Orléans).

Or, compte tenu de l'étendue de la crise et de la nécessité de maintenir des effectifs en caserne pour gérer les interventions quotidiennes, tous les moyens disponibles étaient mobilisés. Les effectifs disponibles se sont révélés néanmoins insuffisants pour mettre à disposition de chaque commune un commandant des opérations de secours (COS) à demeure.

Comportement de la population : après le choc initial, une réaction générale de solidarité, mais également des comportements individuels inadaptés

Globalement, la population de l'agglomération a été surprise de l'ampleur de l'inondation, y compris les habitants qui avaient pu être informés du risque *via* la vigilance météorologique, les communiqués de presse, les médias et/ou les informations transmises par les communes.

À mesure de la montée des eaux, certains habitants ont mis en œuvre un certain nombre de mesures tel que l'installation de batardeaux, la pose de sacs de sable, la mise en hauteur des biens, l'évacuation des habitations… avec souvent l'aide d'autres habitants.

En effet, la très grande majorité des personnes rencontrées dans les communes dans le cadre de ce retour d'expérience a souligné l'extrême solidarité dont a fait preuve la population

4. 5 000 personnes sinistrées pour la seule ville de Montargis.

envers les personnes sinistrées. De nombreuses personnes se sont ainsi proposées ou ont répondu positivement aux sollicitations des communes pour appuyer élus et personnel municipal dans la mise en sûreté des populations et des biens, et le soutien aux habitants sinistrés (accueil ravitaillement, dons, surveillance des habitations évacuées…). Les propositions d'hébergement des personnes sinistrées ont ainsi souvent dépassé les besoins. En dehors du cas particulier du Palais des Sports à Orléans qui a accueilli les usagers de l'A10, peu de personnes ont dû être prises en charge dans les centres d'hébergement d'urgence ouverts par les communes si ce n'est à Saint-Cyr-en-Val dans le contexte particulier d'une inondation et une évacuation survenant de nuit.
Cette solidarité a permis de décharger en partie les intervenants des tâches d'accueil et d'hébergement des populations pour leur permettre de concentrer leurs efforts sur d'autres missions. Dans les communes ne disposant que peu de moyens humains, l'appui des habitants et l'autonomie des sinistrés ont ainsi contribué à favoriser la gestion de la crise.
La solidarité s'est également fortement exprimée entre communes, celles les moins impactées mettant à disposition personnels et matériels aux communes plus durement touchées, ou à travers le soutien apporté notamment par la Communauté d'agglomération aux communes pendant et après la crise.
Néanmoins, à côté de l'exemplarité du comportement de la majorité des habitants, il ne faut pas occulter un certains nombres de comportements et d'attitudes inadaptées (adolescents se baignant dans les bassins de rétention, refus d'évacuation, franchissement en voiture de barrière d'interdiction de circulation…), de la malveillance (diffusion de faux SMS de la préfecture sur la non-potabilité de l'eau, rôdeurs en repérage pour d'éventuels cambriolages…) ou de l'incivisme (utilisation par des personnes non sinistrées des bennes à ordures réservées pour les déchets générés par l'inondation, utilisation de l'eau pour laver les voitures alors qu'il est demandé une consommation modérée en raison des impacts subis par la STEP de Chécy, usagers du palais des Sports furieux de la suspension des activités sportives…).

Une inondation affectant des territoires et acteurs préparés pour une crue de la Loire… qui n'a pas débordé

À l'exception du Programme d'actions de prévention des inondations (PAPI) Cens-Bionne mis en œuvre par le Conseil départemental à partir de 2003 et qui a permis notamment de financer l'installation du système d'alerte aux crues sur les bassins du Cens et de la Bionne, les efforts significatifs en matière de prévention des inondations conduits depuis quelques années dans le secteur de l'agglomération d'Orléans concernent essentiellement, et à juste titre, tant ce risque est important, le risque d'inondation par la Loire : Plan Loire Grandeur Nature, Plan de prévention du risque d'inondation du Val d'Orléans (PPRI), Plan d'évacuation massive du Val d'Orléans, Plans de continuité d'activité (PCA), Plans communaux de sauvegarde (PCS) et Réserves communales de Sécurité civiles des communes riveraines de la Loire.
Or, l'inondation de fin mai début juin n'est en aucun cas liée à la Loire, peu réactive aux précipitations locales, mais bien à la crue de ses affluents et à des phénomènes de ruissellement et de saturation des réseaux d'assainissement, battant en brèche les scénarios sur lesquels avait été bâtie la majorité des dispositifs.
Les inondations se sont produites sur des cours d'eau ne faisant pas l'objet d'une surveillance par le service national de prévision des crues.
Sur le bassin du Cens, en revanche, le scénario anticipé dans le cadre de la mise en place du système d'alerte aux crues s'est réalisé même si l'ampleur de l'inondation a été inattendue. Les communes du bassin du Cens ont également pu « bénéficier » de l'expérience acquise au cours des inondations de 2002 et 2008 même si celles-ci seront largement dépassées par la crue de 2016.
Ailleurs, les plans et dispositifs prévus en cas de crue majeure de la Loire n'ont cependant pas été inutiles, loin de là : les cellules de crise étaient prévues, les centres d'accueil identifiés, les moyens recensés… même s'il a fallu parfois adapter les dispositifs de crise aux particularités de l'événement.
Le « spectre » d'une possible inondation par la Loire a cependant plané et pesé sur les gestionnaires de crise ainsi que sur certains riverains.
Dans une des communes de l'agglomération, des rumeurs infondées relayées par les réseaux sociaux, évoquaient l'imminence de la rupture d'une digue de Loire qui allait entraîner l'inondation de la commune et l'évacuation de la totalité des habitants (alors que la municipalité n'avait organisé l'évacuation préventive que d'une dizaine d'habitations). Ces rumeurs ont généré un début de panique au sein d'une partie de la population ainsi que des incompréhensions entre la commune et les services de l'État, et ont pesé lourdement sur le climat dans la commune et sur l'équipe municipale.

Une crise de la communication

L'événement de fin mai-début juin 2016 a mis en lumière de nombreuses difficultés en matière de communication que ce soit entre les différents acteurs, au sein même des organisations, ou encore dans le cadre de la communication auprès du grand public, et ce, alors même que, sur le plan technique, la plupart des réseaux de communication continuaient à fonctionner malgré l'inondation. À la saturation des centres de traitement des appels du COD et du CODIS déjà évoquée s'ajoutent des difficultés de communication entre une multitude de services et d'intervenants présents dans les cellules de crise et sur le terrain. Parmi les organisations participant à la gestion de crise, certaines viennent en renfort d'autres départements, et ne connaissent donc pas ou peu les organisations du Loiret, leur rôle dans la crise, et n'y disposent pas d'interlocuteurs clairement identifiés. Par exemple, les sapeurs-pompiers de Loire-Atlantique déployés sur le site du Centre pénitentiaire Orléans Saran n'avaient pas identifié dès le départ le service d'assainissement de la Communauté d'agglomération comme un acteur de la gestion de crise à part entière. Ce retard dans la mise en relation entre ces deux acteurs a fait que faute de connaissance fine du terrain, les sapeurs-pompiers ont pompé « en circuit fermé », rejetant, dans un premier temps, l'eau dans le système saturé. L'ampleur de la crise et l'urgence de certaines situations ont également amené les intervenants, notamment les services de secours, à se concentrer sur leur cœur de métier sans véritable concertation avec les autres acteurs, en particulier avec les communes.
On constate également des défaillances dans la communication interne aux organisations impliquées dans la gestion de crise. Les personnels n'ont pas toujours été informés de

la situation et sur ce qui était attendu d'eux (départ anticipé, participation à la gestion de crise…).
Dans certaines communes, les services en contact avec la population (CCAS, accueil en mairie…) n'étaient pas non plus toujours tenus informés et ne savaient donc pas quels messages délivrer au public.
Au niveau des outils de communication, certains annuaires de crise (population en zone inondable, personnes ressources, gestionnaires d'enjeux stratégiques…) n'étaient plus à jour et/ou des numéros essentiels manquaient.
L'utilisation massive des courriers électroniques ainsi que des réseaux sociaux n'était pas adaptée à tous les destinataires puisqu'ils nécessitent un équipement informatique ou de téléphonie, une connexion internet et un compte d'utilisateur.
Certaines cellules de crise ont été saturées d'informations peu utiles dans la gestion immédiate de la crise alors que paradoxalement, certaines informations, elles essentielles, étaient difficiles à obtenir. Dans certains cas, les cellules de crise manquaient également d'informations provenant du terrain. Ceci, conjugué parfois à l'absence d'outils cartographiques actualisés et mis à jour en temps réel a conduit certaines cellules de crise à un pilotage « à l'aveugle » particulièrement inconfortable. De plus, la multitude de tâches à accomplir au sein même des cellules de crise laissait peu de place aux échanges et à la synthèse des informations. Enfin, le manque de régularité dans l'organisation des points de situation et l'absence, parfois, de main courante structurée a pu pénaliser la circulation des échanges d'informations entre acteurs et au sein même des organisations. La pression médiatique n'a pas été non plus toujours simple à gérer. Si certains médias ont été relativement discrets d'autres ont été particulièrement insistants pour interroger et filmer des sinistrés qui n'étaient pas toujours disposés à l'être. Certains intervenants ont ainsi dû s'interposer pour préserver les personnes sinistrées de l'attention envahissante de certains médias.

Une crise longue et particulièrement éprouvante

Dans certaines communes de l'agglomération, la crise s'est avérée particulièrement longue, constituant une épreuve difficile pour la population mais aussi pour les élus, personnels municipaux et l'ensemble des services et intervenants mobilisés. À l'échelle départementale, le COD a fonctionné de manière élargie avec une permanence de nuit entre le lundi 30 mai et le dimanche 5 juin au soir puis de manière restreinte jusqu'au 10 juin. La DDT du Loiret a poursuivi son activité de point quotidien jusqu'au 24 juin. La cellule de crise de Chécy est, elle, restée activée jour et nuit pendant une dizaine de jours.
La gestion de la crise a donc été très éprouvante physiquement et psychologiquement. Le caractère inédit de l'événement, son ampleur, la pression médiatique et dans certains cas, l'inquiétude de certains acteurs pour leur propre situation personnelle et familiale, ont généré un haut degré de stress et de tension aggravé par le manque de sommeil des intervenants. La durée de la crise et l'état de tension nerveuse ont rendu les rares périodes de repos inefficaces lors des rotations. De nombreux acteurs ont utilisé leur faible temps de repos pour gérer, le cas échéant, leur propre situation personnelle ou assister leurs voisins.
Dans plusieurs organisations, le passage de relais a été difficile soit en raison d'un manque de moyens humains, notamment dans les petites communes, soit en raison des réticences des acteurs particulièrement impliqués dans la gestion de crise à « passer le témoin ».
Ainsi, dans la plupart des communes et des services, le pilotage de la crise a reposé sur les quelques mêmes personnes, pendant toute sa durée. Celles-ci se sont donc souvent retrouvées au bord de la rupture, à l'extrême limite de leur capacité, ce qui n'aurait pas été sans conséquences en cas de crise plus longue.
De plus, pour de nombreux acteurs, l'épreuve s'est prolongée après la crise, la phase de retour à la normale étant, dans certaines communes, particulièrement longue en raison notamment des dommages aux logements nécessitant souvent d'importants travaux de réhabilitation, et éprouvante, en raison de la détresse des personnes sinistrées.

Conclusion

Depuis une vingtaine d'années, les efforts significatifs conduits sur l'agglomération d'Orléans en matière de prévention des inondations ont essentiellement porté sur le risque d'inondation lié aux crues de la Loire.
La mise en œuvre de la Directive Inondation sur ce territoire n'a pas remis en cause cette tendance. Ainsi, le périmètre du Territoire à risque important (TRI) d'Orléans se limite aux communes riveraines de la Loire.
Or, les inondations de mai-juin 2016 ne sont pas liées à une crue du fleuve mais à des phénomènes de ruissellement intenses et de débordements généralisés des rivières et affluents de la Loire.
Ces cours d'eau n'étaient jusqu'alors peu ou pas pris en compte en termes de politiques de gestion des inondations, à l'exception du bassin du Cens qui a bénéficié d'un programme d'études et de l'installation d'un système local d'alerte aux crues dans le cadre du PAPI Cens Bionne porté par le Conseil départemental entre 2003 et 2008.
Ainsi, un tiers des communes de l'agglomération d'Orléans inondées en mai et juin 2016 n'appartient pas au périmètre du TRI d'Orléans.
S'il peut paraître logique que, dans un souci de rationalisation et de priorisation des fonds publics, les politiques de gestion du risque d'inondation se déploient en priorité sur les territoires les plus exposés, les inondations de mai-juin 2016 ont montré que les petits cours d'eau ne doivent cependant pas être négligés par les pouvoirs publics. En 2016, sur l'Orléanais, ceux-ci sont en effet à l'origine de l'inondation la plus dommageable pour ce territoire depuis des décennies, et vraisemblablement depuis les grandes crues de la Loire du milieu du XIX^{e}.
Il ne s'agit cependant pas de remettre en question les efforts portés sur le risque d'inondation par la Loire, loin de là. Au contraire, ceux-ci doivent être renforcés, tout en tenant compte du risque existant sur les territoires traversés par ses affluents.
L'inondation du Val d'Orléans par la Loire reste, en effet, le principal risque naturel majeur auquel celui-ci est exposé.
Les dommages seraient alors considérables et sans commune mesure avec les événements du printemps dernier. Plusieurs dizaines de milliers d'habitants seraient menacés en cas de rupture de digues avec des hauteurs d'eau pouvant atteindre quatre mètres, tandis que les activités économiques, les ser-

vices publics, les infrastructures et réseaux vitaux seraient très lourdement impactés Le coût pourrait atteindre les deux milliards d'euros et le retour à la normale durer largement plus d'une année.

Or, l'un des enseignements des inondations de mai-juin 2016 sur l'Orléanais est que les impacts de l'inondation ont été contenus au prix d'une mobilisation massive des moyens dédiés à la gestion de crise et qu'en dépit de cela, les différents acteurs reconnaissent que la crise a été particulièrement complexe, éprouvante et difficile, les amenant au bord de la rupture.

Ce constat devrait amener les pouvoirs publics à s'interroger sur la capacité collective du territoire à faire face à un événement d'une plus grande ampleur, ce que serait sans nul doute une inondation par la Loire du Val d'Orléans en cas de rupture de digues.

La stratégie de gestion de crise en cas de crue majeure de la Loire devrait donc être revue en profondeur à l'aune des enseignements des événements de mai-juin 2016, sous l'angle du pragmatisme, de la hiérarchisation des interventions et de la coordination des acteurs.

Enfin, un effort particulier devrait concerner la préparation des gestionnaires de crise et notamment au renforcement de leurs capacités à faire face à une crise de longue durée, à l'incertitude, au stress, ainsi qu'à la fatigue, tant physique que psychologique.

Bibliographie

Bceom, *Étude hydraulique du système Canal d'Orléans versant Loire-Cens*, 2002.

Cepri, *Les inondations de mai-juin 2016 sur le territoire de la Communauté d'agglomération Orléans Val-de-Loire. Retour d'expérience*, 2016.

Cgedd, *Coupure de l'autoroute A10 et autres infrastructures lors des inondations de fin mai 2016.* Rapport final. Rapport n° 010735-01 établi par Pascale Boizard et Frédéric Ricard (coordonnateur), 2016.

Cgedd, Iga, *Inondations de mai et juin 2016 dans les bassins moyens de la Seine et de la Loire. Retour d'expérience*. Rapport Cgedd n° 010743-01 et Iga n° 16080-R établi par Frédéric Perrin et Philippe Sauzey, IGA et Bernard Menoret et Pierre-Alain Roche, CGEDD, 2017.

Ingerop, *Étude globale sur le bassin-versant du Cens*, 2005.

Collection « Géorisques »

Titres déjà parus dans la même collection

— *Gérer les risques naturels : pratiques et outils*, F. Leone & F. Vinet, 2017.

— *Plans communaux de sauvegarde et outils de gestion de crise*, F. Leone & F. Vinet, 2015.

— *Atlas des risques naturels et des vulnérabilités territoriales de Mayotte*, F. Leone (dir.), 2014.

— *Prévenir les risques naturels : de la modélisation à l'information*, F. Leone & F. Vinet, 2013.

— *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 : octobre 2019